

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

ASPECTOS GENÉTICOS DA PRODUÇÃO DE MEL E
COMPORTAMENTO HIGIÊNICO EM ABELHAS
Apis mellifera AFRICANIZADAS

Autora: Fabiana Martins Costa Maia
Orientador: Prof. Dr. Vagner de Alencar Arnaut de Toledo
Co-orientador: Prof. Dr. Elias Nunes Martins

MARINGÁ
Estado do Paraná
Janeiro-2009

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

ASPECTOS GENÉTICOS DA PRODUÇÃO DE MEL E
COMPORTAMENTO HIGIÊNICO EM ABELHAS
Apis mellifera AFRICANIZADAS

Autora: Fabiana Martins Costa Maia
Orientador: Prof. Dr. Vagner de Alencar Arnaut de Toledo
Co-orientador: Prof. Dr. Elias Nunes Martins

Tese apresentada, como parte das exigências
para a obtenção do título de DOUTOR EM
ZOOTECNIA, no Programa de Pós-
Graduação em Zootecnia da Universidade
Estadual de Maringá – Área de Concentração
Produção Animal

MARINGÁ
Estado do Paraná
Janeiro - 2009

*“Para tudo há uma ocasião certa;
há tempo certo para cada propósito debaixo do céu”*

(Eclesiastes, 3:1)

A

Deus, incondicionalmente a ELE.

Ao

meu esposo, **Fábio José Maia**, por todo amor e dedicação à nossa vida

Á

minha mãe **Maria Martins**, por estar sempre comigo

DEDICO...

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual de Maringá e a Fazenda Experimental de Iguatemi, que forneceram estrutura física e pessoal para que este trabalho fosse realizado.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, por todos os ensinamentos passados.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudo concedida durante parte do curso de doutorado, à Fundação Araucária e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo fomento concedido a esta pesquisa.

Ao **Prof. Dr. Vagner de Alencar Arnaut de Toledo**, pela orientação e pelos bons ensinamentos em dez anos de trabalho.

Ao **Prof. Dr. Elias Nunes Martins**, pela orientação, paciência, presteza em todos os momentos e os conselhos sobre a vida.

Ao funcionário da FEI-UEM, **Roberto Alvarez**, pela amizade, motivação e auxílio fundamental na realização do trabalho a campo.

À **Patrícia Faquinello**, grande amiga, que pude contar em todos os momentos.

À **Daniela Andressa Lino Lourenço**, amiga muito especial e querida, um presente de Deus, por todas as orações e companheirismo.

À **Alexandre Leseur dos Santos, Meiby Carneiro de Paula Leite, Robson Rossi e Carlos Antônio de Oliveira**, amigos queridos que ofertaram auxílio fundamental nas análises do trabalho em todos os momentos.

Aos apicultores, **Carlos Alberto Domingues, Gaudência Anaya Secco, Ivo Karling, Edson Colhera, Wainer César Chiari, Paulo Emílio Fernandes Prohman, José Cândido, Ricardo Cazzoti, Carmen Poesterle, Paulo Poesterle, Sidnei Bueno**

de Miranda, Luis Chavarski, Vagner de Alencar Arnaut de Toledo, pela colaboração ao nosso trabalho.

Ao pessoal do Grupo de Pesquisa com Abelhas – UEM, em especial à **Maria Josiane Sereia, Priscila Wielewski, Larissa Zetouni, Edmar Alves dos Santos e Danielle Beatriz Corrêa** por todo apoio prestado.

A **Denílson dos Santos Vicentin e Rose Mary Pepinelli**, secretários do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia.

Aos meus queridos amigos **Ana Paula Silva Ton, Karina Toledo da Silva, Leticia Lorençon, Ana Carolina Monteiro, Wallacy Barbacena R. Santos, Laudi Cunha Leite, Carlos Eduardo C. de O. Ramos, Andréia Fróes Galuci Oliveira, Luciana Maria Garcia de S. da Silva, Ricardo Kazama e Daniele Cristina da Silva** pelos momentos inesquecíveis vividos durante a graduação e pós-graduação.

E, a tantos outros que contribuíram de forma direta ou indireta na realização deste trabalho, o meu agradecimento.

BIOGRAFIA

FABIANA MARTINS COSTA MAIA, filha de João Elias da Costa e Maria Martins, nasceu em Maringá, Estado do Paraná, no dia 15 de fevereiro de 1979.

Em fevereiro de 1998, iniciou o curso de Zootecnia pela Universidade Estadual de Maringá – Estado do Paraná e, em dezembro do mesmo ano iniciou os trabalhos com abelhas. Durante toda a graduação dedicou-se exclusivamente a elas.

Em fevereiro de 2003 iniciou seus estudos em Melhoramento Genético de abelhas em nível de Mestrado pela Universidade Estadual de Maringá. Em julho do mesmo ano, concluiu o curso de Zootecnia.

Em fevereiro de 2005, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, em nível de Doutorado, Produção Animal. Em abril de 2005 obteve o título de Mestre em Zootecnia na área de concentração Produção Animal – Melhoramento Genético em Abelhas, na Universidade Estadual de Maringá.

No dia 15 de janeiro de 2009 teve sua tese aprovada pela banca examinadora depois de defesa pública.

ÍNDICE

	Página
LISTA DE TABELAS E FIGURA.....	ix
RESUMO.....	xiii
ABSTRACT.....	xvi
I – INTRODUÇÃO GERAL.....	1
Literatura Citada.....	9
II - OBJETIVOS GERAIS.....	14
III - ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS GENÉTICOS E FENOTÍPICOS PARA PRODUÇÃO DE MEL E PESO DE RAINHAS EM <i>Apis mellifera</i> AFRICANIZADAS.....	15
Resumo.....	15
Abstract.....	16
Introdução.....	17
Material e métodos.....	18
Resultados e discussão.....	22
Conclusões.....	31
Literatura Citada.....	31
IV - ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS GENÉTICOS E FENOTÍPICOS PARA PRODUÇÃO DE MEL E MEDIDAS MORFOMÉTRICAS DE RAINHAS <i>Apis mellifera</i> AFRICANIZADAS.....	34
Resumo.....	34
Abstract.....	35
Introdução.....	36
Material e métodos.....	37

Resultados e discussão.....	42
Conclusões.....	57
Literatura Citada.....	57
V - ESTIMATIVAS DE COMPONENTES DE CO(VARIÂNCIA) PARA COMPORTAMENTO HIGIÊNICO EM <i>Apis mellifera</i> AFRICANIZADAS.....	60
Resumo.....	60
Abstract.....	61
Introdução.....	62
Material e métodos.....	63
Resultados e discussão.....	66
Conclusões.....	74
Literatura Citada.....	74
VI - CONCLUSÕES GERAIS.....	76
VII – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	77

LISTA DE TABELAS

	Página
Estimativas de Parâmetros Genéticos e Fenotípicos para Produção de Mel e Peso de Rainhas em <i>Apis mellifera</i> Africanizadas	
Tabela 1 - Estimativas de variância genética aditiva (σ_a^2), permanente de ambiente (σ_p^2), residual (σ_e^2), fenotípica (σ_y^2) e herdabilidade (h^2) com seus respectivos intervalos de credibilidade e regiões de alta densidade, ao nível de 90%, em análise unicarater para peso da rainha à emergência e produção de mel em <i>Apis mellifera</i> africanizada.....	23
Tabela 2 - Estimativas de variância genética aditiva (σ_a^2), permanente de ambiente (σ_p^2), residual (σ_e^2), fenotípica (σ_y^2), covariância genética aditiva (σ_{a1a2}), herdabilidade (h^2) e correlação genética (rg_{a1a2}) com seus respectivos intervalos de credibilidade e regiões de alta densidade, ao nível de 90%, em análise bicarater, para produção de mel e peso à emergência de rainhas africanizadas.....	25
Tabela 3 – Estimativas de variância genética direta (σ_a^2), materna (σ_m^2), permanente de ambiente (σ_p^2), residual (σ_e^2), fenotípica (σ_y^2), herdabilidade direta (h_a^2), herdabilidade materna (h_m^2) e correlação genética entre os efeitos direto e materno (rg_{am}) com seus respectivos intervalos de credibilidade e região de alta densidade, ao nível de 90%, em análise unicarater para produção de mel em abelhas africanizadas.....	27
Tabela 4 – Estimativas de componentes de (co)variância genética direta, materna, permanente de ambiente, residual e fenotípica com seus respectivos intervalos de credibilidade e regiões de alta densidade, ao nível de 90%, em análise bicarater, para produção de mel e peso da rainha à emergência em abelhas africanizadas.....	28

Tabela 5 – Estimativas de herdabilidade direta (h^2_a), materna (h^2_m), correlação genética entre o efeito genético direto e materno (rg_{am}) e correlação genética entre produção de mel e peso da rainha à emergência (rg_{a1a2}) com seus respectivos intervalos de credibilidade e regiões de alta densidade, ao nível de 90%, em análise bicarater, para produção de mel e peso da rainha à emergência em abelhas africanizadas.....	29
Estimativas de Parâmetros Genéticos e Fenotípicos para Produção de Mel e Medidas Morfométricas de Rainhas <i>Apis mellifera</i> Africanizadas	
Figura 1 – Medidas morfométricas da asa anterior direita, abdome e tórax de rainha em figura segundo Dade (1994). a) comprimento da asa; b) largura da asa; c) comprimento do abdome; d) largura do abdome; e) comprimento do tórax; f) largura do tórax e g) altura do tórax.....	38
Tabela 1 – Estimativas de variância genética aditiva (σ^2_a), residual (σ^2_e), fenotípica (σ^2_y) e herdabilidade (h^2) em análise unicarater, com seus respectivos intervalos de credibilidade e regiões de alta densidade ao nível de 90%, para comprimento (Casa) e largura (Lasa) de asa, comprimento (Cabd) e largura (Labd) de abdome, comprimento (Ctorax), largura (Ltorax) e altura (Htorax) de tórax de rainhas africanizadas à emergência.....	43
Tabela 2 - Estimativas de componentes de (co)variância genética aditiva, com seus respectivos intervalos de credibilidade e regiões de alta densidade, ao nível de 90%, em análise tricarater para a produção de mel, comprimento (Casa) e largura (Lasa) de asa de rainhas africanizadas, sob o modelo que omitiu o efeito materno.....	44
Tabela 3 - Estimativas de variância permanente de ambiente (σ^2_p), residual (σ^2_e), fenotípica (σ^2_y) e herdabilidade (h^2), com seus respectivos intervalos de credibilidade e regiões de alta densidade, ao nível de 90%, em análise tricarater, para a produção de mel, comprimento (Casa) e largura (Lasa) de asa de rainhas africanizadas, obtidas sem considerar o efeito genético materno.....	45
Tabela 4 - Estimativas de correlação genética com seus respectivos intervalos de credibilidade e regiões de alta densidade, ao nível de 90%, em análise tricarater, para a produção de mel, comprimento (Casa) e largura (Lasa) de asa de rainhas africanizadas, obtidas sem considerar o efeito genético materno.....	45

Tabela 5 – Estimativas de componentes de (co)variância genética direta e materna, com respectivos intervalos de credibilidade e regiões de alta densidade, ao nível de 90%, em análise tricarater a produção de mel, comprimento (Casa) e largura (Lasa) de asa de rainhas africanizadas, obtidas considerando o efeito materno.....	46
Tabela 6 - Estimativas de variância permanente de ambiente (σ_p^2), residual (σ_e^2), fenotípica (σ_y^2), herdabilidade direta (h_a^2), herdabilidade materna (h_m^2) e correlação genética entre o efeito direto e materno (rg_{am}) com seus respectivos intervalos de credibilidade e regiões de alta densidade, ao nível de 90%, em análise tricarater para produção de mel, comprimento (Casa) e largura (Lasa) de asa de rainhas africanizadas, obtidas considerando o efeito genético materno.....	47
Tabela 7 - Estimativas de correlação genética com seus respectivos intervalos de credibilidade e regiões de alta densidade, ao nível de 90%, em análise tricarater, para produção de mel, comprimento (Casa) e largura (Lasa) de asa de rainhas africanizadas, considerando o efeito genético materno.....	48
Tabela 8 – Estimativas dos componentes de (co)variância genética em análise tricarater, com intervalos de credibilidade e regiões de alta densidade, ao nível de 90%, para produção de mel, comprimento (Cabd) e largura (Labd) de abdome de rainhas africanizadas, obtidas sem considerar o efeito materno.....	48
Tabela 9 - Estimativas de variância permanente de ambiente (σ_p^2), residual (σ_e^2), fenotípica (σ_y^2) e herdabilidade (h^2), com seus respectivos intervalos de credibilidade e regiões de alta densidade, ao nível de 90%, em análise tricarater para produção de mel, comprimento (Cabd) e largura (Labd) de abdome de rainhas africanizadas, obtidas sem considerar o efeito genético materno.....	49
Tabela 10 - Estimativas de correlação genética com seus respectivos intervalos de credibilidade e regiões de alta densidade, ao nível de 90%, em análise tricarater, para a produção de mel, comprimento (Cabd) e largura (Labd) de abdome de rainhas africanizadas, obtidas sem considerar o efeito materno.....	49
Tabela 11 – Estimativas de componentes de (co)variância genética direta e materna, com respectivos intervalos de credibilidade e regiões de alta densidade, ao nível de 90%, em análise tricarater para produção de mel, comprimento (Cabd) e largura (Labd) do abdome de rainhas africanizadas, obtidas considerando o efeito genético materno.....	50

Tabela 12 - Estimativas de variância permanente de ambiente (σ_p^2), residual (σ_e^2), fenotípica (σ_y^2), herdabilidade direta (h_a^2), herdabilidade materna (h_m^2) e correlação genética entre o efeito direto e materno (rg_{am}) com seus respectivos intervalos de credibilidade e regiões de alta densidade, ao nível de 90%, em análise tricarater para produção de mel, comprimento (Cabd) e largura (Labd) do abdome de rainhas africanizadas, obtidas considerando o efeito genético materno.....	51
Tabela 13 - Estimativas de correlação genética com seus respectivos intervalos de credibilidade e regiões de alta densidade, ao nível de 90%, em análise tricarater, para produção de mel, comprimento (Cabd) e largura (Labd) de abdome de rainhas africanizadas, obtidas considerando o efeito materno.....	51
Tabela 14 – Estimativas de componentes de (co)variância genética direta e materna em análise tetracarater, com intervalos de credibilidade e regiões de alta densidade, ao nível de 90%, para produção de mel, comprimento (Ctorax), largura (Ltorax) e altura (Htorax) do tórax de rainhas africanizadas, sob o modelo que omitiu o efeito genético materno.....	52
Tabela 15 - Estimativas de variância permanente de ambiente (σ_p^2), residual (σ_e^2), fenotípica (σ_y^2) e herdabilidade direta (h_a^2) com seus respectivos intervalos de credibilidade e regiões de alta densidade, ao nível de 90%, em análise tetracarater para produção de mel, comprimento (Ctorax), largura (Ltorax) e altura (Htorax) do tórax de rainhas africanizadas, obtidas sem considerar o efeito genético materno.....	53
Tabela 16 - Estimativas de correlação genética com seus respectivos intervalos de credibilidade e regiões de alta densidade, ao nível de 90%, em análise tetracarater, para produção de mel, comprimento (Ctorax), largura (Ltorax) e altura (Htorax) do tórax de rainhas africanizadas, obtidas sem considerar o efeito genético materno.....	54
Tabela 17 – Estimativas de componentes de (co)variância genética direta e materna em análise tetracarater, com intervalos de credibilidade e regiões de alta densidade, ao nível de 90%, para produção de mel, comprimento (Ctorax), largura (Ltorax) e altura (Htorax) do tórax de rainhas africanizadas, obtidas considerando o efeito materno.....	54

Tabela 18 - Estimativas de variância permanente de ambiente (σ_p^2), residual (σ_e^2), fenotípica (σ_y^2), herdabilidade direta (h_a^2), herdabilidade materna (h_m^2) e correlação genética entre o efeito direto e materno (rg_{am}) com seus respectivos intervalos de credibilidade e regiões de alta densidade, ao nível de 90%, em análise tetracarater para produção de mel, comprimento (Ctorax), largura (Ltorax) e altura (Htorax) do tórax de rainhas africanizadas, sob o modelo que considerou o efeito genético materno.....	55
Tabela 19 - Estimativas de correlação genética com seus respectivos intervalos de credibilidade e regiões de alta densidade, ao nível de 90%, em análise tetracarater, para produção de mel, comprimento (Ctorax), largura (Ltorax) e altura (Htorax) do tórax de rainhas africanizadas, obtidas considerando o efeito genético materno.....	56

Estimativas de Componentes de (Co)variância para Comportamento Higiénico em *Apis mellifera* Africanizadas

Tabela 1 – Estimativas de variância genética direta (σ_a^2), materna (σ_m^2), permanente de ambiente (σ_p^2), residual (σ_e^2), fenotípica (σ_y^2), herdabilidade direta (h_a^2), herdabilidade materna (h_m^2) e correlação genética entre os efeitos direto e materno (rg_{am}) com seus respectivos intervalos de credibilidade e região de alta densidade, ao nível de 90%, em análise unicarater para comportamento higiénico em 24 (CH_{24}), 48 (CH_{48}) e 72 (CH_{72}) horas em abelhas africanizadas.....	67
Tabela 2 – Estimativas dos componentes de (co)variância genética aditiva direta e materna com seus respectivos intervalos de credibilidade e regiões de alta densidade, ao nível de 90%, em análise tricarater para comportamento higiénico em 24 (CH_{24}), 48 (CH_{48}) e 72 (CH_{72}) horas em abelhas africanizadas.....	69
Tabela 3 - Componentes de (co)variância permanente de ambiente (σ_p^2) e seus respectivos intervalos de credibilidade e regiões de alta densidade, ao nível de 90%, em análise tricarater para porcentagem de remoção de cria operculada morta em 24 (CH_{24}), 48 (CH_{48}) e 72 (CH_{72}) horas em africanizadas.....	70
Tabela 4 - Componentes de (co)variância residual (σ_e^2) e seus respectivos intervalos de credibilidade e regiões de alta densidade, ao nível de 90%, em análise tricarater para porcentagem de remoção de cria operculada morta em 24 (CH_{24}), 48 (CH_{48}) e 72 (CH_{72}) horas em abelhas africanizadas.....	71

Tabela 5 - Componentes de (co)variância fenotípica (σ_y^2) e seus respectivos intervalos de credibilidade e regiões de alta densidade, ao nível de 90%, em análise tricarater para porcentagem de remoção de cria operculada morta em 24 (CH_{24}), 48 (CH_{48}) e 72 (CH_{72}) horas em abelhas africanizadas.....	71
Tabela 6 - Estimativas de herdabilidade direta (h_a^2), materna (h_m^2), correlações genéticas (rg) e correlações fenotípicas (ry) e respectivos intervalos de credibilidade e regiões de alta densidade ao nível de 90%, em análise tricarater, para comportamento higiênico em 24 (CH_{24}), 48 (CH_{48}) e 72 (CH_{72}) horas em abelhas africanizadas.....	73

RESUMO

Foram realizados três trabalhos com o objetivo de estimar parâmetros genéticos e fenotípicos e definir critérios de seleção para produção de mel com peso à emergência e características morfométricas de asa, abdome e tórax de rainhas africanizadas, omitindo e considerando o efeito genético materno e, para comportamento higiênico em 24, 48 e 72 horas, considerando o efeito genético materno. A origem materna das rainhas foi controlada, a paterna desconhecida, e nas diferentes épocas foi considerado grupos de operárias diferentes, porém com a mesma mãe. Para produção de mel, os dados analisados se referem à produção de 349 colônias, medidas morfométricas de asa e abdome de 159 rainhas, mensurações de tórax em 62 rainhas, sendo computados na matriz de parentesco 562 indivíduos entre rainhas e colônias e, para comportamento higiênico os dados analisados se referem a 64 colônias com matriz parentesco de 88 indivíduos entre rainhas e colônias. Todas as análises foram realizadas por meio da inferência Bayesiana. Para o primeiro trabalho foram realizadas análises unicarater para produção de mel e bicarater para produção de mel e peso da rainha sob dois modelos, considerando ou não o efeito genético materno sobre a produção de mel. No segundo trabalho, análises unicarater para medidas morfométricas, tricarater para produção de mel com características de asa e abdome e tetracarater com medidas de tórax, sob dois modelos, que omitiu ou considerou o efeito genético materno sobre a produção de mel. Para o terceiro trabalho foram realizadas análises unicarater e tricarater para comportamento higiênico considerando o efeito genético materno. No primeiro trabalho verificou-se que a estimativa de herdabilidade em análise unicarater para a produção de mel (0,20) aumentou quando foi considerado o efeito materno (0,23) e caracterizou herdabilidade materna baixa (0,09). Em análise bicarater, a herdabilidade para produção

de mel (0,49) e peso da rainha à emergência (0,99) foi superestimada quando o efeito materno foi omitido do modelo. A adição do efeito genético materno resultou em diminuição da estimativa de herdabilidade direta para a produção de mel (0,42), peso da rainha à emergência (0,87) e herdabilidade materna (0,07). O peso da rainha apresentou alta correlação genética com a produção de mel (0,99), assim como a correlação genética entre o efeito materno e produção de mel (0,93) e peso da rainha à emergência (0,68). No segundo trabalho para a produção de mel, as estimativas de variância permanente de ambiente representaram mais de 50% da variância fenotípica em todas as análises. As variâncias residuais foram baixas para produção de mel e para as características morfométricas em todas as análises. As estimativas de herdabilidade direta para produção de mel variaram entre 0,40 e 0,47 considerando e omitindo o efeito genético materno. Quando as medidas de tórax foram submetidas ao modelo com efeito materno obteve-se a menor estimativa de herdabilidade para produção de mel (0,003). As estimativas de herdabilidade materna para a produção de mel com características morfométricas de asa (0,24) e tórax (0,20) foram superiores àquelas com características de abdome (0,08). A maior correlação genética obtida foi entre produção de mel e o comprimento do abdome (0,68), indicando que as medidas externas do abdome podem refletir o potencial reprodutivo da rainha. No terceiro trabalho, em 24h, 48h e 72 horas, as estimativas de herdabilidade direta (0,10; 0,11 e 0,11) para remoção de cria morta operculada foram idênticas às maternas. Em análise tricarater as estimativas de herdabilidade direta e materna foram 0,28; 0,15; 0,24 e 0,23; 0,29; 0,27 em 24, 48 e 72 horas, respectivamente. As correlações entre os efeitos genético e materno foram -0,12; 0,09 e -0,08 para 24, 48 e 72 horas. A correlação genética entre 24h e 48 horas foi de 0,49, entre 24h e 72 horas foi 0,40 e para 48h e 72 horas, 0,47. Os resultados obtidos em todos os trabalhos demonstraram que o efeito genético materno deve ser considerado na avaliação genética para a produção de mel e para o comportamento higiênico. O efeito genético materno para a produção de mel parece advir do peso da rainha à emergência. O peso da rainha à emergência e comprimento do abdome de rainhas africanizadas para produção de mel e, para comportamento higiênico, a diferença relativa entre o número de alvéolos limpos em até 24 horas e alvéolos com cria morta operculados em zero hora podem ser usados como critérios de seleção.

ABSTRACT

Three works were carried out aiming to estimate the phenotypic and genetic parameters and to define the selection criteria for honey production with weight at emergence, and Africanized queens' wings, abdomen and thorax morphometric characteristics, omitting and taking into consideration the maternal genetic effect, and for hygienic behavior at 24, 48 and 72 hours, considering the maternal genetic effect. The queen's maternal origin was controlled, the paternal one unknown, and at different times different worker groups were considered, but with the same mother. For honey production, the analyzed data refers to the production of 349 colonies, wings and abdomen morphometric measures of 159 queens, thorax measures of 62 queens, being calculated in the relationship matrix 562 individuals among queens and colonies, and for hygienic behavior the data analyzed refers to 64 colonies with relationship matrix of 88 individuals among queens and colonies. All analyses were realized by Bayesian inference. For the first work, there were done unicharacter analyses for honey production and bicharacter for honey production and the queen's weight under two models, omitting or taking into consideration the maternal genetic effect on honey production. In the second work, unicharacter analyses for morphometric measures, tricharacter for honey production with wings and abdomen characteristics and tetracharacter with thorax characteristics, under two models omitting or taking into consideration the maternal genetic effect on honey production were also done. For the third work, unicharacter and tricharacter analyses were realized, taking into account the maternal genetic effect. The first work showed that the heritability estimate in unicharacter analysis for honey production (0.20) increased when the maternal effect was considered, (0.23) characterizing low maternal heritability (0.09). In bicharacter

analysis, the heritability for honey production (0.49) and queen's weight at emergence (0.99) were overestimated when the maternal effect was omitted from the model. The addition of maternal genetic effect resulted in decrease of direct heritability estimate for honey production (0.42), queen's weight at emergence (0.87) and maternal heritability (0.07). The queen's weight showed high genetic correlation with honey production (0.99), as well as a genetic correlation between maternal effect and honey production (0.93), and the queen's weight at emergence (0.68). In the second work for honey production, the estimates for environmental permanent variance represented more than 50% of phenotypic variance in all analyses. The residual variances were low for honey production and morphometric characteristics in all analyses. The direct heritability estimates for honey production varied between 0.40 and 0.47 taking into account and omitting the maternal genetic effect. However, when the thorax measures were submitted to the maternal effect a lower heritability estimate for honey production was obtained (0.003). The maternal heritability estimates for honey production with the wings morphometric characteristics (0.24) and thorax (0.20) were higher than the ones with abdomen characteristics (0.08). The higher genetic correlation was between honey production and abdomen length (0.68). These results indicate that the abdomen external measures may reflect the queen's reproductive potential. In the third work, at 24, 48 and 72 hours, the direct heritability estimates (0.10; 0.11 and 0.11) for removal of dead capped brood were identical to the maternal. In tricharacter analysis the direct and maternal heritability estimates were 0.28; 0.15; 0.24 and 0.23; 0.29; 0.27 at 24, 48 and 72 hours, respectively. The correlations between the genetic and the maternal effects were -0.12; 0.09 and -0.08 for 24, 48 and 72 hours, respectively. The genetic correlation between 24 and 48 hours was 0.49, between 24 and 72 hours was 0.40 and for 48 and 72 hours, 0.47. The results in all works showed that the maternal genetic effect must be taken into account in the genetic evaluation for honey production and hygienic behavior. The maternal genetic effect for honey production seems to come from the queen's weight at emergence. The weight at emergence and abdomen length of Africanized queens' for honey production and for hygienic behavior, the relation between the number of clean cells up to 24 hours and capped cells at zero hour can be used as selection criterion.

I – INTRODUÇÃO

Em 1956 as abelhas *Apis mellifera scutellata* foram introduzidas no Brasil pelo pesquisador Dr. Warwick Estevan Kerr com o objetivo de melhorar a apicultura nacional. O inter cruzamento dessa abelha com as várias subespécies já introduzidas anteriormente no Brasil (*A. m. ligustica*, *A. m. mellifera*, *A. m. carnica* e *A. m. caucasica*) originou um poli-híbrido denominado de abelha africanizada, com predominância das abelhas africanas (Gonçalves, 1974).

A apicultura brasileira foi muito questionada devido ao impacto negativo inicial das abelhas *Apis mellifera scutellata* (Kerr, 1967). Muitos apicultores comerciais saíram do ramo ou, drasticamente, reduziram seus apiários, pois não se conheciam técnicas de manejo para essas “novas” abelhas (Gonçalves, 1974).

Em 1970, no primeiro Congresso Brasileiro de Apicultura realizado em Florianópolis ficou evidente que as abelhas africanizadas apresentavam uma série de vantagens como maior produtividade (De Jong, 1990). O mesmo autor acrescentou que a produção de mel, em 1989, segundo a Confederação Brasileira de Apicultura (CBA), atingiu 36.000 toneladas, sendo este valor doze vezes superior ao encontrado nos anos 50, antes da chegada das abelhas africanas no Brasil.

Quase 40 anos depois, por meio de esforços de pesquisadores, extensionistas, apicultores e empresários da área a atividade alcançou projeção nacional e internacional. De 2001 a 2007, o Brasil passou por uma evolução na produção e exportação de mel. Segundo Resende (2008), em 2001 o Brasil exportou 2,8 milhões de dólares e, em 2002 esse valor subiu para 39,4 milhões de dólares. Em 2003, o valor das exportações de mel brasileiro ultrapassou 39 milhões de dólares. Entre 2005 e 2006, segundo dados do IBGE (2008) a produção brasileira de mel foi de 36,2 mil toneladas.

Segundo Resende (2008) o ano de 2007 foi de grandes desafios para o setor apícola brasileiro, o 5º entre os maiores exportadores, pois desde março de 2006, enfrenta as graves consequências do embargo ao mel brasileiro por seu maior importador, a União Europeia. Em 2007 as exportações brasileiras de mel totalizaram 21,2 milhões de dólares, referentes a 12,9 mil toneladas, com preço médio de US\$ 1,64/ kg, superior aos US\$ 1,60/ kg e aos US\$ 1,30/ kg pagos em 2006 e 2005, respectivamente. No entanto, quando comparado a 2006, o valor exportado em 2007 apresentou queda de 9,3%.

As projeções futuras são promissoras para a apicultura brasileira. Segundo MENSAGEM DOCE (2008), as entidades representativas da apicultura brasileira, CBA, ABEMEL e SEBRAE fizeram a divulgação do Pacto Nacional da Apicultura que tem como principais objetivos para até 2020 aumentar o consumo *per capita* para 500 g de mel/ habitante/ ano, aumentar as exportações de mel para 100.000 ton/ ano e triplicar a produtividade que hoje é de 15 kg/ colônia/ ano.

A pesquisa sempre desempenhou papel fundamental nessa evolução. O processo da africanização motivou relevantes transformações, entre elas, o melhoramento genético, inseminação instrumental, produção de rainhas e determinação de linhagens com comportamento higiênico (Soares, 2008). Segundo o mesmo autor, o grande evento propulsor das pesquisas foi o estabelecimento dos programas de pós-graduação no Brasil a partir de 1971, que impulsionaram o desenvolvimento científico e tecnológico.

Com isso, o profissionalismo entre os apicultores aumentou e a necessidade da implementação de técnicas que melhorem ainda mais as diversas produções das abelhas é constante. A exemplo disso, o melhoramento genético aliado às técnicas de manejo adequadas promove avanços na produção (Soares et al., 1996).

Nos últimos anos, tem sido observado um interesse crescente por programas de melhoramento genético. O progresso genético se deve ao uso cada vez mais correto das informações relativas aos indivíduos candidatos à seleção, resultantes do impulso crescente nos conhecimentos metodológicos de avaliações genéticas e avanços na área de informática (Silva et al., 2008).

O principal objetivo no melhoramento genético é a obtenção por meio de seleção de linhagens que apresentem características desejáveis (Gramacho, 2008).

Em abelhas, devido ao hábito de acasalamento múltiplo da rainha e, a existência de machos haploides, em uma colônia o parentesco pode variar entre 0,25 e 0,75 (Crow & Roberts, 1950; Polhemus et al., 1950; Laidlaw & Page, 1984). Desde 1950, vários

autores têm estudado essas particularidades (Crow & Roberts, 1950; Mackensen & Nye, 1966; Ruttner, 1968; Cale & Rothenbühler, 1975; Rinderer, 1977; Page & Laidlaw, 1982; Milne, 1985a; Oldroyd et al., 1985; Kulinčević, 1986; Moritz, 1986; Szabo & Lefkowitz, 1987; Harbo, 1996), no entanto, a avaliação genética em abelhas não é avançada como em outras espécies animais.

A rainha oferece contribuição ambiental às suas filhas operárias, por meio da qualidade e quantidade de ovos produzidos e, também pela produção de feromônios (Bienefeld & Pirchner, 1990). Pode-se medir isso diretamente na rainha, mas somente via impacto sobre sua progênie. Esse impacto sobre as operárias é estritamente ambiental, entretanto, a habilidade da rainha em botar ovos em quantidade suficiente e produzir feromônios é determinada pelo genótipo da rainha e pelo ambiente (Bienefeld et al., 2007).

Chevalet & Cournet (1982) adaptaram às abelhas o modelo desenvolvido por Willham (1963) que separou as estimativas de herdabilidade para efeito direto e materno. Falconer (1987) destacou a importância da herdabilidade, pois, expressa o grau de correspondência entre valor fenotípico e o valor genético de uma característica.

Segundo Bienefeld & Pirchner (1990), dois métodos foram propostos: estimar as herdabilidades de forma restrita para características de rainha ou de operárias que tenham altas correlações com o desempenho da colônia (Rinderer et al., 1983; Collins et al., 1984; Milne, 1985a, 1985b e 1985c; Collins et al., 1987); o segundo, negligenciar as operárias e interpretar a covariância entre as colônias relacionadas apenas entre rainhas geneticamente ligadas (Soller & Bar-Cohen, 1967; Bar-Cohen et al., 1978).

Até 1978, as estimativas de herdabilidade publicadas para a produção de mel variaram entre 0,07 a 0,58 (Soller & Bar-Cohen, 1967; Bar-Cohen et al., 1978) por meio de métodos convencionais que não consideram as covariâncias entre rainha e operárias.

Bienefeld & Pirchner (1990) estimaram parâmetros genéticos por meio do método de quadrados mínimos e encontraram herdabilidades para operárias e rainhas na produção de mel (0,26 e 0,15) e cera (0,39 e 0,45) e para características comportamentais de defensividade (0,41 e 0,40), mansidão (0,91 e 0,58) e desenvolvimento a primavera (0,76 e 0,46), respectivamente.

A aplicação da seleção em duas características simultaneamente pode eventualmente resultar em correlações negativas. Neste caso, a correlação negativa entre o efeito direto e materno impede a resposta de seleção (Willham, 1963; Foulley & Lefort, 1978; Roehle & Kennedy, 1993).

Bienefeld & Pirchner (1990; 1991) testaram 5.581 colônias de *Apis mellifera carnica*, provenientes de acasalamentos controlados e encontraram correlações negativas entre o efeito genético direto e materno de - 0,88, - 0,96, - 0,91, - 0,96 e - 0,92 para produção de mel, cera, defensividade, mansidão e desenvolvimento a primavera, respectivamente. Segundo Robinson (1981) é comum o fato das correlações genéticas serem negativas entre efeito direto e materno.

O comportamento higiênico segundo Milne (1985d) e Boecking et al. (2000) é uma característica influenciada pelo efeito genético materno da rainha. Trata-se de um mecanismo natural de resistência às doenças, Cria Pútrida Americana e Cria Giz (Milne, 1983; Gilliam et al., 1989; Spivak & Gilliam, 1993), caracterizado pela desoperculação e remoção de cria morta, doente ou danificada do favo.

Rothenbühler (1964) realizou o primeiro estudo genético desta característica e concluiu que dois *loci* de genes recessivos regulam o comportamento higiênico. Estudos subseqüentes sugeriram que a remoção de cria morta possa ser controlada por mais do que dois *loci*, talvez três (Moritz, 1988). Posteriormente Gramacho (1999) sugeriu que três *loci* de genes recessivos controlam o comportamento higiênico. Mais recentemente, Lapidge et al. (2002) encontraram sete loci que podem estar envolvidos no controle desse comportamento.

Spivak & Gilliam (1993) afirmaram que esse comportamento é determinado geneticamente, mas nem sempre expresso, pois parece depender de fatores populacionais, do vigor da colônia e de fatores ainda desconhecidos. No entanto, Rothenbühler (1964) e Lapidge et al. (2002) declararam que o comportamento higiênico é uma característica herdável.

Essa afirmação pode ser em parte elucidada se considerarmos como Bienefeld et al. (2007) que, além de passar metade de seus genes, a rainha oferece contribuição ambiental às suas filhas operárias, por meio da qualidade e quantidade de ovos produzidos e também pela produção de feromônios. Portanto, o genótipo da rainha é quem o determina, pelo menos em parte. Milne (1985d) apesar de afirmar que a rainha contribui geneticamente para o comportamento higiênico, não considera como um efeito de grande importância. Desde então o efeito materno foi pouco estudado para esta característica, no entanto, citado por Boecking et al. (2000).

As estimativas de herdabilidade para comportamento higiênico presentes na literatura variam muito. Milne (1985d) realizou em laboratório estudos genéticos para

comportamento higiênico e encontrou herdabilidade de 0,14 para desoperculação e 0,02 para cria morta removida.

Mais recentemente, por meio de regressão mãe-filha, Harbo & Harris (1999) encontraram herdabilidade de 0,65 para remoção de cria operculada morta congelada e posteriormente, Boecking et al. (2000) de 0,36 para remoção de cria morta operculada e 0,18 para células de cria infestadas com *Varroa destructor*.

A estimação acurada do valor genético dos indivíduos depende das diferenças genéticas da população, do ambiente, do tipo de análise, do método de estimação dos componentes de (co)variância e, em grande parte, dos efeitos considerados no modelo estatístico utilizado para a avaliação dos animais.

Van Engelsdorf & Otis (2000) desenvolveram um índice de seleção para várias características em abelhas. No entanto, Bienefeld & Pirchner (1991), já haviam derivado o índice de seleção para várias características, considerando simultaneamente os efeitos de rainha e operárias. Entretanto, segundo Bienefeld et al. (2007), o uso de índices de seleção está se tornando menos comum em função das influências ambientais, assim como das diferenças genéticas nos níveis de acasalamentos. Esses mesmos autores sugerem a utilização do Modelo Animal – BLUP (Melhor Preditor Linear Não-Viesado) com adaptações pertinentes às abelhas.

Os preditores dos valores genéticos de indivíduos que serão submetidos à seleção variam de acordo com os conhecimentos disponíveis acerca das populações a que eles pertencem (Martins et al., 1997). Existem três classes de preditores (Henderson, 1984; Quaas, 1984; Elzo, 1989), que são definidas como Melhor Preditor (BP), Melhor Preditor Linear (BLP) e Melhor Preditor Linear Não-Viesado (BLUP).

Segundo Martins et al. (1997), o BP é utilizado se a forma da distribuição conjunta das observações e dos valores genéticos é conhecida, assim como os parâmetros dessa distribuição. O BLP é denominado Índice de Seleção (Henderson, 1963, 1973 e 1974; Quaas, 1984) e consiste basicamente, na predição dos valores genéticos dos indivíduos com base nas informações de suas características, dadas suas variâncias e covariâncias genéticas e fenotípicas. Finalmente, para o BLUP, geralmente os parâmetros da distribuição não são conhecidos. O que tem sido feito é estimá-los a partir das próprias observações e, então, utilizar tais valores como parâmetros (Martins et al., 1997).

Segundo Lynch e Walsh (1998), o uso do BLUP é justificável em situações de complexidade de informações de pedigree, uma vez que, ao estimar o valor genético de

um indivíduo, ele utiliza todas as informações disponíveis de seus parentes, de forma otimizada, conferindo à seleção, maior acurácia. No entanto, a obtenção de melhores respostas no menor intervalo de tempo, utilizando-se de todas as informações disponíveis, conduz geralmente, a aumentos na taxa de consanguinidade.

É possível utilizar melhor a variabilidade genética existente numa população, por meio dos esquemas de seleção atuais e, dessa forma, reduzir a taxa de consanguinidade e seu efeito de depressão, sem prejuízos ao progresso genético (Sanchez et al.,1999). Em abelhas, as relações genéticas e a consanguinidade são dependentes do método de melhoramento e sistema de acasalamentos utilizados (Bienefeld et al., 2007).

Em comparação ao BLP (Índice de Seleção), utilizado por Bienefeld & Pirchner (1991) e Van Engelsdorf & Otis (2000) na avaliação genética de abelhas, a aproximação descrita por Bienefeld et al. (2007) propõe duas vantagens: considera a contribuição de ambas as castas sobre a expressão da colônia e a relação genética entre colônias facilitando as comparações genéticas da população como um todo.

As características economicamente importantes geralmente são correlacionadas, ou seja, a alteração em uma delas leva a mudança em outra característica. Assim, é importante o conhecimento dessas correlações, uma vez que o valor econômico de um animal é influenciado por várias características (Falconer, 1987).

Com abelhas, muitas das características de valor econômico assim como a produção de mel, própolis e pólen podem ser medidas somente em nível de colônia, portanto a identificação de características associadas à produção e de fácil mensuração são utilizadas para seleção indireta (Souza et al., 2002).

Características morfológicas e comportamentais de operárias têm sido estudadas com este objetivo, entre elas pode-se citar a área corbicular (Milne & Pries, 1984), comportamento de provisão (Milne, 1980a), longevidade das operárias (Milne, 1980b) e peso pupal (Milne, 1980c).

A corbícula está relacionada com a capacidade de realizar grandes e numerosas cargas de pólen (Milne & Pries, 1984). Se a capacidade de transporte do pólen aumenta por abelha, talvez isso possibilite mais abelhas direcionadas para a coleta de néctar que, conseqüentemente, aumentaria a produção de mel. Outro fator correlacionado à produção de mel é taxa de oviposição da rainha (Cale, 1967) e a área de cria (Tood & Reed, 1970), portanto essas colônias poderiam ser mais populosas e eficientes na coleta de néctar (Harbo, 1986).

O sistema haplo-diploide em *Apis mellifera* L. confere ao zangão, por ser originado de um óvulo sem fecundação, a transferência para sua descendência de todo o material genético proveniente de sua mãe (Laidlaw & Page, 1984). Dessa forma, as características expressas pela colônia, como a produção de mel, pólen, própolis, geleia real, comportamento higiênico entre outras, tem sua origem na rainha, pelo menos em parte.

Em função destas relações, o tamanho das rainhas tem sido associado fenotípica e geneticamente com características comportamentais e de produção das colônias. Vários autores afirmaram que o peso da rainha à emergência está correlacionado com o potencial reprodutivo da rainha (Hoopingarner & Farrar, 1959; Boch & Jamielson, 1960; Tarpay et al., 2000; Gilley et al., 2003; Kahya et al., 2008) e que o peso das rainhas estaria relacionado com o número de ovários presentes nos ovários e com o tamanho da espermateca. Por outro lado, outros autores não encontraram correlação significativa entre o peso da rainha à emergência e número de ovários (Corbella, 1981; Corbella & Gonçalves, 1982; Morini & Bueno, 1993; Hatch et al., 1999).

Todavia, para rainhas fecundadas esta correlação é conflitante. Nelson & Gary (1983) encontraram correlação positiva entre o peso da rainha fecundada e a produção de mel, enquanto, para Szabo & Lefkovitch (1988) o peso da rainha fecundada não foi relacionado linearmente com esta característica.

Costa (2005) utilizando metodologia Bayesiana estimou parâmetros genéticos e fenotípicos para peso e medidas morfométricas de asa e abdome em rainhas africanizadas recém-emergidas. Foi encontrado potencial de seleção em todas as características, separadamente. A autora sugeriu o emprego de índices de seleção, pretendendo-se alterar simultaneamente mais de uma característica e, visando à estruturação de um programa de melhoramento genético as características morfométricas de rainha, deveriam ser associadas às características de produção.

Posteriormente, Faquinello (2007) associou características morfométricas de rainhas recém-emergidas com a produção de geleia real por minirecria e, encontrou potencial de seleção para produção, baseada na largura do abdome.

Para se obter sucesso no melhoramento genético seletivo de abelhas, segundo Page e Laidlaw (1997), quatro componentes são essenciais: 1) seleção do estoque – as colônias devem ser identificadas e devem existir entre elas diferenças selecionáveis que formam o potencial da população parental; 2) manutenção da variabilidade genética; 3) controle dos acasalamentos e 4) manutenção do estoque durante todo o programa.

No entanto, podemos acrescentar mais dois componentes essenciais: a estimação acurada de parâmetros genéticos, que possibilita a predição do valor genético do animal e consequente identificação dos animais geneticamente superiores; e, fornecer subsídio aos apicultores, como forma de assessoria na otimização do uso dos recursos genéticos presentes no seu apiário.

Os métodos Bayesianos vêm sendo utilizados para a estimação dos componentes de (co)variância e dos parâmetros genéticos para a avaliação dos animais, permitindo a análise de pequenos a grandes conjuntos de dados, propiciando estimativas diretas e acuradas dos componentes de variância, valores genéticos e intervalos de credibilidade para essas estimativas (Van Tassel & Van Vleck, 1995).

A obtenção dos parâmetros genéticos requer o conhecimento prévio dos componentes de (co)variância, para decompor a variância fenotípica em genética e outros componentes. Em consequência das diferenças genéticas da população, de ambiente, do tipo de análise e do método de estimação de componentes de (co)variância, entre outros, as estimativas dos parâmetros genéticos podem variar consideravelmente, o que reforça a necessidade de se avaliar estes parâmetros na população em estudo.

No que se refere a abelhas *Apis mellifera* africanizadas, as estimativas dos parâmetros genéticos para as características de interesse econômico são escassas na literatura nacional. Da mesma forma, a separação desses parâmetros genéticos em efeito genético direto e materno.

Literatura Citada

- BAR-COHEN, R.; ALPERN, G.; BAR-ANAN, R. Progeny testing and selecting Italian queens for brood area and honey production. **Apidologie**, v.9, p.95-100, 1978.
- BIENEFELD, K.; EHRHARDT, K.; REINHARDT, F. Genetic evaluation in the honey bee considering queen and worker effects – A BLUP-Animal Model approach. **Apidologie**, v.38, p.77-85, 2007.
- BIENEFELD, K.; PIRCHNER, F. Heritabilities for several colony traits in the honeybee (*Apis mellifera carnica*). **Apidologie**, v.21, p.175-183, 1990.
- BIENEFELD, K.; PIRCHNER, F. Genetic correlations among several colony characters in the honey bee (Hymenoptera: Apidae) taking queen and worker effects into account. **Annals of the Entomological Society of America**, v.84, p.324-331, 1991.
- BOCH, R.; JAMIESON, C.A. Relation of body weight to fecundity in queen honeybees. **The Canadian Entomologist**, v. 92, p. 700-701, 1960.
- BOECKING, O.; BIENEFELD, K.; DRESCHER, W. Heritability of the varroa-specific hygienic behavior in honey bees (Hymenoptera: Apidae). **Journal of Animal Breeding and Genetics**, v.117, p.417- 424, 2000.
- CALE, G.H. Pollen gathering relationship to honey collection and egg laying in honey bees. **Apiacta**, v.4, p.1-3, 1967.
- CALE, G.H.; ROTHENBÜHLER, W.C. Genetics and breeding of the honey bee. In: GRAHAM, J.M. (Ed.) **The hive and the honeybee**. 3.ed. Hamilton: Illinois, 1975. p.157–184.
- CHEVALET, C.; CORNUET, J.M. Étude théorique sur la sélection du caractère "production de miel" chez l'abeille. I. Modèle génétique et statistique. **Apidologie**, v.13, p.39-65, 1982.
- COLLINS, A.M.; BRAUN, M.A.; RINDERER, T.E. et al. Heritabilities of honey-bee alarm pheromone production. **Journal of Heredity**, v.78, p.29-31, 1987.
- COLLINS, A.M.; RINDERER, T.E.; HARBO, J.R. et al. Heritabilities and correlations for several characters in the honey bee. **Journal of Heredity**, v.75, p.135-140, 1984.
- CORBELLA, E. **Seleção para aumento de peso de rainhas de *Apis mellifera* e influência de variáveis climáticas na criação artificial de rainhas**. 1981. 110f. Dissertação (Mestrado em Ciências – Entomologia) – FFCLRP, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto.
- CORBELLA, E.; GONÇALVES, L.S. Relationship between weight at emergence, number of ovarioles and spermathecal volume of Africanized honey bee queens (*Apis mellifera* L.). **Revista Brasileira de Genética**, v.4, p.835-840, 1982.
- COSTA, F.M. **Estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos para peso e medidas morfométricas em rainhas *Apis mellifera* africanizadas**. 2005. 39 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – UEM, Universidade Estadual de Maringá, Maringá.
- CROW, J.F.; ROBERTS, W.C. Inbreeding and homozygosity in bees. **Genetics**, v.35, p.612–621, 1950.
- DE JONG, D. Potencial produtivo das abelhas africanizadas em relação ao das abelhas européias. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 27., 1990, Campinas. **Anais...** Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz - FELAQ, 1990. p. 577-587.
- ELZO, M.A. **Modelos lineares mistos na avaliação de valores genéticos dos animais**. 1.ed. Viçosa: UFV, 1989. 647p.
- FALCONER, D.S. **Introdução a genética quantitativa**. Viçosa:UFV, 1987. 279p.

- FAQUINELLO, P. **Avaliação genética em abelhas *Apis mellifera* africanizadas para produção de geléia real**. 2007. 54 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – UEM, Universidade Estadual de Maringá, Maringá.
- FOULLEY, J.L.; LEFORT, G. Méthodes d'estimation des effets directs et maternels en sélection animale. **Annales de Genetique et de Selection Animale**, v.10, p.475-496, 1978.
- GILLEY, D.C.; TARPY, D.R.; LAND, B.B. Effect of queen quality on interactions between workers and dueling queens in honeybee (*Apis mellifera* L.) colonies. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v.55, p.190-196, 2003.
- GILLIAM, M.; TABER, S.; LORENZ, B.G.J. et al. Hygienic honey bees and antagonistic normal microflora for control of chalkbrood disease. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE APICULTURA, 32, 1989, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Apimondia, 1989. p.227.
- GONÇALVES, L.S. Comments on the aggressiveness of the Africanized bees in Brazil. **American Bee Journal**, v.114, p.448-450, 1974.
- GRAMACHO, K.P. **Fatores que interferem no comportamento higiênico das abelhas *Apis mellifera***. Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto – FRCLRP, 1999. 225p. Tese (Doutorado em Ciências: Entomologia) - Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto, 1999.
- GRAMACHO, K.P. Uso do comportamento higiênico nos programas de melhoramento de abelhas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE APICULTURA, 17., 2008, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: CBA, [2008] (CD-ROM).
- HARBO, J.R. Effect of population size on brood production, worker survival and honey gain in colonies of honeybees. **Journal of Apicultural Research**, v.25, p.22-29, 1986.
- HARBO, J.R. Evaluating colonies of honey bees for resistance to *Varroa jacobsoni*. **BeeScience**, v.4, p.100-105, 1996.
- HARBO J.R.; HARRIS, J.W. Heritability in honey bees (Hymenoptera: Apidae) of characteristics associated with resistance to *Varroa jacobsoni* (Mesostigmata: Varroidae). **Journal of Economic Entomology**, v.92, n.2, p.261-265, 1999.
- HATCH, S.; TARPY, D.R.; FLETCHER, D.J.C. Worker regulation of emergency queen rearing in honey bee colonies and the resultant variation in queen quality. **Insectes Sociaux**, v.46, p.372-377, 1999.
- HENDERSON, C.R. **Applications of linear models in animal breeding**. 1.ed. Guelph: University of Guelph, 1984. 462p.
- HENDERSON, C.R. General flexibility of linear model for sire evaluation. **Journal of Dairy Science**, v.57, n.8, p.963-972, 1974.
- HENDERSON, C.R. Selection index and expected genetic advance. In: **Statistical genetics and plant breeding**. 1.ed. Washington: Washington DC, 1963. p. 141-163.
- HENDERSON, C.R. Sire evaluation and genetic trends. In: ANIMAL BREEDING GENETIC SYMPOSIUM IN HONOR OF DR. J.L. LUSH, 1., 1973, Champaign. **Proceedings...** Champaign: ASAS/ADSA, 1973. p. 10-41.
- HOOPINGARNER, R.; FARRAR, C.L. Genetic control of size in queen honey bees. **Journal of Economic Entomology**, v. 52, n.4, p.547-548, 1959.
- IBGE. **Mel**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/ppm> > Acesso em 01/11/08.
- KAHYA, Y.; GENÇER, H.V.; WOYKE, J. Weight at emergence of honey bee (*Apis mellifera caucasica*) queens and its effect on live weights at the pre and post mating periods. **Journal of Apicultural Research**, v.47, n.2, p.118-125, 2008.

- KERR, W.E. Introdução de abelhas africanas no Brasil. **Brasil Apícola**, v.3, n.5, p.211-213, 1957.
- KERR, W.E. The history of the introduction of African bees to Brazil. **South African Bee Journal**, v.39, n.2, p.3-5, 1967.
- KULINCEVIC, J.M. Breeding accomplishments with honey bees. In: RINDERER, T.E. (Ed.) **Bee genetics and breeding**. Academic Press: London, 1986. p.391-413.
- LAIDLAW, H.H.; PAGE, R.E. Polyandry in honey bees (*Apis mellifera* L.): Sperm utilization and intracolony genetic relationship. **Genetics**, v.108, p.985-997, 1984.
- LAPIDGE, K.L.; OLDROYD, B.P.; SPIVAK, M. Seven suggestive quantitative loci influence hygienic behavior of honey bees. **Naturwissenschaften**, v.89, p.565-568, 2002.
- LYNCH, M.; WALSH, B. **Genetics and analysis of quantitative traits**. 1.ed. Sunderland: Sunderland, 1998. 980p.
- MACKENSEN, O.; NYE, W.P. Selecting and breeding honey bees for collecting alfalfa pollen. **Journal of Apicultural Research**, v.5, p.79-86, 1966.
- MARTINS, E.N.; LOPES, P.S.; ALMEIDA e SILVA, M. et al. **Uso de modelos mistos na avaliação genética animal**. 1.ed. Viçosa: UFV, 1997. 121p.
- MENSAGEM DOCE [2008]. **Reunião da associação brasileira de exportadores de mel – ABEMEL**. Disponível em: <<http://www.apacame.org.br/index1.htm>> Acesso em: 01/11/08.
- MILNE, C.P. A heritability estimate of honeybee hoarding behavior. **Apidologie**, v.16, p.413-420, 1985c.
- MILNE, C.P. An estimate of the heritability of the corbicular area of the honeybee. **Journal of Apicultural Research**, v.24, p.137-139, 1985a.
- MILNE, C.P. An estimate of the heritability of worker longevity or length of life in the honeybee. **Journal of Apicultural Research**, v.24, p.140-143, 1985b.
- MILNE, C.P. Estimates of heritabilities of and genetic correlation between two components of honey bee (Hymenoptera: Apidae) hygienic behavior: uncapping and removing. **Annals of the Entomological Society of America**, n.78, p.841-844, 1985d.
- MILNE, C.P. Honey bee (Hymenoptera: Apidae) hygienic behaviour and resistance to chalkbrood. **Annals of the Entomological Society of America**, n.76, p.384-387, 1983.
- MILNE, C.P. Laboratory measurement of honey production in the honeybee. 1. A model for hoarding behavior by caged workers. **Journal of Apicultural Research**, v.19, p.122-126, 1980a.
- MILNE, C.P. Laboratory measurement of honey production in the honeybee. 2. Longevity or length of life of caged workers. **Journal of Apicultural Research**, v.19, p.172-175, 1980b.
- MILNE, C.P. Laboratory measurement of honey production in the honeybee. 3. Pupal weight of the worker. **Journal of Apicultural Research**, v.19, p.176-178, 1980c.
- MILNE, C.P.; PRIES, K.J. Honeybee corbicular size and honey production. **Journal of Apicultural Research**, v.23, p.11-14, 1984.
- MORINI, M.S.C.; BUENO, O.C. Morphology and weight of Africanized queen bees produced in different diameters of artificial cups. **Journal of Advanced Zoology**, v.14, n.2, p.67-69, 1993.
- MORITZ, R.F.A. A re-evaluation of the two locus model for hygienic behaviour in honeybees (*Apis mellifera* L.). **Journal of Heredity**, v.79, p.257-262, 1988.
- MORITZ, R.F.A. Comparison of within-family and mass selection in honeybee populations. **Journal of Apicultural Research**, v. 25, p.146-453, 1986.

- NELSON, D.L.; GARY, N.E. Honey productivity of honeybees colonies in relation to body weight, attractiveness and fecundity of the queen. **Journal of Apicultural Research**, v.22, n.4, p.209-213, 1983.
- OLDROYD, B.P.; MORAN, C.; NICHOLAS, F.W. Diallel crosses of honeybees 1. A genetic analysis of honey production using a fixed effects model. **Journal of Apicultural Research**, v.24, p.243-249, 1985.
- PAGE, R.E.; LAIDLAW, H.H. Closed population honeybee breeding. 2. Comparative methods of stock maintenance and selective breeding. **Journal of Apicultural Research**, v.21, p.38-44, 1982.
- PAGE, R.E.; LAIDLAW, H.H. Honey bee genetics and breeding. In: GRAHAM, J.M. (Ed.) **The hive and the honey bee**. Illinois: Dadant and Sons, 1997. p.253-267.
- POLHEMUS, M.S.; LUSH, J.L.; ROTHENBÜHLER, W.C. Mating systems in honeybees. **Journal of Heredity**, v.41, p.151-154, 1950.
- QUASS, R.L. Linear prediction. In: QUASS, R.L.; GILMOUR, A.R. (Eds.) **Use of the mixed models for prediction and for estimation of (co)variance components**. 1.ed. Armidale: University of New England – AGBU, 1984. p. 1-76.
- RESENDE, R.B. A contribuição da Rede Apis na implantação da apicultura sustentável. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE APICULTURA, 17., 2008, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: CBA, [2008] (CD-ROM).
- RINDERER, T.E. A new approach to honey bee breeding at the Baton Rouge USDA, Laboratory. **American Bee Journal**, v. 117, p.146-147, 1977.
- RINDERER, T.E.; COLLINS, A.M.; BROWN, M.A. Heritabilities and correlations of the honey bee: response to Nosema Apis, longevity and alarm response to Isopentyl Acetate. **Apidologie**, v.14, p.79-85, 1983.
- ROBINSON O.W. The influence of maternal effects on the efficiency of selection: A review. **Livestock Production Science**, v.8, p.121-137, 1981.
- ROEHE, R.; KENNEDY, B.W. The influence of maternal effects on accuracy of evaluation of litter size in swine. **Journal of Animal Science**, v.71, p.2353-2364, 1993.
- ROTHENBÜHLER, W.C. Behavior genetics of nest cleaning in honey bees. IV. Responses of F1 and backcross generations to disease-killed brood. **American Zoology**, v.4, p.111-123, 1964.
- RUTTNER, F. Methods of breeding honeybees: Intra-racial selection or inter-racial hybrids? **Bee World**, v.49, p.66-72, 1968.
- SANCHEZ, L.; TORO, M.A.; GARCIA, C. Improving the efficiency of artificial selection: more selection pressure with less inbreeding. **Genetics**, v.151, p.1103-1114, 1999.
- SILVA, L.O.C.; NOBRE, P.R.C.; ROSA, A.N. et al. O programa EMBRAPA de melhoramento de gado de corte – GENEPLUS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE RAÇAS ZEBUÍNAS, 7., 2008, Uberaba. **Anais...** Uberaba: ABCZ, 2008. p.71-80.
- SOARES, A.E.E. Avanços científicos e o desenvolvimento da apicultura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE APICULTURA, 17., 2008, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: CBA, [2008] (CD-ROM).
- SOARES, A.E.E. et al. Avanços no melhoramento genético e na inseminação instrumental em *Apis mellifera*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE APICULTURA, 11., 1996, Teresina. **Anais...** Teresina: CBA, 1996. p.59-61.
- SOLLER, M.; BAR-COHEN, R. Some observations on the heritability and genetic correlation between honey production and brood area in the honey bee. **Journal of Apicultural Research**, v.6, p.37-43, 1967.

- SOUZA, D.C.; CRUZ, D.C.; CAMPOS, L.A.O. et al. Correlação entre a produção de mel e algumas características morfológicas em abelhas africanizadas (*Apis mellifera*). **Ciência Rural**, v.32, p.869-872, 2002.
- SPIVAK, M.; GILLIAM, M. Facultative expression of hygienic behaviour of honey bees in relation to disease resistance. **Journal of Apicultural Research**, v.32, n.3, p.147-157, 1993.
- SZABO, T.I.; LEFKOVITCH, L.P. Fourth generation of closed population honeybee breeding. **Apidologie**, v. 19, n. 3, p. 259-274, 1988.
- SZABO, T.I.; LEFKOVITCH, L.P. Fourth generation of closed-population honeybee breeding 1. Comparison of selected and control strains. **Journal of Apicultural Research**, v.26, p.170-180, 1987.
- TARPY, D.R.; HATCH, S.; FLETCHER, J.C. The influence of queen age and quality during queen replacement in honeybee colonies. **Animal Behaviour**, v.59, p.97-101, 2000.
- TOOD, F.E.; REED, C.B. Brood measurement as a valid index to the value of honey bees as pollinators. **Journal of Economic Entomology**, v.63, p.148-149, 1970.
- VAN ENGELSDORF, D.; OTIS, C.W. Application of a modified selection index for honey bees (Hymenoptera Apidae). **Journal of Economic Entomology**, v.93, p. 1606-1612, 2000.
- VAN TASSEL, C.P.; VAN VLECK, L.D. **A manual for use of MTGSAM. A set of fortran programs to apply gibbs sampling to animal models for variance component estimation.** (DRAFT) Lincon: Departament of Agriculture/ Agricultural Research Service, 1995.
- WILLHAM, R.L. The covariance between relatives for characters composed of components contributed by related individuals. **Biometrics**, v.19, p.18-27, 1963.

II - OBJETIVOS GERAIS

- A) estimar parâmetros genéticos e fenotípicos para produção de mel com peso, comprimento e largura de asa e abdome e comprimento, largura e altura de tórax de rainhas africanizadas;
- B) estimar parâmetros genéticos e fenotípicos para comportamento higiênico em 24h, 48h e 72 horas de colônias de abelhas africanizadas;
- C) avaliar a importância do efeito genético materno de rainha sobre a produção de mel e comportamento higiênico;
- D) verificar entre as características estudadas quais podem ser utilizadas como critério de seleção para produção de mel e comportamento higiênico.

III - Estimativas de Parâmetros Genéticos e Fenotípicos para Produção de Mel e Peso de Rainhas em *Apis mellifera* Africanizadas

RESUMO – O objetivo deste trabalho foi estimar parâmetros genéticos e fenotípicos para produção de mel e peso de rainhas *Apis mellifera* africanizada recém-emergidas omitindo e considerando o efeito genético materno de rainha, e verificar se o peso da rainha à emergência pode ser utilizado como critério de seleção para a produção de mel. A origem materna das rainhas foi controlada, a paterna desconhecida, e nas coletas de mel foi considerado grupos de operárias diferentes, porém com a mesma mãe. Os dados analisados se referem à produção de mel de 349 colônias e peso à emergência de 159 rainhas, sendo computado na matriz de parentesco 562 indivíduos entre rainhas e colônias. Foram realizadas por meio da inferência Bayesiana análises unicarater para produção de mel e bicarater para produção de mel e peso da rainha sob dois modelos que omitiu ou considerou o efeito genético materno sobre a produção de mel. A estimativa de herdabilidade em análise unicarater para a produção de mel (0,20) aumentou quando foi considerado o efeito materno (0,23) e caracterizou herdabilidade materna baixa (0,09). Em análise bicarater, a herdabilidade para produção de mel (0,49) e peso da rainha à emergência (0,99) foi superestimada quando o efeito materno foi omitido do modelo. A adição do efeito genético materno resultou em diminuição da estimativa de herdabilidade direta para a produção de mel (0,42), peso da rainha à emergência (0,87) e herdabilidade materna (0,07). O peso da rainha apresentou alta correlação genética com a produção de mel (0,99), assim como a correlação genética entre o efeito materno e produção de mel (0,93) e peso da rainha à emergência (0,68). O efeito genético materno para a produção de mel parece advir do peso da rainha à emergência, que pode ser utilizado como critério de seleção.

Palavras-chave: avaliação genética, efeito materno, herdabilidade, inferência Bayesiana, mel, tamanho de rainhas

III - Estimates of Genetic and Phenotypic Parameters for Honey Production and Queen's Weight in Africanized *Apis mellifera*

ABSTRACT – The objective of this work was to estimate genetic and phenotypic parameters for honey production and weight in Africanized *Apis mellifera* queens recently emerged omitting and taking into consideration the queen's maternal genetic effect, and to verify whether the queen's weight at emergence can be used as selection criterion for honey production. The queens' maternal origins were controlled while the paternal one was not known, and in the honey collection was considered groups of different workers, with the same mother. Data analyzed refers to honey production of 349 colonies, and 159 queens' weight at emergence, being calculated in the relationship matrix 562 individuals among queens and colonies. Both unicharacter analysis for honey production and bicharacter analysis for honey production and queen's weight were carried out by Bayesian inference, under two models, where the maternal genetic effect on honey production was either omitted or considered. Heritability estimate in unicharacter analysis for honey production (0.20) increased when the maternal effect was taken into account (0.23), being characterized as low maternal heritability (0.09). In bi-character analysis, the heritability for honey production (0.49) and queen's weight at emergence (0.99) was overestimated when the maternal effect was omitted from the model. The addition of maternal effect resulted in a decrease of direct heritability estimate for honey production (0.42), queen's weight at emergence (0.87) and maternal heritability (0.07). The queen's weight presented high genetic correlation with honey production (0.99), as well as the genetic correlation with maternal effect and honey production (0.93) and queen's weight at emergence (0.68). The maternal genetic effect for honey production seems to come from the queen's weight at emergence, which can be used as selection criterion.

Key-words: genetic evaluation, maternal effect, heritability, Bayesian inference, honey, queens' size

Introdução

A produção de mel é atribuída às operárias. No entanto, essa característica é influenciada por no mínimo dois componentes: o comportamento das operárias e o efeito materno da rainha (Chevalet & Cournet, 1982). Trata-se de uma característica complexa e economicamente importante, sendo, portanto imprescindível o estudo dos fatores envolvidos.

A correlação da produção de mel com características pouco influenciadas pelo ambiente pode auxiliar na seleção de colônias com maior capacidade para a produção de mel e alguns autores sugerem que o peso da rainha pode ser uma dessas características.

Todavia, para rainhas fecundadas esta correlação é conflitante. Nelson & Gary (1983) encontraram correlação positiva entre o peso da rainha fecundada e a produção de mel, enquanto que, para Szabo & Lefkovitch (1988) o peso da rainha fecundada não foi relacionado linearmente com esta característica.

Por outro lado, para Szabo (1973) o peso da rainha à emergência é um indicador confiável do valor genético para o potencial reprodutivo da rainha. Outros trabalhos evidenciaram características de rainhas recém-emergidas. Estoup et al. (1994) afirmaram que as fontes de variação reprodutiva entre rainhas recém-emergidas incluem diferenças genéticas como o alto nível de poliandria. Moritz et al. (2005) encontraram variação no peso de rainhas virgens provenientes de diferentes subfamílias. Tarpay et al. (2000) indicaram que há potencial de seleção para rainhas recém-emergidas pois, existe variação no potencial reprodutivo.

Costa (2005) encontrou herdabilidade de 0,35 com intervalo de credibilidade preciso para peso de rainhas à emergência e sugeriu que esta característica fosse correlacionada com características de produção. Em função disso, Faquinello (2007) trabalhou com produção de geleia real e peso da rainha virgem à emergência e encontrou baixa correlação genética de 0,16.

A principal limitação em estimar as herdabilidades em *Apis mellifera* L. é que muitas das características economicamente importantes são afetadas pela atividade combinada de operárias e rainha (Bienefeld & Pirchner, 1990). Estes mesmos autores encontraram herdabilidades para a produção de mel em operárias (0,26) e para o efeito materno de rainhas (0,15), separadamente. Contudo, as estimativas de herdabilidade para produção de mel variam entre 0,23 e 0,58 (Soller & Bar-Cohen, 1967; Bar-Cohen et al., 1978).

Considerando essas informações, o objetivo deste trabalho foi estimar parâmetros genéticos e fenotípicos para produção de mel e peso de rainhas africanizadas recém-emergidas sob dois modelos, com e sem o efeito genético materno e verificar se o peso da rainha à emergência pode ser utilizado como critério de seleção para a produção de mel.

Material e métodos

O experimento foi realizado com 33 matrizes, doadas por 10 apicultores do Brasil distribuídos entre os Estados do Paraná, São Paulo, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e, um do Paraguai. As rainhas matrizes, fornecedoras de larvas, foram introduzidas em colônias alocadas no Setor de Apicultura da Fazenda Experimental de Iguatemi da Universidade Estadual de Maringá (FEI/UEM).

A produção das rainhas ocorreu de 2005 a 2007 e se concentrou, principalmente, nos meses que antecedem o período de produção de mel de cada região. O método utilizado para a produção das rainhas foi o descrito por Doolittle (1889), que consiste na transferência de larvas de operárias do favo de cria para cúpulas artificiais acrílicas contendo geleia real. Foram utilizadas 15 colônias minirecias, iniciadoras e terminadoras, cada uma com dois núcleos sobrepostos e separados por uma tela excludora de rainha. No núcleo superior de cada uma delas foi colocado um sarrafo contendo 28 cúpulas, com 28 larvas de diferentes genealogias devidamente identificadas e distribuídas aleatoriamente.

Visto que larvas mais jovens originam rainhas maiores (Tarpy et al., 2000), as larvas utilizadas tinham idade de no máximo 24 horas.

No décimo dia após a transferência de larvas, as realeiras foram retiradas das minirecias, alocadas verticalmente em frascos de vidro de 20 mL com papel e alimento tipo cãndi, identificando-se a genealogia e o número da minirecia. Em seguida, foram colocadas em estufa própria para criação de rainhas com temperatura média de 34°C e umidade de 60%.

As rainhas recém-emergidas foram anestesiadas com CO₂ para a determinação das medidas do peso vivo (mg) em balança de precisão de 0,001g em até oito horas após a emergência. Rainhas com peso acima de 180 mg foram identificadas com uma plaqueta numerada colada na parte superior do tórax, alojadas em gaiolas tipo JZsBZs™ e mantidas em minirecias banco de rainhas por no máximo três dias, período que antecedeu o encaminhamento destas aos apicultores.

De 2005 a 2007 foram enviadas 420 rainhas para 15 apicultores, os quais receberam orientações e assistência técnica necessárias para o sucesso da troca das rainhas e correta coleta de mel.

A produção de mel por colônia foi medida após 45 dias decorridos da introdução da nova rainha, visto que o ciclo de desenvolvimento de uma operária africanizada é de 20 dias (Nogueira-Couto & Couto, 2006) e sua longevidade média, segundo Terada et al. (1975) para colônias variando entre 37000 e 42000 indivíduos é de 26,3 dias. Portanto, em aproximadamente 45 dias todas as operárias presentes na colônia são filhas da nova rainha. Em função disso, a produção de mel por colônia foi medida após este período.

Foram assumidas duas ordens de produção, ou seja, dois períodos de produção por ano para cada apicultor. O período entre ordens de produção de mel caracterizou dois grupos de operárias diferentes por rainha, considerados como animais diferentes. O parentesco entre grupos é de meio-irmãs, pois a mesma rainha permaneceu durante o ano de produção e os pais eram desconhecidos.

Os dados analisados se referem à produção de mel de 349 colônias e peso à emergência de 159 rainhas, sendo computado na matriz de parentesco 562 indivíduos entre rainhas e colônias.

A estimação dos componentes de (co)variância para as características produção de mel e peso da rainha à emergência foram analisadas por meio do programa MTGSAM (*Multiple Trait Gibbs Sampling in Animal Models*), desenvolvido por Van Tassel & Van Vleck (1995), que procede à estimação Bayesiana por meio do método de amostragem de Gibbs.

Foram realizadas análises unicarater para produção de mel e bicarater para produção de mel e peso da rainha sob dois modelos que omitiu ou considerou o efeito genético materno sobre a produção de mel. Os modelos consideraram os efeitos fixos de grupo contemporâneo, formado por apicultor e ano de produção, e ordem de produção para a produção de mel. Quando a análise foi bicarater, para peso da rainha à emergência foi considerado o efeito fixo de idade da larva.

Definiu-se o primeiro modelo animal, omitindo o efeito genético materno, como:

$$y = X\beta + Za + Wp + e$$

em que,

y é o vetor de observações;

X é a matriz de incidência dos efeitos fixos, contida no vetor β ;

B é vetor de efeitos fixos;

Z é a matriz de incidência dos efeitos genéticos aditivos;

W é a matriz de incidência dos efeitos permanentes de ambiente;

a é o vetor de efeitos genéticos aditivos;

p é o vetor dos efeitos permanente de ambiente sobre a produção de mel;

e é o vetor dos erros aleatórios associados a cada observação.

Admitiu-se que y , a , p e e apresentam distribuição conjunta normal multivariada, como segue abaixo:

$$\begin{bmatrix} y \\ a \\ p \\ e \end{bmatrix} \sim NMV \left\{ \begin{bmatrix} X\beta \\ \phi \\ \phi \\ \phi \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} ZGZ' + WPW' + R & ZG & WP & R \\ & GZ' & G & \phi & \phi \\ & PW' & \phi & P & \phi \\ & R & \phi & \phi & R \end{bmatrix} \right\}$$

Na análise unicarater, $G = A\sigma_a^2$, sendo A a matriz de parentesco, σ_a^2 a variância genética aditiva; $P = I\sigma_p^2$, sendo I a matriz identidade de ordem igual ao número de rainhas e σ_p^2 a variância de efeito permanente de ambiente; $R = I\sigma_e^2$, sendo I a matriz identidade de ordem igual ao número de observações e σ_e^2 a variância residual.

Na análise bicarater, a matriz G é dada por $G_0 \otimes A$, sendo A a matriz de parentesco e G_0 a matriz de (co)variância genética aditiva, como segue:

$$G_0 = \begin{bmatrix} \sigma_{a1}^2 & \sigma_{a1a2} \\ \sigma_{a2a1} & \sigma_{a2}^2 \end{bmatrix}$$

A matriz P é dada por $P_0 \otimes I$, sendo I a matriz identidade de ordem igual ao número de rainhas e P_0 a matriz de variâncias de efeito permanente de ambiente, como segue:

$$P_0 = \begin{bmatrix} \sigma_{p1}^2 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

A matriz R é dada por $R_0 \otimes I$, sendo I a matriz identidade de ordem igual ao número de observações e R_0 a matriz de variâncias residuais, como segue:

$$R_0 = \begin{bmatrix} \sigma_{e1}^2 & 0 \\ 0 & \sigma_{e2}^2 \end{bmatrix}$$

O segundo modelo, admitindo o efeito genético materno foi definido como:

$$Y = X\beta + Zu + e$$

$$\text{sendo } Z = [Z_1 \quad Z_2 \quad Z_3]; u = \begin{bmatrix} g \\ p \end{bmatrix} \text{ e } g = \begin{bmatrix} a \\ m \end{bmatrix}$$

em que,

Y = vetor de observações;

X e Z_1 , Z_2 e Z_3 = matrizes de incidência dos efeitos fixos, efeitos genéticos diretos, maternos e permanentes de ambiente, respectivamente;

β , a , m , p e e = vetores dos efeitos fixos, genéticos diretos, maternos, permanentes de ambiente e resíduos.

A distribuição conjunta dos vetores y , g , m , i e e pode ser descrita como segue:

em que,

$$\begin{bmatrix} y \\ u \\ e \end{bmatrix} \sim NMV \left\{ \begin{bmatrix} X\beta \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; \begin{bmatrix} V & Z\Sigma & R \otimes I_n \\ \Sigma Z' & \Sigma & 0 \\ R \otimes I_n & 0 & R \otimes I_n \end{bmatrix} \right\}$$

$$V = Z\Sigma Z' + R \otimes I_n; \quad \Sigma = \begin{bmatrix} G \otimes A & 0 \\ 0 & P \otimes I_m \end{bmatrix}$$

$$G = \begin{bmatrix} \sigma^2_{a1} & \sigma_{a1a2} & \sigma_{a1m1} \\ & \sigma^2_{a2} & \sigma_{a2m1} \\ \text{Simétrica} & & \sigma^2_{m1} \end{bmatrix}$$

$$P = \begin{bmatrix} \sigma^2_{p1} & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad R = \begin{bmatrix} \sigma^2_{r1} & 0 \\ 0 & \sigma^2_{r2} \end{bmatrix}$$

em que,

V é a matriz de variâncias e covariâncias fenotípicas entre as características;

G é a matriz de variâncias e covariâncias genética direta e materna entre as características;

A é a matriz que relaciona os indivíduos geneticamente;

P é a matriz de variâncias dos efeitos permanentes de ambiente;

I_m é a matriz identidade de ordem igual ao número de rainhas;

R é matriz de variâncias residuais para as características;

I_n é a matriz identidade de ordem n igual ao número de observações.

Foram assumidas pressuposições de que os efeitos fixos têm distribuição uniforme e os componentes de (co)variância distribuição de Wishart ou Gama invertidas. Para os efeitos aleatórios foi assumida distribuição normal.

Nas análises em que o efeito genético materno não foi incluído foram geradas cadeias de Gibbs de 5.000.000 de iterações para a análise unicarater do peso da rainha; 60.550.000 iterações para a análise unicarater de produção de mel e na análise bicarater. Quando o efeito materno foi incluído foram geradas cadeias de Gibbs de 180.000.000 de iterações para produção de mel em análise unicarater e, 200.000.000 de iterações para a

análise bicarater. O descarte inicial foi de 50.000 e o intervalo de amostragem de 1.000 iterações para todas as análises.

Foi construído o intervalo de credibilidade e região de alta densidade para todos os componentes de (co)variância e parâmetros genéticos estimados, ao nível de 90% de credibilidade.

A monitoração da convergência das cadeias foi feita por meio dos testes de diagnóstico de Heidelberger e Welch, disponíveis na biblioteca CODA (*Convergence Diagnosis and Output Analysis*), implementada no programa R (2007).

Resultados e Discussão

A média e desvio padrão do peso da rainha à emergência foram de $197,4 \pm 15,04$ mg. Este valor foi próximo ao encontrado por Gonçalves & Kerr (1970) de 199,32 mg e superior aos obtidos por Costa (2005) de 178,18 mg, e Faquinello (2007) de 188,82 mg, que trabalharam com rainhas africanizadas.

Para a produção de mel, a média e o desvio-padrão foram de $13,92 \pm 6,23$ kg por coleta. O ano de produção foi composto de duas ordens, portanto, a estimativa da produção anual foi de 27,84 kg/colônia. O SEBRAE Agronegócios (2006) informou que a produtividade média de mel no Brasil não ultrapassa 15,0 kg/colônia/ano.

Para o primeiro modelo, houve indicação de convergência para as cadeias em análise unicarater. Em análise bicarater, as variâncias residuais não convergiram (nc).

Na Tabela 1, são apresentadas as estimativas de variância genética direta, permanente de ambiente, residual, fenotípica e herdabilidade para peso da rainha à emergência e para produção de mel. As distribuições posteriores foram simétricas, visto que apresentaram intervalos de credibilidade muito semelhantes às regiões de alta densidade (RAD).

O efeito permanente de ambiente atribuído à rainha, mãe da colônia avaliada, foi responsável por 60,33% da variância fenotípica total. Este é um indicativo da importante participação da rainha em promover ambiente adequado para a produção de mel, por meio da postura e produção de foromônios. Desta forma, foi estimada numericamente a importância do efeito ambiental da rainha para a produção de mel, como afirmado por Chevalet & Cournet (1982), Bienefeld & Pirchner (1990) e Bienefeld et al. (2007).

Szabo (1973) afirmou que embora o peso vivo mude após a emersão, esta é uma característica desejável visando a seleção de rainhas. Além do que, o peso está correlacionado com a área de cria e uma rainha com bom peso vivo é capaz de botar mais ovos que uma rainha leve e pequena (Boch & Jamieson, 1960).

Tabela 1 - Estimativas de variância genética aditiva (σ_a^2), permanente de ambiente (σ_p^2), residual (σ_e^2), fenotípica (σ_y^2) e herdabilidade (h^2) com seus respectivos intervalos de credibilidade e regiões de alta densidade, ao nível de 90%, em análise unicarater para peso da rainha à emergência e produção de mel em *Apis mellifera* africanizada

Estimativas	Características	
	Peso da rainha	Produção de mel
σ_a^2	79,60 (14,41 – 194,40)* (6,99 – 161,10)**	5,67 (0,01 – 14,91) (0,01 – 14,13)
σ_p^2	-	17,23 (11,64 – 22,97) (11,44 – 22,75)
σ_e^2	132,00 (42,69 – 201,62) (51,94 – 208,06)	5,66 (0,05 – 11,28) (0,01 – 10,76)
σ_y^2	211,61 (173,05 – 258,01) (169,47 – 252,57)	28,56 (24,45 – 33,35) (24,27 – 33,09)
h^2	0,37 (0,07 – 0,82) (0,04 – 0,72)	0,20 (0,01 – 0,54) (0,01 – 0,51)

* Intervalos de credibilidade ao nível de 90%

** Região de alta densidade ao nível de 90%

Segundo Szabo (1982), a produção de mel é dependente da população da colônia e de quanto de mel cada operária produz. Woyke (1984) colocou que a população depende da taxa de oviposição, viabilidade da cria e longevidade da operária.

O peso da rainha à emergência apresentou herdabilidade de 0,37, próxima a encontrada por Costa (2005) de 0,35 e inferior a estimada por Faquinello (2007) de 0,95. Para produção de mel, a estimativa de herdabilidade (0,20) foi próxima dos valores relatados por Soller & Bar-Cohen (1967) e Bar-Cohen et al. (1978), que variaram entre 0,23 e 0,58.

Costa (2005) sugeriu que o peso da rainha à emergência fosse correlacionado com características de produção, contudo Faquinello (2007) encontrou correlação genética baixa (0,16) entre produção de geleia real e peso da rainha virgem à emergência.

Na Tabela 2, são apresentadas as estimativas de variância e (co)variância genética aditiva, permanente de ambiente, residual, fenotípica, herdabilidade e correlação genética obtidas em análise bicarater para produção de mel e peso da rainha à emergência.

A análise bicarater produziu estimativas mais precisas por considerar maior número de informações do que a análise unicarater. A estimativa de variância genética direta para mel em análise bicarater (13,89) foi maior do que em análise unicarater (5,67); as de

variância permanente de ambiente (14,73) e residual (0,03) menor; e a estimativa de variância fenotípica ficou muito próxima a da análise unicarater (28,56).

Para peso da rainha, as estimativas de variância genética aditiva (258,79), residual (0,10) e fenotípica (258,89), foram menores do que as encontradas por Costa (2005) de 2262,27 para variância genética aditiva, e 3680,38 para a residual. Faquinello (2007) em análise bicarater, para peso e produção de geleia real por minirecria encontrou variância genética aditiva para peso de 739,35, fenotípica de 1193,17 e residual de 453,82.

A estimativa de herdabilidade para produção de mel foi maior (0,49) do que em análise unicarater (0,20). Para peso da rainha foi de 0,99, valor muito superior ao encontrado em análise unicarater (0,37) e por Costa (2005) de 0,35. No entanto, foi próximo ao encontrado por Faquinello (2007) em análise unicarater de 0,95; em análise bicarater para peso e produção de geleia real, esta autora encontrou herdabilidade de 0,65 para peso da rainha à emergência. A variação do peso da rainha à emergência, considerando a produção de mel, parece ser determinada exclusivamente por mérito genético, no entanto, isto deve ser tomado com cautela.

A correlação genética entre peso da rainha e produção de mel também apresentou estimativa alta (0,99), indicando que o peso da rainha influencia fortemente a produção de mel. Chevalet & Cournet (1982), Bienefeld & Pirchner (1990) e Bienefeld et al. (2007) afirmaram que muitas das características economicamente importantes são afetadas pela atividade combinada de operárias e rainha. Assim, a identificação do efeito genético materno de rainha pode resultar em estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos mais acuradas.

Tabela 2 - Estimativas de variância genética aditiva (σ_a^2), permanente de ambiente (σ_p^2), residual (σ_e^2), fenotípica (σ_y^2), covariância genética aditiva (σ_{a1a2}), herdabilidade (h^2) e correlação genética (rg_{a1a2}) com seus respectivos intervalos de credibilidade e regiões de alta densidade, ao nível de 90%, em análise bicarater, para produção de mel e peso à emergência de rainhas africanizadas

Características	Estimativas						
	σ_a^2	σ_{a1a2}	σ_p^2	σ_e^2	σ_y^2	h^2	rg_{a1a2}
Produção de mel	13,83		14,73	0,06 nc ¹	28,62	0,49	
	(11,42 – 16,57)*		(10,93 – 19,05)	(0,01 – 0,17)	(24,86 – 32,91)	(0,39 - 0,58)	
	(11,20 – 16,33)**	59,14	(10,66 – 18,70)	(0,01 – 0,08)	(24,48 – 32,42)	(0,39 – 0,58)	0,99
Peso da Rainha	255,57	(51,48 – 67,93)		2,27 nc ¹	257,92	0,99	(0,99 – 0,99)
	(210,55 – 309,74)	(51,59 – 68,02)	-	(0,01 – 3,20)	(212,48 – 309,82)	(0,99 - 0,99)	(0,99 – 0,99)
	(209,25 – 308,05)			(0,01 – 2,95)	(209,49 – 305,82)	(0,99 – 0,99)	

¹ nc (não convergência)

* Intervalo de credibilidade ao nível de 90%

** Região de alta densidade ao nível de 90%

As Tabelas 3, 4 e 5 apresentam as estimativas obtidas na análise da produção de mel que considera o efeito genético materno da rainha. Não houve indicação de convergência (nc) para todas as cadeias por meio dos testes de diagnósticos em análise unicarater e bicarater.

A estimativa de covariância genética entre os efeitos direto e maternos foi de 1,36 com intervalos de credibilidade variando entre -10,80 a 9,55 e RAD de -0,81 a 10,91. Esta estimativa, a de variância genética materna (2,72) e a herdabilidade materna (0,09) não chegaram à convergência.

Contudo, conforme Simonelli (2004), se a amostragem de Gibbs produziu cadeias muito longas, as médias posteriores não sofrem mais alterações drásticas, apesar das distribuições posteriores se alterarem. Isto implica em que as médias posteriores podem ser usadas como estimativas adequadas.

A adição do efeito materno para a produção de mel resultou em leve aumento das variâncias genética aditiva (6,64) e fenotípica (29,23), diminuição das variâncias permanente de ambiente (13,56) e residual (4,95). De certa forma, recuperou variância genética aditiva e isso pode ser observado por meio da estimativa de herdabilidade (0,23).

As estimativas de herdabilidade direta (0,23) e materna (0,09) indicaram uma maior influência das operárias sobre a produção de mel, concordando com Bienefeld & Pirchner (1990) que trabalharam com 5342 informações de produção de mel com rainhas sob acasalamento controlado e encontraram estimativas de 0,26 para operárias e 0,15 para o efeito genético de rainhas.

A estimativa da correlação genética entre os efeitos direto e materno foi positiva (0,32), porém pouco precisa (-0,99 a 0,99). No entanto, este intervalo de credibilidade indica que durante a amostragem as estimativas de (co)variância entre o efeito direto e materno (1,36) também assumiram valores negativos (-10,80 a 9,55). Bienefeld & Pirchner (1990) encontraram correlações negativas entre esses efeitos de -0,88, -0,96, -0,91, -0,96 e -0,92, para produção de mel, cera, defensividade, mansidão e desenvolvimento na primavera, respectivamente. Segundo Robinson (1981) é comum o fato das correlações genéticas serem negativas entre efeito direto e materno.

Tabela 3 – Estimativas de variância genética direta (σ_a^2), materna (σ_m^2), permanente de ambiente (σ_p^2), residual (σ_e^2), fenotípica (σ_y^2), herdabilidade direta (h_a^2), herdabilidade materna (h_m^2) e correlação genética entre os efeitos direto e materno (rg_{am}) com seus respectivos intervalos de credibilidade e região de alta densidade, ao nível de 90%, em análise unicarater para produção de mel em abelhas africanizadas

Característica	Estimativas							
	σ_a^2	σ_m^2	σ_p^2	σ_e^2	σ_y^2	h_a^2	h_m^2	rg_{am}
Produção de mel	6,64	2,72 nc ¹	13,56	4,95	29,23	0,23	0,09 nc	0,32
	(0,01 – 15,07)*	(0,01 – 12,60)	(0,49 – 22,51)	(0,05 – 11,16)	(24,82 – 34,50)	(0,01 - 0,52)	(0,01 - 0,41)	(-0,99 - 0,99)
	(0,01 – 14,29)**	(0,01 – 7,29)	(0,05 – 21,14)	(0,13 – 10,61)	(24,49 – 34,04)	(0,01 – 0,49)	(0,01 – 0,23)	(-0,91 – 0,99)

¹ nc (não convergência)

* Intervalo de credibilidade ao nível de 90%

** Região de alta densidade ao nível de 90%

A Tabela 4 apresenta as estimativas de (co)variância genética aditiva direta e materna, permanente de ambiente, residual e fenotípica para produção de mel e peso da rainha à emergência em análise bicarater, com a inclusão do efeito materno para a produção de mel.

De maneira geral, as estimativas apresentaram distribuição posterior simétrica. Quando a produção de mel e peso foram associadas, incluindo o efeito materno para a produção de mel, as estimativas para produção de mel que não convergiram em análise unicarater, também não convergiram na bicarater.

Tabela 4 – Estimativas de componentes de (co)variância genética direta, materna, permanente de ambiente, residual e fenotípica com seus respectivos intervalos de credibilidade e regiões de alta densidade, ao nível de 90%, em análise bicarater, para produção de mel e peso da rainha à emergência em abelhas africanizadas

Componentes*	Estimativas	Intervalo de Credibilidade	Região de Alta Densidade
σ_{a1}^2	13,48	11,13 - 16,24	10,98 – 16,04
σ_{a1a2}	54,33 nc ¹	21,68 - 67,96	24,87 – 70,18
σ_{a1m1}	4,54 nc	0,43 – 11,29	0,22 – 11,06
σ_{a2}^2	235,57 nc	33,64 – 325,71	31,62 – 323,58
σ_{a2m1}	16,15	1,86 – 30,87	1,77 – 30,76
σ_{m1}^2	2,28 nc	0,05 – 9,24	0,01 – 7,23
σ_{p1}^2	11,86	0,01 – 18,03	0,01 – 16,94
σ_{e1}^2	0,04 nc	0,03 - 0,10	0,01 – 0,05
σ_{e2}^2	26,98 nc	0,03 – 172,76	0,01 – 153,63
σ_{y1}^2	32,20	26,93 – 38,44	26,34 – 37,69
σ_{y2}^2	262,54 nc	195,50 – 325,76	195,82 – 326,02

¹ nc (não convergência)

*Para todos os componentes, *a*, *m*, *p*, *e* e *y* representam os efeitos genéticos diretos, maternos, permanente de ambiente, residual e fenotípico, respectivamente; os índices 1 e 2, a produção de mel e o peso da rainha; variâncias são caracterizadas por *a*, *m*, *p*, *e* ou *y*, com o mesmo índice, o restante caracteriza as covariâncias

A adição do efeito materno para a análise bicarater resultou em menores estimativas de (co)variância genética aditiva e permanente de ambiente quando comparadas às encontradas em análise bicarater sem o efeito materno.

Isto indica que estas estimativas foram superestimadas quando o efeito materno não foi considerado para a produção de mel na presença do peso da rainha à emergência. No entanto, as estimativas de variância residual e fenotípica foram maiores do que as encontradas em análise bicarater quando o efeito materno foi omitido do modelo.

Na Tabela 5, são apresentadas as estimativas de herdabilidade direta e materna, correlação genética entre o efeito direto e materno, correlação entre produção de mel e peso da rainha em análise bicarater, considerando o efeito materno para a produção de mel.

Tabela 5 – Estimativas de herdabilidade direta (h^2_a), materna (h^2_m), correlação genética entre o efeito genético direto e materno (rg_{am}) e correlação genética entre produção de mel e peso da rainha à emergência (rg_{a1a2}) com seus respectivos intervalos de credibilidade e regiões de alta densidade, ao nível de 90%, em análise bicarater, para produção de mel e peso da rainha à emergência em abelhas africanizadas

Componentes*	Estimativas	Intervalo de credibilidade	Região de alta densidade
h^2_{a1}	0,42	0,32 – 0,53	0,32 – 0,52
h^2_{a2}	0,87 nc ¹	0,17 – 1,00	0,25 – 0,99
h^2_{m1}	0,07 nc	0,01 – 0,27	0,01 – 0,22
rg_{a1m1}	0,93	0,78 - 0,99	0,96 – 0,99
rg_{a2m1}	0,68	0,67 – 0,99	0,67 – 0,99
rg_{a1a2}	0,99	0,99 – 0,99	0,99 – 0,99

¹ nc (não convergência)

*Para todos os componentes, *a* e *m* representam os efeitos genéticos diretos e maternos, respectivamente; os índices 1 e 2, a produção de mel e o peso da rainha

As estimativas de herdabilidade direta para a produção de mel, em análise unicarater assumiram valores de 0,20, e quando o efeito materno foi considerado, de 0,23. Quando o peso da rainha foi considerado, as estimativas de herdabilidade para a produção de mel assumiram valores de 0,49 na ausência do efeito materno, e de 0,42 na presença do efeito genético materno.

Para o peso da rainha, a estimativa de herdabilidade em análise unicarater foi de 0,37. Em análise bicarater, foi de 0,99 e, considerando o efeito materno, de 0,87 (nc). Ao considerar a produção de mel com o peso da rainha, o efeito genético materno foi todo direcionado para o peso da rainha.

Quando o efeito genético materno, representado pela própria rainha foi incluído, a estimativa de herdabilidade para a produção de mel diminuiu. Isto indica que o efeito genético materno de rainha possa advir da maior capacidade de oviposição da rainha em função da maior quantidade de ovários e volume de espermateca, traduzida pelo peso à emergência da rainha.

Esta indicação explica a afirmação de Bienefeld et al. (2007) que a participação ambiental da rainha para a colônia, por meio do número de indivíduos produzidos, é determinada geneticamente.

Alguns autores não encontraram correlação significativa entre o peso da rainha à emergência e número de ovariolos (Corbella, 1981; Corbella & Gonçalves, 1982; Morini & Bueno, 1993; Hatch et al., 1999). No entanto, vários autores afirmaram que o peso da rainha à emergência está correlacionado com o potencial reprodutivo da rainha (Hoopingarner & Farrar, 1959; Boch & Jamielson, 1960; Tarpay et al., 2000; Gilley et al., 2003; Kahya et al., 2008) e que o peso das rainhas estaria relacionado com o número de ovariolos presentes nos ovários e com o tamanho da espermateca.

Em análise bicarater, a correlação genética entre os efeitos direto e materno para produção de mel assumiu valor positivo (0,93) como em análise unicarater (0,32). E, o peso da rainha à emergência com o efeito materno apresentou correlação de 0,68.

A estimativa de herdabilidade materna baixa para produção de mel em análise unicarater (0,09 nc) e bicarater (0,07 nc), mais as correlações genéticas entre a produção de mel e peso de 0,99 com e sem efeito materno reforçam a indicação de que o peso da rainha à emergência é um indicador do efeito genético materno da rainha para a produção de mel.

A adição do efeito materno foi marcada por estimativas que não apresentaram convergência. Willham (1963) desenvolveu o modelo que separou as estimativas de herdabilidade para o efeito direto, materno e a correlação genética entre eles. Para isso, esse modelo foi baseado nas medidas da progênie de diferentes parentescos (irmãos completos, meio-irmãos por parte de pai e mãe, primos, etc) que possuíam diferentes laços genéticos entre mães e progênie. Ou seja, todos os parentescos conhecidos envolvendo pai, mãe e progênie foram considerados.

Neste trabalho, somente a genealogia das mães foi controlada e relações de parentesco distantes entre mães foram consideradas. O acasalamento natural de uma rainha envolve de 5 a 10 zangões (Woyke, 1955) podendo chegar até 17,3 zangões (Adams et al., 1977), portanto, o parentesco entre operárias pode ser de 0,25 e 0,75 dentro de uma colônia (Laidlaw & Page, 1984). Daí a dificuldade em separar o efeito genético materno do direto e, também de identificar a porção genética da rainha dentro da contribuição ambiental que ela proporciona.

Para o primeiro momento de um programa de melhoramento genético por meio de seleção massal, o peso da rainha ao emergir pode ser utilizado como critério de seleção. No entanto, em um programa de seleção eficiente visando melhorar a produção de mel, a técnica de inseminação instrumental deve ser utilizada para possibilitar o

conhecimento mais preciso das relações de parentesco dentro e entre colônias, de forma a permitir a identificação mais precisa do efeito genético materno de rainha.

Conclusão

O efeito genético materno para a produção de mel parece advir do peso da rainha à emergência, que pode ser utilizado como critério de seleção.

Literatura Citada

- ADAMS, J.E.; ROTHMAN, E.D.; KERR, W.E. et al. Estimation of the number of the sex alleles and queen matings diploid male frequencies in a population of *Apis mellifera*. **Genetics**, v.86, p.583-596, 1977.
- BAR-COHEN, R.; ALPEM, G.; BAR-ANAN, R. Progeny testing and selecting Italian queens for brood area and honey production. **Apidologie**, v.9, p.95-100, 1978.
- BIENEFELD, K.; EHRHARDT, K.; REINHARDT, F. Genetic evaluation in the honey bee considering queen and worker effects – A BLUP - Animal Model Approach. **Apidologie**, v.38, p.77-85, 2007.
- BIENEFELD, K.; PIRCHNER, F. Heritabilities for several colony traits in the honeybee (*Apis mellifera carnica*). **Apidologie**, v.21, p.175-183, 1990.
- BOCH, R.; JAMIESON, C.A. Relation of body weight to fecundity in queen honeybees. **The Canadian Entomologist**, v. 92, p. 700-701, 1960.
- CASELLA, G.; GEORGE, E. Explaining the Gibbs Sampler. **The American Statistical**, v.46, p.167-174, 1992.
- CHEVALET, C.; CORNUET, J.M. Étude théorique sur la selection du caractère production de miel" chez l'abeille. I. Modèle génétique et statistique. **Apidologie**, v. 13, p.39-65, 1982.
- CORBELLA, E. **Seleção para aumento de peso de rainhas de *Apis mellifera* e influência de variáveis climáticas na criação artificial de rainhas**. 1981. 110f. Dissertação (Mestrado em Ciências – Entomologia) – FFCLRP, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto.
- CORBELLA, E.; GONÇALVES, L.S. Relationship between weight at emergence, number of ovarioles and spermathecal volume of Africanized honey bee queens (*Apis mellifera* L.). **Revista Brasileira de Genética**, v.4, p.835-840, 1982.
- COSTA, F.M. **Estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos para peso e medidas morfométricas em rainhas *Apis mellifera* africanizadas**. 2005. 39 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – UEM, Universidade Estadual de Maringá, Maringá.
- DOOLITTLE, G.M. **Scientific Queen-Rearing as practically applied**. Chicago: Ills, 1889. 163p.
- ESTOUP, A.; SOLIGNAC, M.; CORNUET, J. Precise assessment of the number of patrilines and of genetic relatedness in honeybee colonies. In: ROYAL SOCIETY OF LONDON, 2., 1994, London. **Proceedings...** London: Royal Society of London, 1994. p.1-7.
- FAQUINELLO, P. **Avaliação genética em abelhas *Apis mellifera* africanizadas para produção de geléia real**. 2007. 54 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – UEM, Universidade Estadual de Maringá, Maringá.
- GILLEY, D.C.; TARPY, D.R.; LAND, B.B. Effect of queen quality on interactions between workers and dueling queens in honeybee (*Apis mellifera* L.) colonies. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v.55, p.190-196, 2003.

- GONÇALVES, L.S.; KERR, W.E. Genética, Seleção e Melhoramento. 1. Noções sobre genética e melhoramento em abelhas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE APICULTURA, 1, 1970, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: CBA, 1970. p.8-36.
- HATCH, S.; TARPY, D.R.; FLETCHER, D.J.C. Worker regulation of emergency queen rearing in honey bee colonies and the resultant variation in queen quality. **Insectes Sociaux**, v.46, p.372-377, 1999.
- HOOPINGARNER, R.; FARRAR, C.L. Genetic control of size in queen honey bees. **Journal of Economic Entomology**, v. 52, n.4, p.547-548, 1959.
- KAHYA, Y.; GENÇER, H.V.; WOYKE, J. Weight at emergence of honey bee (*Apis mellifera caucasica*) queens and its effect on live weights at the pre and post mating periods. **Journal of Apicultural Research**, v.47, n.2, p.118-125, 2008.
- LAIDLAW, H.H.; PAGE, R.E. Polyandry in honey bees (*Apis mellifera* L.): Sperm utilization and intracolony genetic relationship. **Genetics**, v.108, p.985-997, 1984.
- MORINI, M.S.C.; BUENO, O.C. Morphology and weight of Africanized queen bees produced in different diameters of artificial cups. **Journal of Advanced Zoology**, v.14, n.2, p.67-69, 1993.
- MORITZ, R.F.A.; LATTORFF, H.M.G.; NEUMANN, P. et al. Rare royal families in honey bees, *Apis mellifera* L. **Naturwissenschaften**, v.92, n.10, p.448-491, 2005.
- NELSON, D.L.; GARY, N.E. Honey productivity of honeybees colonies in relation to body weight, attractiveness and fecundity of the queen. **Journal of Apicultural Research**, v.22, n.4, p.209-213, 1983.
- NOGUEIRA-COUTO, R.H.; COUTO, L.A. **Apicultura: Manejo e Produtos**. 3.ed. Jaboticabal: FUNEP, 2006. 193p.
- R Development Core Team (2007). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.
- ROBINSON, O.W. The influence of maternal effects on the efficiency of selection: A review. **Livestock Production Science**, v.8, p.121-137, 1981.
- SEBRAE AGRONEGÓCIOS. **Desafios da apicultura brasileira**. Brasília, DF, 2006. 61.
- SIMONELLI, S.M. **Heterogeneidade de variâncias e interação genótipo x ambiente no desempenho de animais Nelore em diferentes regiões do estado do Mato Grosso do Sul**. 2004. 117 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – UEM, Universidade Estadual de Maringá, Maringá.
- SOLLER, M.; BAR-COHEN, R. Some observations on the heritability and genetic correlation between honey production and brood area in the honeybee. **Journal of Apicultural Research**, v.6, p.37-43, 1967.
- SZABO, T.I. Relationship between weight of honey bee queens (*Apis mellifera* L.) at emergence and at the cessation of egg laying. **American Bee Journal**, v. 113, n. 7, p. 250-251, 1973.
- SZABO, T.I. Phenotypic correlations between colony traits in the honey bee. **American bee Journal**, v.122, p.711-716, 1982.
- SZABO, T.I.; LEFKOVITCH, L.P. Fourth generation of closed population honeybee breeding. **Apidologie**, v. 19, n. 3, p. 259-274, 1988.
- TARPY, D.R.; HATCH, S.; FLETCHER, J.C. The influence of queen age and quality during queen replacement in honeybee colonies. **Animal Behaviour**, v.59, p.97-101, 2000.
- TERADA, Y.; GARÓFALO, C.A.; SAKAGAMI, S.F. Age-survival curves for workers of two eusocial bees (*Apis mellifera* and *Plebeia droryana*) in a subtropical climate,

- with notes on worker polyethism in *Plebeia droryana*. **Journal of Apicultural Research**, v.14, n.3/4, p.161-170, 1975.
- VAN TASSEL, C.P.; VAN VLECK, L.D. **A manual for use of MTGSAM. A set of fortran programs to apply gibbs sampling to animal models for variance component estimation.** (DRAFT) Lincon: Departament of Agriculture/ Agricultural Research Service, 1995.
- WILLHAM, R.L. The covariance between relatives for characters composed of components contributed by related individuals, **Biometrics**, v.35, p.18–27, 1963.
- WOYKE, J. Correlations and interactions between population, length of worker life and honey production by honeybees in a temperate region. **Journal of Apicultural Research**, v.23, p.148-156, 1984.
- WOYKE, J. Multiple mating of the honeybee queen (*Apis mellifera* L.) in one nuptial flight. **Bulletin de Academie Polonaise des Sciences**, v.3, p.175-180, 1955.

IV - Estimativas de Parâmetros Genéticos e Fenotípicos para Produção de Mel e Medidas Morfométricas de Rainhas *Apis mellifera* Africanizadas

RESUMO - O objetivo deste trabalho foi estimar parâmetros genéticos e fenotípicos para produção de mel e medidas morfométricas de asa, abdome e tórax de rainhas africanizadas recém-emergidas omitindo e considerando o efeito genético materno de rainha, e verificar um critério de seleção entre as características morfométricas. A origem materna das rainhas foi controlada, a paterna desconhecida, e nas coletas de mel foi considerado grupos de operárias diferentes, porém com a mesma mãe. Os dados analisados se referem à produção de mel de 349 colônias, medidas morfométricas de asa e abdome de 159 rainhas, mensurações de tórax em 62 rainhas, sendo computados na matriz de parentesco 562 indivíduos entre rainhas e colônias. Foram realizadas por meio da inferência Bayesiana análises unicarater para medidas morfométricas, tricarater para produção de mel com características de asa e abdome e tetracarater com medidas de tórax, sob dois modelos que omitiu ou considerou o efeito genético materno sobre a produção de mel. Para a produção de mel, as estimativas de variância permanente de ambiente representaram mais de 50% da variância fenotípica em todas as análises. As variâncias residuais foram baixas para produção de mel e características morfométricas em todas as análises. As estimativas de herdabilidade direta para produção de mel variaram entre 0,40 e 0,47 considerando e omitindo o efeito genético materno. Porém, quando as medidas de tórax foram submetidas ao modelo com efeito materno obteve-se a menor estimativa de herdabilidade para produção de mel (0,003). As estimativas de herdabilidade materna para a produção de mel com características morfométricas de asa (0,24) e tórax (0,20) foram muito superiores às com características de abdome (0,08). A maior correlação genética foi entre produção de mel e comprimento do abdome (0,68). Estes resultados indicam que as medidas externas do abdome podem refletir o potencial reprodutivo da rainha. O efeito materno deve ser considerado nos modelos de avaliação genética para a produção de mel em abelhas africanizadas e, o comprimento do abdome de rainhas pode ser utilizado como critério de seleção.

Palavras-chave: efeito materno, herdabilidade, inferência Bayesiana, medidas morfométricas de asa, abdome e tórax

IV - Estimates of Genetic and Phenotypic Parameters for Honey Production and Morphometric Measures of Africanized *Apis mellifera* queens

ABSTRACT – The objective of this work was to estimate the genetic and phenotypic parameters for honey production and wings, abdomen and thorax measures of recently emerged Africanized queens, both omitting and taking into consideration the queen's maternal effect, and to verify a selection criterion among the morphometric characteristics. The queen's maternal origins were controlled, the paternal was unknown, and different groups of workers were considered for honey collection, but keeping the same mother. The data analyzed refers to honey production of 349 colonies, 159 queen's wings and abdomen morphometric measures, 62 queens' thorax measures, being calculated in the relationship matrix 562 individuals among queens and colonies. Through Bayesian inference, it was carried out unicharacter analysis for morphometric measures, tricharacter for honey production with wings and abdomen characteristics, and tetracharacter with thorax measures under two models, either omitting or taking into consideration the maternal genetic effect on honey production. For honey production, the environmental permanence variation estimates represented more than 50% of phenotypic variance in all analyses. Residual variances were low for honey production and morphometric characteristics in all analyses. Direct heritability estimates for honey production varied from 0.40 and 0.47 both considering and omitting the maternal effect. However, when thorax measures were submitted to the maternal effect model, the lower estimates were reached for honey production heritability (0.003). Maternal heritability estimates for honey production with wings morphometric characteristics (0.24) and thorax (0.20) were higher than those for abdomen (0.08). The higher genetic correlation was between honey production and abdomen length (0.68). These results indicate that the abdomen external measures may reflect the queen's reproductive potential. The maternal effect must be considered among the genetic evaluation models for honey production in Africanized honeybees, and the queens' abdomen length may be used as selection criterion.

Key-words: maternal effect, heritability, Bayesian inference, wings, abdomen and thorax morphometric measures

Introdução

O estudo dos fatores envolvidos na produção de mel busca identificar critérios de seleção com menor influência ambiental e/ou que possam ser controladas por meio de técnicas de manejo eficiente, visando a melhoria genética.

O peso da rainha à emergência pode ser uma dessas características, pois segundo Szabo (1973) este é um indicador do valor genético da mesma para a produção de mel. Mais recentemente, Tarpy et al. (2000) afirmaram que há potencial de seleção para rainhas recém-emergidas pois, existe variação no potencial reprodutivo.

Vários estudos relacionaram o peso da rainha à emergência com o número de ovariolos, diâmetro e volume da espermateca (Hoopingarner & Farrar, 1959; Hatch et al., 1999; Gilley et al., 2000; Tarpy et al., 2000; Kahya et al., 2008), produção de mel (Szabo, 1973; Nelson & Gary, 1983; Szabo & Lefkovitch, 1988; Pereira et al., 2000) e produção de geleia real (Faquinello, 2007).

Para as medidas morfométricas de rainhas como asa e tórax, os estudos são comportamentais (Hatch et al., 1999; Gilley et al., 2000; Tarpy et al., 2000) e poucos tratam das estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos (Costa, 2005; Faquinello, 2007).

Costa (2005) encontrou em análise univariada estimativas de herdabilidade para peso, comprimento e largura de asa e abdome de rainhas, de 0,35; 0,51; 0,77; 0,59; 0,68, respectivamente. Em função disso, Faquinello (2007) verificou potencial de seleção para geleia real baseado na largura do abdome de rainhas recém-emergidas.

O estudo das dimensões de asa, para rainhas virgens, é de grande importância, pois o processo de fecundação natural em núcleos ou colônias convencionais ocorre em atividade de voo, dependendo deste o sucesso da fecundação (Moritz & Southwick, 1992). Da mesma forma, o tórax é importante, segundo Snodgrass (1984) por ser o centro locomotor dos insetos, pois concentra pernas e asas e contém os músculos que movem estes membros.

Segundo Winston (1987), o abdome da rainha é composto por sete segmentos visíveis e dois adicionais associados aos órgãos reprodutivos. Portanto, as medidas de abdome podem ser importantes, pois os órgãos reprodutivos e saco de veneno estão localizados nessa região.

A produção de mel, como outras características economicamente importantes em *Apis mellifera* L. é afetada pela atividade combinada de rainha e operárias (Bienefeld & Pirchner, 1990). Estes autores estimaram herdabilidade para rainhas e operárias na produção de mel (0,15/0,26) e cera (0,45/0,39), respectivamente.

Em abelhas africanizadas, as estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos para as características de interesse econômico são pouco estudadas. A avaliação destes parâmetros na população em estudo pode variar em consequência das diferenças genéticas da população, ambiente, tipo de análise e do método de estimação de componentes de (co)variância.

Considerando essas informações, o objetivo deste trabalho foi estimar os parâmetros genéticos e fenotípicos para a produção de mel e características morfométricas de asa, abdome e tórax de rainhas africanizadas com e sem o efeito genético materno e verificar entre as características morfométricas um critério de seleção.

Material e métodos

O experimento foi realizado com 33 matrizes, doadas por 10 apicultores do Brasil distribuídos entre os Estados do Paraná, São Paulo, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e um do Paraguai. As rainhas matrizes, fornecedoras de larvas, foram introduzidas em colônias alocadas no Setor de Apicultura da Fazenda Experimental de Iguatemi da Universidade Estadual de Maringá (FEI/UEM).

A produção das rainhas ocorreu de 2005 a 2007 e se concentrou, principalmente, nos meses que antecedem o período de produção de mel de cada região. O método utilizado para a produção das rainhas foi o descrito por Doolittle (1889), que consiste na transferência de larvas de operárias do favo de cria para cúpulas artificiais acrílicas contendo geleia real. Foram utilizadas 15 colônias minirecrias, iniciadoras e terminadoras, cada uma com dois núcleos sobrepostos e separados por uma tela excludora de rainha. No núcleo superior de cada uma delas foi colocado um sarrafo contendo 28 cúpulas, com 28 larvas de diferentes genealogias devidamente identificadas e distribuídas aleatoriamente.

Visto que larvas mais jovens originam rainhas maiores (Tarpy et al., 2000), as larvas utilizadas tinham idade de no máximo 24 horas.

No décimo dia após a transferência, as realeiras eram retiradas das minirecrias, alocadas verticalmente em frascos de vidro de 20 mL com papel e alimento tipo cãndi,

identificando-se a genealogia e o número da minirecria. Em seguida, foram colocadas em estufa própria para criação de rainhas com temperatura média de 34°C e umidade de 60%.

As rainhas em até oito horas após a emergência foram anestesiadas com CO₂ para mensuração do comprimento e largura da asa e abdome (mm) e comprimento, largura e altura do tórax (mm) por meio de paquímetro digital de precisão 0,01 mm – 0,0005”.

O comprimento e largura da asa foram mensurados na asa anterior direita; o comprimento do abdome foi medido em posição relaxada e, a largura ao terceiro segmento. Segundo Snodgrass (1984) a condensação dos segmentos do tórax se aproxima ao de uma esfera, portanto, por se tratar de uma “aproximação” o comprimento, largura e altura do tórax foram medidos. A Figura 1, adaptada de Dade (1994) ilustra as mensurações.

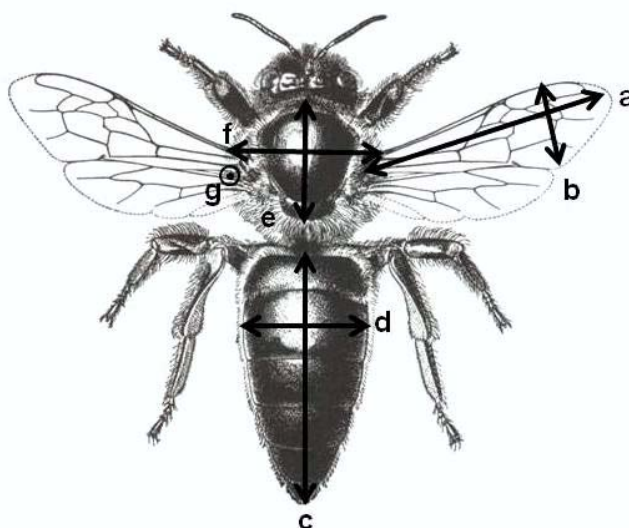


Figura 1 – Medidas morfométricas da asa anterior direita, abdome e tórax de rainha em figura segundo Dade (1994). a) comprimento da asa; b) largura da asa; c) comprimento do abdome; d) largura do abdome; e) comprimento do tórax; f) largura do tórax e g) altura do tórax.

Rainhas com peso acima de 180 mg foram identificadas com uma plaqueta numerada colada na parte superior do tórax, alojadas em gaiolas tipo JZsBZs™ e mantidas em minirecrias banco de rainhas por no máximo três dias, período que antecedeu o encaminhamento destas aos apicultores.

De 2005 a 2007 foram enviadas 420 rainhas para 15 apicultores, os quais receberam orientações e assistência técnica necessárias para o sucesso da troca das rainhas e correta coleta de mel.

A produção de mel por colônia foi medida após 45 dias decorridos da introdução da nova rainha, visto que o ciclo de desenvolvimento de uma operária africanizada é de 20 dias (Nogueira-Couto & Couto, 2006) e sua longevidade média, segundo Terada et al. (1975) para colônias variando entre 37000 e 42000 indivíduos é de 26,3 dias. Portanto, em aproximadamente 45 dias todas as operárias presentes na colônia são filhas da nova rainha. Em função disso, a produção de mel por colônia foi medida após este período.

Foram assumidas duas ordens de produção, ou seja, dois períodos de produção por ano para cada apicultor. O período entre ordens de produção de mel caracterizou dois grupos de operárias diferentes por rainha, considerados como animais diferentes. O parentesco entre grupos é de meio-irmãs, pois a mesma rainha permaneceu durante o ano de produção e os pais foram desconhecidos.

Os dados analisados se referem à produção de mel de 349 colônias, medidas morfométricas de asa e abdome de 159 rainhas, mensurações de tórax em 62 rainhas, sendo computados na matriz de parentesco 562 indivíduos entre rainhas e colônias.

A estimação dos componentes de (co)variância foi realizada por meio do programa MTGSAM (*Multiple Trait Gibbs Sampling in Animal Models*) desenvolvido por Van Tassel & Van Vleck (1995), que procede à estimação Bayesiana por meio do método de amostragem de Gibbs.

Foram realizadas análises unicarater para as características morfométricas, tricarater para produção de mel com características de asa e abdome e, tetracarater com medidas morfométricas de tórax, sob dois modelos, omitindo ou considerando o efeito materno sobre a produção de mel. Os modelos consideraram os efeitos fixos de grupo contemporâneo (formado por apicultor e ano de produção) e ordem de produção para produção de mel. Em se tratando das análises tricarater ou tetracarater, para as medidas morfométricas de asa, abdome e tórax de rainha foi considerado o efeito fixo de idade da larva.

Definiu-se o primeiro modelo animal, omitindo o efeito genético materno como:

$$y = X\beta + Za + Wp + e$$

em que,

y é o vetor de observações;

X é a matriz de incidência dos efeitos fixos, contida no vetor β ;

β é vetor de efeitos fixos;

Z é a matriz de incidência dos efeitos genéticos aditivos;

W é a matriz de incidência dos efeitos permanentes de ambiente;

a é o vetor de efeitos genéticos aditivos;

p é o vetor dos efeitos permanente de ambiente sobre a produção de mel;

e é o vetor dos erros aleatórios associados a cada observação.

Nas análises unicarater para as medidas morfométricas não foi considerado no modelo o efeito permanente de ambiente.

Admitiu-se que y , a , p e e apresentam distribuição conjunta normal multivariada, como segue abaixo:

$$\begin{bmatrix} y \\ a \\ p \\ e \end{bmatrix} \sim NMV \left\{ \begin{bmatrix} X\beta \\ \phi \\ \phi \\ \phi \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} ZGZ'+WPW'+R & ZG & WP & R \\ & GZ' & G & \phi & \phi \\ & PW' & \phi & P & \phi \\ & R & \phi & \phi & R \end{bmatrix} \right\}$$

Na análise unicaracter, $G = A\sigma_a^2$, sendo A a matriz de parentesco, σ_a^2 a variância genética aditiva; $R = I\sigma_e^2$, sendo I a matriz identidade de ordem igual ao número de observações e σ_e^2 a variância residual.

Na análise tricarater e tetracarater, a matriz G é dada por $G_0 \otimes A$, sendo A a matriz de parentesco e G_0 a matriz de (co)variância genética aditiva, como segue:

$$G_0 = \begin{bmatrix} \sigma_{a1}^2 & \sigma_{a1a2} & \sigma_{a1a3} & \cdots & \sigma_{a1an} \\ & \sigma_{a2}^2 & \sigma_{a2a3} & \cdots & \sigma_{a2an} \\ & & \sigma_{a3}^2 & \cdots & \sigma_{a3an} \\ & & & \ddots & \vdots \\ & & & & \sigma_{an}^2 \end{bmatrix}$$

Simétrica

A matriz P é dada por $P_0 \otimes I$, sendo I a matriz identidade de ordem igual ao número de rainhas e P_0 a matriz de variâncias de efeito permanente de ambiente, como segue:

$$P_0 = \begin{bmatrix} \sigma_{p1}^2 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 0 \end{bmatrix}$$

A matriz R é dada por $R_0 \otimes I$, sendo I a matriz identidade de ordem igual ao número de observações e R_0 a matriz de variâncias residuais, como segue:

$$R_0 = \begin{bmatrix} \sigma^2_{e1} & & & & \\ 0 & \sigma^2_{e2} & & & \\ 0 & \sigma_{e2e3} & \sigma^2_{e3} & & \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \\ 0 & \sigma_{e2en} & \sigma_{e3en} & \cdots & \sigma^2_{en} \end{bmatrix} \text{ Simétrica}$$

O segundo modelo admitido, que considerou o efeito genético materno foi:

$$Y = X\beta + Zu + e$$

$$\text{sendo } Z = [Z_1 \quad Z_2 \quad Z_3]; u = \begin{bmatrix} g \\ p \end{bmatrix} \text{ e } g = \begin{bmatrix} a \\ m \end{bmatrix}$$

em que,

Y = vetor de observações;

X e Z_1 , Z_2 e Z_3 = matrizes de incidência dos efeitos fixos, efeitos genéticos diretos, maternos e permanentes de ambiente, respectivamente;

β , a , m , p e e = vetores dos efeitos fixos, genéticos diretos, maternos, permanentes de ambiente e resíduos.

A distribuição conjunta dos vetores y , g , m , i e e pode ser descrita como segue:

$$\begin{bmatrix} y \\ u \\ e \end{bmatrix} \sim NMV \left\{ \begin{bmatrix} X\beta \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; \begin{bmatrix} V & Z\Sigma & R \otimes I_n \\ \Sigma Z' & \Sigma & 0 \\ R \otimes I_n & 0 & R \otimes I_n \end{bmatrix} \right\}$$

em que,

$$V = Z\Sigma Z' + R \otimes I_n; \quad \Sigma = \begin{bmatrix} G \otimes A & 0 \\ 0 & P \otimes I_m \end{bmatrix}$$

$$G = \begin{bmatrix} \sigma^2_{a1} & \sigma_{a1a2} & \sigma_{a1a3} & \sigma_{a1an} & \cdots & \sigma_{a1m1} \\ & \sigma^2_{a2} & \sigma_{a2a3} & \sigma_{a2an} & \cdots & \sigma_{a2m1} \\ & & \sigma^2_{a3} & \sigma_{a3an} & \cdots & \sigma_{a3m1} \\ & & & \sigma^2_{an} & \cdots & \sigma_{amm1} \\ & & & & \ddots & \vdots \\ & & & & & \sigma^2_{m1} \end{bmatrix} \text{ Simétrica}$$

$$P_0 = \begin{bmatrix} \sigma^2_{p1} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 0 \end{bmatrix} \quad R_0 = \begin{bmatrix} \sigma^2_{e1} & & & & \\ 0 & \sigma^2_{e2} & & & \\ 0 & \sigma_{e2e3} & \sigma^2_{e3} & & \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \\ 0 & \sigma_{e2en} & \sigma_{e3en} & \cdots & \sigma^2_{en} \end{bmatrix} \text{ Simétrica}$$

em que,

V é a matriz de variâncias e covariâncias fenotípicas entre as características;

G é a matriz de variâncias e covariâncias genética direta e materna entre a produção de mel e características morfométricas de asa, abdome e tórax;

A é a matriz que relaciona os indivíduos geneticamente;

P é a matriz de variâncias dos efeitos permanentes de ambiente;

I_m é a matriz identidade de ordem igual ao número de rainhas;

R é matriz de variâncias residuais para as características;

I_n é a matriz identidade de ordem n igual ao número de observações.

Foram assumidas pressuposições de que os efeitos fixos têm distribuição uniforme e os componentes de (co)variância distribuição de Wishart ou Gama invertidas. Para os efeitos aleatórios foi assumida distribuição normal.

Para o primeiro modelo foram geradas cadeias de Gibbs de 5.000.000 de iterações para as características morfométricas. Nos dois modelos, 45.000.000 iterações foram geradas para produção de mel com características morfométricas de asa, abdome e tórax. O descarte inicial foi de 50.000 e o intervalo de amostragem de 1.000 iterações para todas as análises.

Foi construído o intervalo de credibilidade e região de alta densidade para todos os componentes de (co)variância e parâmetros genéticos estimados ao nível de 90% de credibilidade.

A monitoração da convergência das cadeias foi feita por meio da utilização dos testes de diagnóstico de Heidelberger e Welch, disponíveis na biblioteca CODA (*Convergence Diagnosis and Output Analysis*), implementada no programa R (2007).

Resultados e Discussão

A média e o desvio-padrão do comprimento (Casa) e largura (Lasa) da asa de rainhas à emergência foram de $10,35 \pm 0,59$ e $3,61 \pm 0,32$ mm, respectivamente. Estes valores foram superiores aos encontrados em rainhas europeias por Hatch et al. (1999) e Tarpy et al. (2000) de 9,30 e 9,60 mm para Casa e 3,10 e 3,30 mm para Lasa, respectivamente. Rainhas africanizadas apresentam comprimento e largura de asa maiores do que as europeias (Casagrande-Jaloretto et al., 1984).

Para comprimento (Cabd) e largura (Labd) do abdome, as médias e desvios-padrão foram de $10,61 \pm 0,97$ e $4,96 \pm 0,44$ mm, respectivamente. Estas médias foram

superiores às encontradas por Costa (2005) de 9,90 e 4,60 mm; inferior para Cabd encontrado por Faquinello (2007) de 11,0 mm e superior a Labd de 4,60 mm.

As medidas de comprimento (Ctorax) e largura (Ltorax) do tórax e desvios-padrão foram de $4,88 \pm 0,42$ e $5,05 \pm 0,41$ mm, respectivamente. Em rainhas europeias provenientes de larvas de um dia de idade, médias menores foram encontradas por Hatch et al. (1999) de 4,34 e 4,59 mm e Tarpy et al. (2000) de 4,68 e 4,76 mm para Ctorax e Ltorax, respectivamente. Para a altura do tórax (Htorax) a média e desvio-padrão foram de $5,12 \pm 0,46$ mm, valor este próximo às medidas de Ctorax e Ltorax.

A média e o desvio-padrão para a produção de mel foram de $13,92 \pm 6,23$ kg por coleta. O ano de produção foi composto de duas ordens, portanto, a estimativa da produção anual foi de 27,84 kg/colônia. O SEBRAE Agronegócios (2006) informou que a produtividade média de mel no Brasil não ultrapassa 15,0 kg/colônia/ano.

Houve indicação de convergência para todas as cadeias obtidas em análise unicarater para as medidas morfométricas. Nos dois modelos, algumas cadeias para análise tricarater e tetracarater não indicaram convergência e foram apresentadas com a notação nc (não convergência).

Na Tabela 1, são apresentadas as estimativas de variância genética aditiva, residual, fenotípica e de herdabilidade para as medidas morfométricas obtidas nas análises unicarater. As estimativas de forma geral apresentaram intervalos de credibilidade de baixa magnitude, com distribuição posterior simétrica.

As estimativas de herdabilidade foram de magnitude média a alta para as características morfométricas de asa, abdome e tórax em rainhas africanizadas. Costa (2005) e Faquinello (2007) encontraram estimativas de herdabilidade maiores para Casa (0,51 e 0,47), Lasa (0,77 e 0,46) e Labd (0,68 e 0,50) e menores para Cabd (0,59 e 0,52) do que as encontradas neste trabalho, também para rainhas africanizadas. Para tórax, as estimativas de herdabilidade para Ctorax (0,51) e Htorax (0,49) foram próximas e inferiores a de Ltorax (0,80).

As Tabelas 2, 3 e 4 apresentam as estimativas de (co)variância genética aditiva obtidas na análise tricarater da produção de mel com as medidas de asa, sob o modelo que omitiu o efeito genético materno.

Na Tabela 2, a estimativa de variância genética aditiva para produção de mel (11,24) apresentou distribuição posterior assimétrica; para Casa e Lasa as estimativas de variância genética aditiva foram precisas e com distribuição posterior simétrica.

Tabela 1 – Estimativas de variância genética aditiva (σ_a^2), residual (σ_e^2), fenotípica (σ_y^2) e herdabilidade (h^2) em análise unicarater, com seus respectivos intervalos de credibilidade e regiões de alta densidade ao nível de 90%, para comprimento (Casa) e largura (Lasa) de asa, comprimento (Cabd) e largura (Labd) de abdome, comprimento (Ctorax), largura (Ltorax) e altura (Htorax) de tórax de rainhas africanizadas à emergência

Características	Estimativas			
	σ_a^2	σ_e^2	σ_y^2	h^2
Casa	0,37 (0,26 – 0,48)* (0,26 – 0,47)**	0,66 (0,53 – 0,82) (0,52 – 0,80)	1,03 (0,85 – 1,23) (0,84 – 1,22)	0,36 (0,28 – 0,44) (0,28 – 0,43)
Lasa	0,23 (0,17 – 0,29) (0,17 – 0,28)	0,30 (0,24 – 0,37) (0,24 – 0,36)	0,53 (0,44 – 0,63) (0,42 – 0,62)	0,43 (0,36 – 0,51) (0,36 – 0,50)
Cabd	0,92 (0,67 – 1,20) (0,65 – 1,17)	0,24 (0,11 – 0,41) (0,09 – 0,38)	1,16 (0,96 – 1,40) (0,94 – 1,37)	0,79 (0,64 – 0,91) (0,66 – 0,92)
Labd	0,30 (0,22 – 0,38) (0,21 – 0,37)	0,38 (0,31 – 0,48) (0,30 – 0,47)	0,68 (0,56 – 0,82) (0,55 – 0,80)	0,44 (0,36 – 0,51) (0,36 – 0,51)
Ctorax	0,91 (0,62 – 1,33) (0,56 – 1,24)	0,86 (0,59 – 1,22) (0,55 – 1,16)	1,77 (1,31 – 2,39) (1,28 – 2,31)	0,51 (0,40 – 0,62) (0,40 – 0,62)
Ltorax	0,67 (0,48 – 0,93) (0,45 – 0,89)	0,17 (0,10 – 0,28) (0,09 – 0,25)	0,84 (0,62 – 1,14) (0,60 – 1,10)	0,80 (0,70 – 0,87) (0,71 – 0,88)
Htorax	0,95 (0,64 – 1,36) (0,61 – 1,29)	0,98 (0,67 – 1,41) (0,62 – 1,35)	1,93 (1,42 – 2,59) (1,36 – 2,48)	0,49 (0,38 – 0,60) (0,38 – 0,60)

* Intervalo de credibilidade ao nível de 90%

** Região de alta densidade ao nível de 90%

Tabela 2 - Estimativas de componentes de (co)variância genética aditiva, com seus respectivos intervalos de credibilidade e regiões de alta densidade, ao nível de 90%, em análise tricarater para a produção de mel, comprimento (Casa) e largura (Lasa) de asa de rainhas africanizadas, sob o modelo que omitiu o efeito materno

Características	Produção de Mel	Casa	Lasa
Produção de mel	11,24 (3,30 - 14,58)* (8,26 – 15,36)**		
Casa	- 0,02 nc ¹ (-0,79 – 0,76) (-0,79 – 0,75)	2,19 (1,79 – 2,64) (1,76 – 2,59)	
Lasa	- 0,02 nc (-0,48 – 0,44) (-0,48 – 0,44)	0,17 (0,01 - 0,34) (-0,01 - 0,33)	0,57 (0,46 - 0,71) (0,45 – 0,69)

¹ nc (não convergência)

* Intervalo de credibilidade ao nível de 90%

** Região de alta densidade ao nível de 90%

Costa (2005) encontrou maiores estimativas de variância genética aditiva para Casa (3,41) e Lasa (1,26). A covariância genética entre Casa e Lasa (0,17) foi uma estimativa maior do que a encontrada por Costa (2005) de 0,09 e muito inferior a encontrada por Faquinello (2007) de 45,54. As estimativas de covariância entre produção de mel e características de asa não obtiveram convergência sendo caracterizadas por intervalos de credibilidade muito amplos.

Na Tabela 2, a variância genética aditiva (11,24) e, na Tabela 3 a variância permanente de ambiente (15,76) para a produção de mel foram responsáveis por 39,62% e 55,55% da variância fenotípica (28,37), respectivamente. A variação da produção de mel foi praticamente definida pelos efeitos genético aditivo e permanente de ambiente de rainha, pois a variância residual foi baixa (1,37). As estimativas de variância genética aditiva para Casa (2,19) e Lasa (0,57) representaram a maior proporção dentro da variância fenotípica de cada característica.

Tabela 3 - Estimativas de variância permanente de ambiente (σ_p^2), residual (σ_e^2), fenotípica (σ_y^2) e herdabilidade (h^2), com seus respectivos intervalos de credibilidade e regiões de alta densidade, ao nível de 90%, em análise tricarater, para a produção de mel, comprimento (Casa) e largura (Lasa) de asa de rainhas africanizadas, obtidas sem considerar o efeito genético materno

Características	Estimativas			
	σ_p^2	σ_e^2	σ_y^2	h^2
Produção de mel	15,76 (11,28 – 20,79)* (10,93 – 20,40)**	1,37 (0,35 – 6,48) (0,21 – 2,35)	28,37 (24,28 - 32,99) (23,97 - 32,63)	0,40 (0,11 – 0,53) (0,29 – 0,56)
Casa	-	0,28 (0,21 – 0,36) (0,20 – 0,35)	2,46 (2,06 – 2,93) (2,02 – 2,88)	0,89 (0,85 – 0,92) (0,86 – 0,92)
Lasa	-	0,30 (0,24 – 0,38) (0,23 – 0,38)	0,87 (0,73 – 1,04) (0,71 – 1,02)	0,65 (0,59 – 0,72) (0,59 – 0,72)

* Intervalo de credibilidade ao nível de 90%

** Região de alta densidade ao nível de 90%

A estimativa de herdabilidade para a produção de mel (0,40) está dentro da variação de herdabilidade encontrada por Soller & Bar-Cohen (1967) e Bar-Cohen et al. (1978) de 0,23 a 0,58. Para Casa (0,89) e Lasa (0,65) a estimativa de herdabilidade foi maior do que a encontrada em análise unicarater.

A Tabela 4 apresenta as estimativas de correlação genética entre a produção de mel e características de asa. Não houve indicação de convergência para estas estimativas.

Tabela 4 - Estimativas de correlação genética com seus respectivos intervalos de credibilidade e regiões de alta densidade, ao nível de 90%, em análise tricarater, para a produção de mel, comprimento (Casa) e largura (Lasa) de asa de rainhas africanizadas, obtidas sem considerar o efeito genético materno

Característica	Casa	Lasa
Produção de mel	-0,01 nc ¹ (-0,15 - 0,15) [*] (-0,16 - 0,15) ^{**}	-0,01 nc (-0,19 - 0,17) (-0,18 - 0,18)

¹ nc (não convergência)

*Intervalo de credibilidade ao nível de 90%

**Região de Alta densidade ao nível de 90%

As Tabelas 5, 6 e 7 apresentam as estimativas de (co)variância genéticas aditivas obtidas para análise tricarater da produção de mel com as medidas morfométricas de asa, sob o modelo que considerou o efeito genético materno.

Tabela 5 – Estimativas de componentes de (co)variância genética direta e materna, com respectivos intervalos de credibilidade e regiões de alta densidade, ao nível de 90%, em análise tricarater a produção de mel, comprimento (Casa) e largura (Lasa) de asa de rainhas africanizadas, obtidas considerando o efeito materno

Características	Mel	Casa	Lasa	Efeito materno
Produção de mel	12,90 (10,77 – 15,38) [*] (10,63 – 15,19) ^{**}			
Casa	-0,05 nc ¹ (-1,21 – 1,15) (-1,22 – 1,13)	0,36 (0,28 – 0,45) (0,28 – 0,44)		
Lasa	-0,03 nc (-0,36 – 0,30) (-0,36 – 0,30)	0,003 (-0,03 – 0,04) (-0,03 – 0,04)	0,11 (0,09 – 0,15) (0,09 – 0,14)	
Efeito materno	-2,74 (-13,58 – 5,29) (-12,66 – 5,95)	-0,07 nc (-0,77 – 0,60) (-0,76 – 0,60)	-0,05 (-0,29 – 0,16) (-0,27 – 0,18)	7,17 (1,83 – 19,57) (1,09 – 15,62)

¹ nc (não convergência)

*Intervalo de credibilidade ao nível de 90%

**Região de Alta densidade ao nível de 90%

Por meio da Tabela 5, pode-se observar que as estimativas que não convergiram para o primeiro modelo, também não convergiram para o segundo. A estimativa de variância genética aditiva para produção de mel foi maior (12,90), e menor para Casa (0,36) e Lasa (0,36) do que as encontradas no modelo que omitiu o efeito materno. As estimativas de covariância para o efeito genético materno com a produção de mel (-2,74), Casa (-0,07 nc) e Lasa (-0,05) foram pouco precisas, no entanto, retratam o antagonismo entre o efeito materno e direto.

A Tabela 6 mostra que a adição do efeito materno causou diminuição da estimativa de variância permanente de ambiente (11,98) e residual (0,06), em função da estimação do efeito genético materno.

A variância genética materna (7,17) representou 24,40% da variância fenotípica (29,38). As estimativas de variância residual e fenotípica para Casa (0,05 e 0,41) e Lasa (0,05 e 0,16) diminuíram quando o efeito genético materno foi considerado.

As estimativas de herdabilidade na produção de mel (0,44), Casa (0,87) e Lasa (0,69) sofreram pouca alteração com a inclusão do efeito genético materno, no entanto, para a produção de mel a herdabilidade foi mais precisa.

Tabela 6 - Estimativas de variância permanente de ambiente (σ_p^2), residual (σ_e^2), fenotípica (σ_y^2), herdabilidade direta (h_a^2), herdabilidade materna (h_m^2) e correlação genética entre o efeito direto e materno (rg_{am}) com seus respectivos intervalos de credibilidade e regiões de alta densidade, ao nível de 90%, em análise tricarater para produção de mel, comprimento (Casa) e largura (Lasa) de asa de rainhas africanizadas, obtidas considerando o efeito genético materno

Componentes*	Estimativas	Intervalo de Credibilidade	Região de Alta Densidade
σ_{p1}^2	11,98	5,64 – 18,33	5,36 – 18,02
σ_{e1}^2	0,06	0,02 – 0,13	0,01 – 0,11
σ_{e2}^2	0,05	0,04 – 0,07	0,03 – 0,07
σ_{e3}^2	0,05	0,04 – 0,07	0,03 – 0,07
σ_{y1}^2	29,38	25,04 – 34,51	24,74 – 34,07
σ_{y2}^2	0,41	0,34 – 0,50	0,33 – 0,49
σ_{y3}^2	0,16	0,14 – 0,20	0,13 – 0,20
h_{a1}^2	0,44	0,35 – 0,54	0,35 – 0,54
h_{m1}^2	0,24	0,82 – 0,92	0,82 – 0,92
h_{a2}^2	0,87	0,58 – 0,78	0,59 – 0,78
h_{a3}^2	0,69	0,06 - 0,67	0,03 - 0,53
rg_{a1m1}	-0,19 nc ¹	-0,89 – 0,69	-0,95 – 0,58
rg_{a2m1}	-0,04 nc	-0,46 – 0,40	-0,47 – 0,38
rg_{a3m1}	-0,05	-0,30 - 0,20	0,31 - 0,19

*o índice 1, 2 e 3 representa a produção de mel, comprimento (Casa), e largura (Lasa) da asa, respectivamente

¹ nc (não convergência)

As estimativas de herdabilidade direta (0,44) e materna (0,24) para a produção de mel foram superiores as encontradas por Bienefeld & Pirchner (1991) de 0,26 e 0,15 em *Apis mellifera carnica*. Porém, manteve-se a relação de que na produção de mel a participação genética da rainha é inferior a das operárias.

A correlação genética entre o efeito genético materno e produção de mel (-0,19 nc), Casa (-0,04 nc) e Lasa (0,05) demonstram fraca associação e o antagonismo entre

estes efeitos. No entanto, Bienefeld & Pirchner (1991) encontraram correlação de -0,88 entre estes efeitos na produção de mel.

A Tabela 7 apresenta os valores de correlação genética entre produção de mel e características de asa. Como no modelo que omitiu o efeito genético materno, os valores foram de baixa magnitude, pouco precisos e não obtiveram convergência. Casagrande-Jaloretto et al. (1984) não encontraram relação significativa para Casa e Lasa com número de ovariolos em rainhas africanizadas e europeias. As características de asa parecem não estar relacionadas com a produção de mel.

Tabela 7 - Estimativas de correlação genética com seus respectivos intervalos de credibilidade e regiões de alta densidade, ao nível de 90%, em análise tricarater, para produção de mel, comprimento (Casa) e largura (Lasa) de asa de rainhas africanizadas, considerando o efeito genético materno

Característica	Casa	Lasa
	-0,02 nc ¹	-0,03 nc
Produção de mel	(-0,56 – 0,53)*	(-0,29 – 0,25)
	(-0,56 – 0,53)**	(-0,30 – 0,23)

¹ nc (não convergência)

*Intervalo de credibilidade ao nível de 90%

**Região de Alta densidade ao nível de 90%

As Tabelas 8, 9 e 10 apresentam as estimativas de (co)variância genéticas aditivas obtidas para análise tricarater da produção de mel com as medidas morfométricas de abdome, sob o modelo que omitiu o efeito genético materno.

Na Tabela 8, as estimativas de variância genética para Cabd (1,02) e Labd (0,10) foram inferiores as encontradas por Costa (2005) de 2,17 para Cabd e 1,72 para Labd. A covariância entre estas características assumiu valor negativo (-0,06). A estimativa de covariância genética para produção de mel com Cabd (2,49) e Labd (0,02 nc) foram positivas, no entanto com Labd não houve convergência.

A estimativa de variância genética (13,01) na Tabela 8, e a permanente de ambiente (16,22) na Tabela 9, para a produção de mel foi equivalente a 44,49% e 55,47% da variância fenotípica (29,24). A estimativa de variância residual para produção de mel (0,01) foi baixa. As estimativas de variância residual para Cabd (0,09) e Labd (0,12) foram próximas as estimativas de variância genética aditiva.

As estimativas de herdabilidade para a produção de mel (0,45), Cabd (0,92) e Labd (0,47) foram precisas e apresentaram distribuição posterior simétrica. Em análise unicarater as estimativas de herdabilidade foram menores para Cabd (0,79) e Labd (0,44), porém, para Cabd manteve-se maior que para Labd.

Tabela 8 – Estimativas dos componentes de (co)variância genética em análise tricarater, com intervalos de credibilidade e regiões de alta densidade, ao nível de 90%, para produção de mel, comprimento (Cabd) e largura (Labd) de abdome de rainhas africanizadas, obtidas sem considerar o efeito materno

Características	Mel	Cabd	Labd
Produção de mel	13,01 (10,86 – 15,50)* (10,77 – 15,38)**		
Cabd	2,49 (0,94 – 3,60) (1,20 – 3,76)	1,02 (0,81 – 1,26) (0,80 – 1,24)	
Labd	0,02 nc ¹ (-0,44 – 0,50) (-0,44 – 0,50)	-0,06 (-0,14 - 0,02) (-0,14 – 0,02)	0,10 (0,07 - 0,15) (0,06 – 0,15)

¹ nc (não convergência)

*Intervalo de credibilidade ao nível de 90%

**Região de Alta densidade ao nível de 90%

Tabela 9 - Estimativas de variância permanente de ambiente (σ_p^2), residual (σ_e^2), fenotípica (σ_y^2) e herdabilidade (h^2), com seus respectivos intervalos de credibilidade e regiões de alta densidade, ao nível de 90%, em análise tricarater para produção de mel, comprimento (Cabd) e largura (Labd) de abdome de rainhas africanizadas, obtidas sem considerar o efeito genético materno

Características	Estimativas			
	σ_p^2	σ_e^2	σ_y^2	h^2
Mel	16,22 (11,77 – 21,24)* (11,32 – 20,73)**	0,01 (0,01 – 0,03) (0,01 – 0,02)	29,24 (24,99 – 34,11) (24,45 – 33,48)	0,45 (0,36 – 0,55) (0,38 – 0,59)
Cabd	-	0,09 (0,05 – 0,13) (0,05 – 0,12)	1,11 (0,91 – 1,34) (0,89 – 1,32)	0,92 (0,88 – 0,96) (0,88 – 0,96)
Labd	-	0,12 (0,08 – 0,15) (0,08 – 0,15)	0,22 (0,19 – 0,26) (0,18 – 0,26)	0,47 (0,32 – 0,62) (0,32 – 0,62)

*Intervalo de credibilidade ao nível de 90%

**Região de Alta densidade ao nível de 90%

Na Tabela 10, as estimativas de correlação genética para produção de mel com Cabd (0,69) e Labd (0,19 nc) assumiram valores positivos. Entretanto, a correlação entre Cabd e produção de mel indicou que o Cabd influencia consideravelmente a produção de mel. Estimativa de correlação genética semelhante foi encontrada por Faquinello (2007) entre Labd e produção de geleia real de 0,65. Estes resultados indicam que as medidas externas do abdome podem refletir o potencial reprodutivo da rainha.

Tabela 10 - Estimativas de correlação genética com seus respectivos intervalos de credibilidade e regiões de alta densidade, ao nível de 90%, em análise tricarater, para a produção de mel, comprimento (Cabd) e largura (Labd) de abdome de rainhas africanizadas, obtidas sem considerar o efeito materno

Característica	Cabd	Labd
	0,69	0,19 nc ¹
Produção de mel	(0,26 – 0,93)*	(-0,40 – 0,41)
	(0,38 – 0,97)**	(-0,41 – 0,39)

¹ nc (não convergência)

*Intervalo de credibilidade ao nível de 90%

**Região de Alta densidade ao nível de 90%

Nas Tabelas 11, 12 e 13 são apresentados os parâmetros genéticos e fenotípicos para a produção de mel e características morfométricas de abdome sob o modelo que considerou o efeito genético materno.

A Tabela 11 demonstra que a adição do efeito genético materno resultou em diminuição das estimativas de variância genética direta para produção de mel (12,86), Cabd (0,99) e um leve aumento para Labd (0,12). As estimativas de covariância para Cabd e Labd (-0,08 nc), produção de mel e Cabd (1,67 nc) e, Labd (0,02) diminuíram.

Tabela 11 – Estimativas de componentes de (co)variância genética direta e materna, com respectivos intervalos de credibilidade e regiões de alta densidade, ao nível de 90%, em análise tricarater para produção de mel, comprimento (Cabd) e largura (Labd) do abdome de rainhas africanizadas, obtidas considerando o efeito genético materno

Características	Mel	Cabd	Labd	Efeito Materno
Mel	12,86 (10,73 – 15,36)* (10,58 – 15,13)**			
Cabd	1,67 nc ¹ (-3,13 – 3,60) (-2,62 – 3,92)	0,99 (0,79 – 1,23) (0,77 – 1,21)		
Labd	0,02 nc (-0,52 – 0,57) (-0,53 – 0,56)	-0,08 (-0,16 – - 0,01) (-0,16 – - 0,01)	0,12 (0,08 – 0,17) (0,07 – 0,16)	
Efeito Materno	-0,56 (-11,02 – 5,97) (-8,93 – 7,14)	0,34 nc (-0,96 – 2,43) (-1,25 – 2,03)	0,04 nc (-0,21 – 0,26) (-0,18 – 0,28)	2,44 nc (0,18 – 10,13) (0,04 – 6,13)

¹ nc (não convergência)

*Intervalo de credibilidade ao nível de 90%

**Região de Alta densidade ao nível de 90%

A estimativa de covariância genética entre produção de mel e efeito materno (-0,56) assumiu valor negativo. Para a covariância entre efeito materno e Cabd (0,34 nc) e, efeito materno com Labd (0,04 nc) as estimativas foram positivas, no entanto não obtiveram convergência. O valor da estimativa de variância para o efeito materno (2,44

nc) foi menor do que o encontrado para a produção de mel e características morfométricas de asa (7,17).

Na Tabela 12, para a produção de mel, ao considerar o efeito materno houve diminuição das estimativas de variância para o efeito permanente de ambiente (14,82), aumento para a residual (0,05) e fenotípica (29,61). Para a variância fenotípica as estimativas para Cabd (1,10) e Labd (0,22) permaneceram iguais.

As estimativas de herdabilidade direta para produção de mel (0,44) e Cabd (0,91) mantiveram-se próximas para os dois modelos. Para Labd (0,53) esta estimativa foi maior quando o efeito materno foi considerado. A herdabilidade materna (0,08 nc) foi menor do que a encontrada para produção de mel e características morfométricas de asa (0,24).

Tabela 12 - Estimativas de variância permanente de ambiente (σ_p^2), residual (σ_e^2), fenotípica (σ_y^2), herdabilidade direta (h_a^2), herdabilidade materna (h_m^2) e correlação genética entre o efeito direto e materno (rg_{am}) com seus respectivos intervalos de credibilidade e regiões de alta densidade, ao nível de 90%, em análise tricarater para produção de mel, comprimento (Cabd) e largura (Labd) do abdome de rainhas africanizadas, obtidas considerando o efeito genético materno

Componentes*	Estimativas	Intervalo de Credibilidade	Região de Alta densidade
σ_{p1}^2	14,82	7,69 – 21,28	7,85 – 21,41
σ_{e1}^2	0,05	0,02 – 0,11	0,01 – 0,09
σ_{e2}^2	0,10	0,07 – 0,14	0,06 – 0,14
σ_{e3}^2	0,10	0,07 – 0,14	0,06 – 0,14
σ_{y1}^2	29,61	25,25 – 34,79	24,96 – 34,38
σ_{y2}^2	1,10	0,90 – 1,33	0,89 – 1,32
σ_{y3}^2	0,22	0,18 – 0,26	0,18 – 0,26
h_{a1}^2	0,44	0,35 – 0,54	0,35 – 0,54
h_{m1}^2	0,08 nc ¹	0,01 – 0,35	0,01 – 0,21
h_{a2}^2	0,91	0,86 – 0,94	0,87 – 0,95
h_{a3}^2	0,53	0,37 – 0,70	0,37 – 0,70
rg_{a1m1}	-0,09 nc	-0,98 – 0,96	-0,99 – 0,94
rg_{a2m1}	0,22 nc	-0,86 – 0,90	-0,80 – 0,95
rg_{a3m1}	0,07 nc	-0,39 – 0,55	-0,33 – 0,59

*o índice 1, 2 e 3 representa a produção de mel, comprimento do abdome (Cabd) e largura (Labd) do abdome, respectivamente

¹ nc (não convergência)

As estimativas de correlação genética dos efeitos diretos da produção de mel (-0,09), Cabd (0,22) e Labd (0,07) com o efeito genético materno não obtiveram convergência.

Na Tabela 13, as correlações genéticas entre produção de mel e Cabd (0,47 nc) e Labd (0,02 nc) foram positivas. Apesar da não convergência, o Cabd parece influenciar positivamente a produção de mel.

Tabela 13 - Estimativas de correlação genética com seus respectivos intervalos de credibilidade e regiões de alta densidade, ao nível de 90%, em análise tricarater, para produção de mel, comprimento (Cabd) e largura (Labd) de abdome de rainhas africanizadas, obtidas considerando o efeito materno

Característica	Cabd	Labd
	0,47 nc ¹	0,02 nc
Produção de mel	(-0,89 – 0,95)	(-0,45 – 0,45)
	(-0,68 – 0,98)	(-0,45 – 0,45)

¹ nc (não convergência)

*Intervalo de credibilidade ao nível de 90%

**Região de Alta densidade ao nível de 90%

As Tabelas 14, 15 e 16 apresentam as estimativas de (co)variância genéticas aditivas para produção de mel e características morfométricas de tórax, sob o modelo que omitiu o efeito genético materno.

Na Tabela 14, a estimativa de variância genética aditiva para produção de mel (13,54) foi maior do que as encontradas para características morfométricas de asa (11,24) e abdome (13,01) sob o modelo que omitiu o efeito genético materno. Para as características de tórax, as estimativas de variância genética aditiva assumiram valores entre 0,09 (Ctorax) e 0,35 (Htorax).

As estimativas de covariância genética entre produção de mel e características de tórax variaram entre 0,06 nc (Ltorax) e 0,26 (Ctorax). A covariância entre as características de tórax assumiu valores positivos de 0,01 (Ltorax e Ctorax), 0,03 (Htorax e Ltorax) e 0,04 (Htorax e Ctorax).

Na Tabela 15, verifica-se que o valor estimado para a variância permanente de ambiente apresentou participação de 52,47% na variância fenotípica. Para a produção de mel com as medidas morfométricas de asa e abdome, a participação ambiental da rainha sobre a produção de mel também foi em torno de 50%. A estimativa de variância residual foi muito baixa (0,01) como para a produção de mel e características morfométricas de abdome. A variância fenotípica variou pouco para produção de mel com medidas de tórax (28,51) quando comparada à medidas de asa (28,37) e abdome (29,24).

Tabela 14 – Estimativas de componentes de (co)variância genética direta em análise tetracarater, com intervalos de credibilidade e regiões de alta densidade, ao nível de 90%, para produção de mel, comprimento (Ctorax), largura (Ltorax) e altura (Htorax) do tórax de rainhas africanizadas, sob o modelo que omitiu o efeito genético materno

Características	Mel	Ctorax	Ltorax	Htorax
Produção de mel	13,54 (11,28 – 16,16)* (11,07 – 15,88)**			
Ctorax	0,26 (-0,25 – 0,76) (-0,26 – 0,76)	0,09 (0,04 – 0,15) (0,04 – 0,14)		
Ltorax	0,06 nc ¹ (-0,45 – 0,57) (-0,45 – 0,57)	0,01 (-0,03 – 0,05) (-0,03 – 0,05)	0,11 (0,07 – 0,17) (0,06 – 0,16)	
Htorax	0,20 (-0,45 – 0,57) (-0,41 – 0,85)	0,04 (-0,01 – 0,10) (-0,01 – 0,09)	0,03 (-0,02 – 0,09) (-0,02 – 0,08)	0,35 (0,25 – 0,48) (0,23 – 0,45)

¹ nc (não convergência)

*Intervalo de credibilidade ao nível de 90%

**Região de Alta densidade ao nível de 90%

Tabela 15 - Estimativas de variância permanente de ambiente (σ_p^2), residual (σ_e^2), fenotípica (σ_y^2) e herdabilidade direta (h_a^2) com seus respectivos intervalos de credibilidade e regiões de alta densidade, ao nível de 90%, em análise tetracarater para produção de mel, comprimento (Ctorax), largura (Ltorax) e altura (Htorax) do tórax de rainhas africanizadas, obtidas sem considerar o efeito genético materno

Características	Estimativas			
	σ_p^2	σ_e^2	σ_y^2	h^2
Produção de mel	14,96 (10,71 – 19,81)* (10,51 – 19,56)**	0,01 (0,01 – 0,02) (0,01 – 0,01)	28,51 (24,45 – 33,19) (24,06 – 32,69)	0,47 (0,38 – 0,58) (0,38 – 0,58)
Ctorax	-	0,11 (0,07 – 0,17) (0,06 – 0,16)	0,20 (0,15 – 0,27) (0,14 – 0,26)	0,45 (0,24 – 0,64) (0,23 – 0,63)
Ltorax	-	0,11 (0,07 – 0,17) (0,06 – 0,16)	0,22 (0,17 – 0,30) (0,16 – 0,29)	0,50 (0,34 – 0,66) (0,33 – 0,66)
Htorax	-	0,12 (0,07 – 0,17) (0,06 – 0,16)	0,47 (0,35 – 0,60) (0,34 – 0,58)	0,74 (0,64 – 0,84) (0,65 – 0,85)

*Intervalo de credibilidade ao nível de 90%

**Região de Alta densidade ao nível de 90%

As estimativas de variância residual para Ctorax (0,11), Ltorax (0,11) e Htorax (0,12) foram muito parecidas. Isto também aconteceu para as variâncias fenotípicas de Ctorax (0,20) e Ltorax (0,22), no entanto para Htorax (0,47) diferiu substancialmente. Em função disso, as estimativas de herdabilidade para Ctorax (0,45) e Ltorax (0,50)

foram próximas, indicando que apenas uma das duas medidas poderia representar o tórax, tornando o processo de mensuração mais prático. Em análise tetracarater, a herdabilidade para Htorax (0,74) aumentou em 51,0% quando comparada à análise unicarater (0,49).

Para a produção de mel a estimativa de herdabilidade foi de 0,47. Este valor estimado foi maior do que aos encontrados quando as características de asa e abdome foram consideradas, adicionando ou omitindo o efeito genético materno, no entanto, pouco variou. Os parâmetros genéticos e fenotípicos estimados indicam que a herdabilidade assume valores de 0,40 a 0,47 para a produção de mel, considerando-se as características morfométricas de rainha.

A Tabela 16 apresenta as estimativas de correlação genética entre produção de mel e Ctorax (0,24), Ltorax (0,05 nc) e Htorax (0,09). O comprimento do tórax parece influenciar positivamente a produção de mel, no entanto pouco para ser definido como critério de seleção.

Tabela 16 - Estimativas de correlação genética com seus respectivos intervalos de credibilidade e regiões de alta densidade, ao nível de 90%, em análise tetracarater, para produção de mel, comprimento (Ctorax), largura (Ltorax) e altura (Htorax) do tórax de rainhas africanizadas, obtidas sem considerar o efeito genético materno

Característica	Ctorax	Ltorax	Htorax
	0,24	0,05 nc ¹	0,09
Produção de mel	(-0,25 – 0,63)*	(-0,36 – 0,44)	(-0,20 – 0,37)
	(-0,18 – 0,69)**	(-0,36 – 0,44)	(-0,19 – 0,37)

¹ nc (não convergência)

*Intervalo de credibilidade ao nível de 90%

**Região de Alta densidade ao nível de 90%

As Tabelas 17, 18 e 19 apresentam as estimativas de (co)variância genéticas aditivas obtidas para análise tetracarater da produção de mel com medidas morfométricas de tórax sob o modelo que considerou o efeito genético materno.

Na Tabela 17, pode-se observar que a identificação do efeito genético materno resultou em diminuição das estimativas de variância genética aditiva direta para a produção de mel. A estimativa de variância genética para a produção de mel (0,08) foi a menor entre todas as análises, considerando e omitindo o efeito genético materno. Para Ctorax, Ltorax e Htorax as estimativas de (co)variância aumentaram. As estimativas de covariância entre o efeito materno e as quatro características assumiram valores positivos, no entanto, pouco precisos.

Tabela 17 – Estimativas de componentes de (co)variância genética direta e materna em análise tetracarater, com intervalos de credibilidade e regiões de alta densidade, ao nível de 90%, para produção de mel, comprimento (Ctorax), largura (Ltorax) e altura (Htorax) do tórax de rainhas africanizadas, obtidas considerando o efeito materno

Caracter.	Mel	Ctorax	Ltorax	Htorax	Efeito Materno
Mel	0,08 (0,04 – 0,17)* (0,03 – 0,14)**				
Ctorax	0,01 (-0,04 – 0,07) (-0,05 – 0,06)	0,15 (0,08 – 0,24) (0,07 – 0,22)			
Ltorax	0,01 nc ¹ (-0,04 – 0,06) (-0,05 – 0,06)	0,05 (-0,01 – 0,12) (-0,19 – 0,65)	0,14 (0,08 – 0,23) (0,07 – 0,21)		
Htorax	0,01 (-0,05 – 0,07) (-0,05 – 0,07)	0,07 (0,01 – 0,17) (-0,01 – 0,16)	0,06 (-0,01 – 0,15) (-0,02 – 0,14)	0,41 (0,27 – 0,59) (0,25 – 0,56)	
Efeito Materno	0,23 (-0,12 – 0,67) (-0,14 – 0,64)	0,24 (-0,14 – 0,71) (-0,19 – 0,65)	0,15 (-0,22 – 0,58) (-0,23 – 0,56)	0,21 (-0,24 – 0,78) (-0,30 – 0,71)	5,17 (1,68 – 10,91) (1,11 – 9,36)

¹ nc (não convergência)

*Intervalo de credibilidade ao nível de 90%

**Região de Alta densidade ao nível de 90%

A Tabela 18 indica que a estimativa de variância permanente de ambiente (13,27) para produção de mel representou 51,69% da variância fenotípica (25,67). Este comportamento foi observado em todas as análises, adicionando ou omitindo o efeito genético materno.

Ao adicionar o efeito genético materno, as estimativas de variância residual para produção de mel (6,92), Ctorax (0,13), Ltorax (0,13) e Htorax (0,24) aumentaram assim como as estimativas para variância fenotípica para as características de tórax. O Ctorax e Ltorax, como no modelo que omitiu o efeito materno, apresentaram parâmetros genéticos e fenotípicos similares que resultaram em estimativas de herdabilidade direta próximas de 0,54 (Ctorax) e 0,52 (Ltorax) entre as duas características. Htorax apresentou herdabilidade de 0,63, a maior para este modelo, no entanto menor do que a estimada para o modelo que omitiu o efeito genético materno (0,69).

A estimativa de herdabilidade direta para produção de mel (0,003) foi a menor entre todas as análises, sob os dois modelos. O efeito materno segundo Bienefeld et al. (2007) deve ser considerado para a produção de mel. Ao considerar este efeito na produção de mel, associada à características de tórax as estimativas indicaram que as medidas do tórax de rainhas não são desejáveis para a seleção indireta.

Tabela 18 - Estimativas de variância permanente de ambiente (σ_p^2), residual (σ_e^2), fenotípica (σ_y^2), herdabilidade direta (h_a^2), herdabilidade materna (h_m^2) e correlação genética entre o efeito direto e materno (rg_{am}) com seus respectivos intervalos de credibilidade e regiões de alta densidade, ao nível de 90%, em análise tetracarater para produção de mel, comprimento (Ctorax), largura (Ltorax) e altura (Htorax) do tórax de rainhas africanizadas, sob o modelo que considerou o efeito genético materno

Componentes*	Estimativas	Intervalo de Credibilidade	Região de Alta Densidade
σ_{p1}^2	13,27	7,54 – 18,78	7,40 – 18,62
σ_{e1}^2	6,92	5,84 – 8,17	5,77 – 8,06
σ_{e2}^2	0,13	0,08 – 0,21	0,07 – 0,19
σ_{e3}^2	0,13	0,08 – 0,20	0,07 – 0,19
σ_{e4}^2	0,24	0,12 – 0,48	0,09 – 0,40
σ_{y1}^2	25,67	21,97 – 29,95	21,69 – 29,57
σ_{y2}^2	0,28	0,19 – 0,40	0,18 – 0,38
σ_{y3}^2	0,27	0,19 – 0,40	0,17 – 0,36
σ_{y4}^2	0,65	0,43 – 0,99	0,40 – 0,91
h_{a1}^2	0,003	0,001 – 0,01	0,001 – 0,01
h_{m1}^2	0,20	0,07 – 0,41	0,04 – 0,36
h_{a2}^2	0,54	0,34 – 0,70	0,35 – 0,70
h_{a3}^2	0,52 nc ¹	0,35 – 0,69	0,35 – 0,68
h_{a4}^2	0,63	0,46 – 0,78	0,49 – 0,80
rg_{a1m1}	0,35	-0,19 – 0,76	-0,11 – 0,81
rg_{a2m1}	0,27	-0,19 – 0,65	-0,14 – 0,69
rg_{a3m1}	0,17	-0,29 – 0,57	-0,25 – 0,60
rg_{a4m1}	0,14	-0,19 – 0,45	-0,17 – 0,46

*os índices 1, 2, 3 e 4 representam a produção de mel, comprimento (Ctorax), largura (Ltorax) e altura (Htorax) do tórax, respectivamente;

¹ nc (não convergência).

As estimativas de herdabilidade direta e materna para a produção de mel com características morfométricas de asa e abdome mantiveram a relação que Bienefeld & Pirchner (1991) encontraram para a produção de mel entre a participação genética de operárias e rainha. No entanto, quando as medidas de tórax foram consideradas, sob o modelo que considera o efeito materno esta relação foi inversa.

A correlação genética antagônica entre o efeito genético direto e materno, segundo Willham (1963), Foulley & Lefort (1978) e Roehe & Kennedy (1993) impede a resposta de seleção. As estimativas provenientes destes dois efeitos para todas as análises foram pouco precisas, indicando a necessidade de mais estudos, com banco de dados maiores e com parentescos controlados.

As estimativas de correlação genética entre produção de mel, Ctorax, Ltorax e Htorax apresentadas na Tabela 19 assumiram valores positivos, no entanto, pouco associados geneticamente.

Tabela 19 - Estimativas de correlação genética com seus respectivos intervalos de credibilidade e regiões de alta densidade, ao nível de 90%, em análise tetracarater, para produção de mel, comprimento (Ctorax), largura (Ltorax) e altura (Htorax) do tórax de rainhas africanizadas, obtidas considerando o efeito genético materno

Característica	Ctorax	Ltorax	Htorax
	0,09	0,09 nc ¹	0,06
Produção de mel	(-0,37 – 0,50)*	(-0,39 – 0,46)	(-0,27 – 0,35)
	(-0,38 – 0,50)**	(-0,38 – 0,46)	(-0,27 – 0,36)

¹ nc (não convergência)

*Intervalo de credibilidade ao nível de 90%

**Região de Alta densidade ao nível de 90%

De maneira geral, a associação de características morfométricas de rainha com a produção de mel foi marcada por estimativas que não convergiram. Isto indica que a identificação da parte genética da produção de mel considerando ou omitindo o efeito genético materno deve ser mais estudada a fim de se estimar parâmetros genéticos e fenotípicos mais acurados.

Willham (1963) desenvolveu o modelo que separou as estimativas de herdabilidade para o efeito direto, materno e a correlação genética entre eles. Para isso, esse modelo foi baseado nas medidas da progênie de diferentes parentescos (irmãos completos, meio-irmãos por parte de pai e mãe, primos, etc) que possuíam diferentes laços genéticos entre mães e progênie. Ou seja, todos os parentescos conhecidos envolvendo pai, mãe e progênie foram considerados.

Neste trabalho, somente a genealogia das mães foi controlada e relações de parentesco distantes entre mães foram consideradas. O acasalamento natural de uma rainha envolve de 5 a 10 zangões (Woyke, 1955) podendo chegar até 17,3 zangões (Adams et al., 1977), portanto, o parentesco entre operárias pode ser de 0,25 e 0,75 dentro de uma colônia (Laidlaw & Page, 1984). Daí a dificuldade em separar o efeito materno do direto e, também de identificar a porção genética da rainha dentro da contribuição ambiental que ela proporciona.

Em função disso, a técnica de inseminação instrumental deve ser utilizada para permitir o conhecimento mais preciso das relações entre parentesco dentro e entre as colônias, possibilitando a identificação mais precisa do efeito genético materno da rainha.

No entanto, as estimativas obtidas neste trabalho indicaram que o efeito materno deve ser considerado nos modelos de avaliação genética para a produção de mel e que a

seleção com base no comprimento do abdome de rainhas à emergência pode produzir ganhos genéticos interessantes na produção de mel em abelhas africanizadas.

Conclusões

O efeito materno deve ser considerado nos modelos de avaliação genética para a produção de mel em abelhas africanizadas e, o comprimento do abdome de rainhas pode ser utilizado como critério de seleção.

Literatura citada

- ADAMS, J.E.; ROTHMAN, E.D.; KERR, W.E. et al. Estimation of the number of the sex alleles and queen matings diploid male frequencies in a population of *Apis mellifera*. **Genetics**, v.86, p.583-596, 1977.
- BAR-COHEN, R.; ALPEM, G.; BAR-ANAN, R. Progeny testing and selecting Italian queens for brood area and honey production. **Apidologie**, v.9, p.95-100, 1978.
- BIENEFELD, K.; EHRHARDT, K.; REINHARDT, F. Genetic evaluation in the honey bee considering queen and worker effects – A BLUP - Animal Model Approach. **Apidologie**, v.38, p.77-85, 2007.
- BIENEFELD, K.; PIRCHNER, F. Heritabilities for several colony traits in the honeybee (*Apis mellifera carnica*). **Apidologie**, v.21, p.175-183, 1990.
- CASAGRANDE-JALORETTO, D.C.; BUENO, O.C.; STORT, A.C. Número de ovariolos em rainhas de *Apis mellifera*. **Naturalia**, v.9, p.73-79, 1984.
- COSTA, F.M. **Estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos para peso e medidas morfométricas em rainhas *Apis mellifera* africanizadas**. 2005. 39 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – UEM, Universidade Estadual de Maringá, Maringá.
- DADE, H.A. **Anatomy and dissection of the honeybee**. 4.ed. Oxford: The Alden Press, 1994. 178p.
- DOOLITTLE, G.M. **Scientific Queen-Rearing as practically applied**. Chicago: Ills, 1889. 163p.
- FAQUINELLO, P. **Avaliação genética em abelhas *Apis mellifera* africanizadas para produção de geléia real**. 2007. 54 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – UEM, Universidade Estadual de Maringá, Maringá.
- FOULLEY, J.L.; LEFORT, G. Méthodes d'estimation des effects directs et maternels en sélection animale. **Annales de Genetique et de Selection Animale**, v.10, p.475-496, 1978.
- GILLEY, D.C.; TARPY, D.R.; LAND, B.B. Effect of queen quality on interactions between workers and dueling queens in honeybee (*Apis mellifera* L.) colonies. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v.55, p.190-196, 2003.
- HATCH, S.; TARPY, D.R.; FLETCHER, D.J.C. Worker regulation of emergency queen rearing in honey bee colonies and the resultant variation in queen quality. **Insectes Sociaux**, v.46, p.372-377, 1999.
- HOOPINGARNER, R.; FARRAR, C.L. Genetic control of size in queen honey bees. **Journal of Economic Entomology**, v. 52, n.4, p.547-548, 1959.
- KAHYA, Y.; GENÇER, H.V.; WOYKE, J. Weight at emergence of honey bee (*Apis mellifera caucasica*) queens and its effect on live weights at the pre and post mating periods. **Journal of Apicultural Research**, v.47, n.2, p.118-125, 2008.
- LAIDLAW, H.H.; PAGE, R.E. Polyandry in honey bees (*Apis mellifera* L.): Sperm utilization and intracolony genetic relationship. **Genetics**, v.108, p.985-997, 1984.

- MORITZ, R.F.A.; SOUTHWICK, E.E. Natural Selection. In: **Bees as superorganisms**. 1.ed. New York: Springer-Verlag, 1992. p.292-293.
- NELSON, D.L.; GARY, N.E. Honey productivity of honeybees colonies in relation to body weight, attractiveness and fecundity of the queen. **Journal of Apicultural Research**, v.22, n.4, p.209-213, 1983.
- NOGUEIRA-COUTO, R.H.; COUTO, L.A. **Apicultura: Manejo e Produtos**. 3.ed. Jaboticabal: FUNEP, 2006. 193p.
- PEREIRA, F.M.; AZEVEDO-BENITEZ, A.L.G.; NOGUEIRA-COUTO, R.H. Número de ovariólos e peso ao nascer de rainhas *Apis mellifera* descendentes de colméias selecionadas pela capacidade de produção de mel. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE APICULTURA, 12., 2000. Salvador. **Anais...** Salvador:CBA.
- R Development Core Team (2007). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.
- ROEHE, R.; KENNEDY, B.W. The influence of maternal effects on accuracy of evaluation of litter size in swine. **Journal of Animal Science**, v.71, p.2353-2364, 1993.
- SEBRAE AGRONEGÓCIOS. **Desafios da apicultura brasileira**. Brasília, DF, 2006. 61.
- SNODGRASS, R.E. Anatomy of the honey bee. 3.ed. Ithaca: Cornell Paperbacks, 1984. 334p.
- SOLLER, M.; BAR-COHEN, R. Some observations on the heritability and genetic correlation between honey production and brood area in the honeybee. **Journal of Apicultural Research**, v.6, p.37-43, 1967.
- SZABO, T.I. Relationship between weight of honey bee queens (*Apis mellifera* L.) at emergence and at the cessation of egg laying. **American Bee Journal**, v. 113, n. 7, p. 250-251, 1973.
- SZABO, T.I.; LEFKOVITCH, L.P. Fourth generation of closed population honeybee breeding. **Apidologie**, v. 19, n. 3, p. 259-274, 1988.
- TARPY, D.R.; HATCH, S.; FLETCHER, J.C. The influence of queen age and quality during queen replacement in honeybee colonies. **Animal Behaviour**, v.59, p.97-101, 2000.
- TERADA, Y.; GARÓFALO, C.A.; SAKAGAMI, S.F. Age-survival curves for workers of two eusocial bees (*Apis mellifera* and *Plebeia droryana*) in a subtropical climate, with notes on worker polyethism in *Plebeia droryana*. **Journal of Apicultural Research**, v.14, n.3/4, p.161-170, 1975.
- VAN TASSEL, C.P.; VAN VLECK, L.D. **A manual for use of MTGSAM. A set of fortran programs to apply gibbs sampling to animal models for variance component estimation**. (DRAFT) Lincon: Departament of Agriculture/ Agricultural Research Service, 1995.
- WILLHAM, R.L. The covariance between relatives for characters composed of components contributed by related individuals, **Biometrics**, v.35, p.18-27, 1963.
- WINSTON, M.L. **The biology of the honey bee**. London: Harvard University Press, 1987. 281p.
- WOYKE, J. Multiple mating of the honeybee queen (*Apis mellifera* L.) in one nuptial flight. **Bulletin de Academie Polonaise des Sciences**, v.3, p.175-180, 1955.

**V - Estimativas de Componentes de (Co) variância para
Comportamento Higiênico em *Apis mellifera* Africanizadas**

RESUMO - O objetivo deste trabalho foi estimar parâmetros genéticos e fenotípicos considerando o efeito genético de rainha e operárias separadamente sobre o comportamento higiênico em 24h, 48h e 72 horas de colônias de abelhas *Apis mellifera* africanizadas. Foram utilizadas 40 colônias sendo 21 submetidas à produção de mel e 19 a produção de geleia real. A origem materna das rainhas foi controlada, a paterna desconhecida, e nas diferentes épocas foram considerados grupos de operárias diferentes, porém com a mesma mãe. O método de congelamento de crias operculadas foi utilizado. O comportamento higiênico foi determinado por meio da diferença entre o número de alvéolos com cria operculada morta removida em 24h, 48h e 72 horas e o número total de alvéolos operculados em zero hora. Os dados foram submetidos à análise unicaracter e tricaracter por meio da inferência Bayesiana. Em 24h, 48h e 72 horas, as estimativas de herdabilidade direta (0,10; 0,11 e 0,11) foram idênticas às maternas. Em análise tricarater as estimativas de herdabilidade direta e materna foram 0,28; 0,15; 0,24 e 0,23; 0,29; 0,27 em 24h, 48h e 72 horas, respectivamente. As correlações entre os efeitos genéticos e maternos foram -0,12; 0,09 e -0,08 para 24h, 48h e 72 horas. A correlação genética entre 24h e 48 horas foi de 0,49, entre 24h e 72 horas foi 0,40 e para 48h e 72 horas, 0,47. A diferença entre o número de alvéolos limpos em até 24 horas e alvéolos com cria morta operculados em zero hora pode ser usada como critério de seleção.

Palavras-chave: avaliação genética, efeito materno, herdabilidade, inferência Bayesiana, rainhas africanizadas, remoção de cria operculada morta

**V - Estimates of (Co)variances Components
for Hygienic Behavior in Africanized honey bees**

ABSTRACT – The objective of this work was to estimate genetic and phenotypic parameters considering separately the queen's and workers' genetic effect on hygienic behavior at 24, 48 and 72 hours Africanized *Apis mellifera* honeybee colonies. There were used 40 colonies where 21 were submitted to honey production and 19 to royal jelly production. The queen's maternal origin was controlled, the paternal one unknown, and at different times, it was considered different worker groups, but with the same mother. It was used the method of freezing capped brood. The hygienic behavior was determined by the relation between the number of cells with dead capped brood removed at 24, 48 and 72 hours and the total number of capped cells at zero hour. The data were submitted to unicharacter and tricharacter analyses by Bayesian inference. At 24, 48 and 72 hours, the direct heritability estimates (0.10; 0.11 and 0.11) were identical to the maternal ones. In tricharacter analysis, the direct and maternal heritability estimates were 0.28; 0.15; 0.24 and 0.23; 0.29; 0.27 at 24, 48 and 72 hours, respectively. The correlations between genetic and maternal effect were -0.12; 0.09 and -0.08 for 24, 48 and 72 hours. Genetic correlation between 24 and 48 hours was 0.49, between 24 and 72 hours was 0.40 and for 48 and 72 hours, 0.47. Relation between clean cells in up to 24 hours and capped cells at zero hour can be used as selection criterion.

Key-words: genetic evaluation, maternal effect, heritability, Bayesian inference, Africanized queens, removal of dead capped brood

Introdução

O comportamento higiênico é um mecanismo natural de resistência às doenças, Cria Pútrida Americana e Cria Giz (Milne, 1983; Gilliam et al., 1989; Spivak & Gilliam, 1993), caracterizado pela desoperculação e remoção de cria morta, doente ou danificada do favo.

Rothenbühler (1964) realizou o primeiro estudo genético desta característica e concluiu que dois *loci* de genes recessivos, regulam o comportamento higiênico. Estudos subsequentes sugeriram que a remoção de cria morta possa ser controlada por mais do que dois *loci*, talvez três (Moritz, 1988). Posteriormente Gramacho (1999) sugeriu que três *loci* de genes recessivos, controlam o comportamento higiênico. Mais recentemente, Lapidge et al. (2002) encontraram sete *loci* que podem estar envolvidos no controle desse comportamento.

Chevalet & Cournet (1982) sugeriram que o desempenho e comportamento da colônia são resultado da interação entre rainha e operárias e, adaptaram às abelhas o modelo desenvolvido por Willham (1963) que separou as estimativas de herdabilidade para efeito direto e materno.

Milne (1985) afirmou que o comportamento higiênico é influenciado pelo genótipo da rainha, no entanto, assumiu que a contribuição do efeito materno não é de grande importância. Desde então esse efeito para o comportamento higiênico não foi mais estudado, no entanto foi citado por Boecking et al. (2000).

Spivak & Gilliam (1993) afirmaram que esse comportamento é determinado geneticamente, mas nem sempre expresso, pois parece depender de fatores populacionais, do vigor da colônia e de fatores ainda desconhecidos. Rothenbühler (1964) e Lapidge et al. (2002) declararam que o comportamento higiênico é uma característica herdada.

Essa afirmação pode ser em parte elucidada se considerarmos como Bienefeld et al. (2007) que, além de passar metade de seus genes, a rainha oferece contribuição ambiental às suas filhas operárias, por meio da qualidade e quantidade de ovos produzidos e também pela produção de feromônios. Portanto, o genótipo da rainha é quem o determina, pelo menos em parte.

Estudos considerando o efeito de rainha e operárias foram realizados para a produção de mel e cera, fatores comportamentais como agressividade, mansidão e desenvolvimento na primavera, sob condições de acasalamentos controlados em *Apis mellifera carnica* (Bienefeld et al., 1989; Bienefeld & Pirchner, 1990). Aqui como em

outras espécies animais, os autores encontraram correlações genéticas negativas entre o efeito genético direto e materno, ou seja, entre operárias e rainhas.

Mais recentemente, Bienefeld et al. (2007) propuseram a utilização do modelo animal BLUP (Melhor Preditor Linear Não-Viesado) com adaptações para abelhas, considerando os efeitos de rainha e operárias, efeitos ambientais e de parentesco.

No Brasil, estudos dessa magnitude ainda não foram realizados, pois o controle de acasalamentos está vinculado à inseminação instrumental e a um grande número de rainhas inseminadas avaliadas a campo. No entanto, com a estrutura de dados aqui disponível é possível, por meio de metodologia Bayesiana, a obtenção de estimativas diretas e acuradas dos componentes de (co)variância, valores genéticos e intervalos de credibilidade para as características de interesse.

A estimação acurada do valor genético dos indivíduos depende das diferenças genéticas da população, do ambiente, do tipo de análise, do método de estimação dos componentes de (co)variância e, em grande parte, dos efeitos considerados no modelo estatístico utilizado para a avaliação dos animais.

Em função disso, os objetivos desse trabalho foram estimar parâmetros genéticos e fenotípicos, considerando o efeito genético de rainha e operárias separadamente, sobre o comportamento higiênico em 24h, 48h e 72 horas de colônias de abelhas *Apis mellifera* africanizadas e verificar a possibilidade de utilização destas características como critério de seleção.

Material e Métodos

O experimento foi realizado na Fazenda Experimental de Iguatemi da Universidade Estadual de Maringá (FEI-UEM), nos meses de outubro de 2006, abril e agosto de 2007. Foram utilizadas 40 colônias de abelhas *Apis mellifera* africanizadas diferentes, 21 alojadas em colmeias tipo Langstroth com dez favos, submetidas à produção de mel e 19 em sistema de mini-recria (Santos & Message, 1980), submetidas à produção de geleia real.

As colônias receberam rainhas virgens que foram fecundadas naturalmente. Para a produção das rainhas foi utilizado o método de Doolittle (1889), em colônias criadoras de rainhas. A idade das larvas utilizadas foi de até um dia de idade e a retirada das realeiras foi realizada 10 dias após a transferência. A origem materna das rainhas foi controlada e a paterna assumida como desconhecida, uma vez que o acasalamento ocorreu naturalmente no local de realização do experimento.

O ciclo de desenvolvimento de uma operária africanizada é de 20 dias (Nogueira-Couto & Couto, 2006) e sua longevidade média, segundo Terada et al. (1975) para colônias variando entre 37000 e 42000 indivíduos é de 26,3 dias. Portanto, em aproximadamente 45 dias todas as operárias presentes na colônia são filhas da nova rainha. A avaliação do comportamento higiênico foi realizada após esse período, segundo método estabelecido por Rothenbühler (1964), Newton et al. (1975) e revisado por Spivak & Downey (1998).

O teste estabelece o tempo gasto pelas colônias para detectar, desopercular e remover as crias mortas por congelamento (-20°C por 24 horas), de uma secção de favo de 5 x 6 cm (aproximadamente 100 alvéolos de larvas e/ou crias operculadas de cada lado do favo), que tenha sido cortada do ninho da colônia a ser avaliada e determina se a colônia é higiênica ou não-higiênica.

A secção de favo antes de ser devolvida à sua colônia de origem foi descongelada em estufa a temperatura de 34°C e 60% de umidade por quatro horas, para secagem e estabelecimento da mesma temperatura interna da colônia. Posteriormente, foi fotografada e mapeada para a contagem e soma do número de alvéolos com cria operculada, desoperculada e removida, dos dois lados do favo, em zero, 24h, 48h e 72 horas.

As estimativas para comportamento higiênico foram obtidas por meio da seguinte fórmula:

$$CH_x = (TO_{zero\ hora} - AO_x) / TO_{zero\ hora}$$

onde,

CH_x é a relação entre o número de alvéolos que foram limpos e o número total de alvéolos operculados em zero hora, em que x assume 24h, 48h e 72 horas;

$TO_{zero\ hora}$ é o número total de alvéolos operculados em zero hora;

AO_x é o número total de alvéolos operculados em que x assume 24h, 48h e 72 horas.

As operárias que realizam o comportamento higiênico são abelhas de meia-idade, mais novas que as campeiras, em média com 15,2 dias de idade (Arathi et al., 2000). Portanto, a cada 35,2 dias aproximadamente, o grupo de operárias para essa tarefa dentro da mesma colônia muda. Em função disso, para cada época desse experimento foi considerado um grupo diferente de operárias. No entanto, o parentesco entre grupos

é de meio-irmãs, pois a mesma rainha permaneceu nas três épocas. Adicionalmente cada grupo foi tratado como um indivíduo.

Os dados analisados se referem ao comportamento higiênico medido às 24h, 48h e 72 horas em 64 colônias, sendo computados 88 animais na matriz parentesco.

A estimação dos componentes de (co)variância para todas as características de comportamento higiênico em 24h (CH_{24}), 48h (CH_{48}) e 72 (CH_{72}) horas foi realizada por meio do programa MTGSAM (*Multiple Trait Gibbs Sampling in Animal Models*) desenvolvido por Van Tassel & Van Vleck (1995), que procede à estimação Bayesiana por meio do método de amostragem de Gibbs.

Foram realizadas análises unicarater e tricarater, por meio de um modelo que considerou os efeitos fixos de época e tipo de produção, efeitos genéticos diretos de operárias, os efeitos permanente de ambiente e genético materno de rainha.

Foram assumidas pressuposições de que os efeitos fixos têm distribuição uniforme, os efeitos aleatórios distribuição normal e os componentes de (co)variância distribuição de Wishart ou Gama invertidas.

O modelo admitido para a estimação dos componentes de (co)variância e dos parâmetros genéticos para as porcentagens de comportamento higiênico em 24h, 48h e 72 horas, foi:

$$Y = X\beta + Zu + e$$

$$\text{onde, } Z = [Z_1 \quad Z_2 \quad Z_3]; \quad u = \begin{bmatrix} g \\ p \end{bmatrix} \text{ e } g = \begin{bmatrix} a \\ m \end{bmatrix}$$

em que,

Y é o vetor de observações;

X , Z_1 , Z_2 e Z_3 são matrizes de incidência dos efeitos fixos, efeitos genéticos diretos, maternos e permanentes de ambiente, respectivamente;

β , a , m , p e e são os vetores dos efeitos fixos, genéticos diretos, maternos, permanentes de ambiente e resíduos.

A distribuição conjunta dos vetores y , g , m , p e e pode ser descrita como segue:

$$\begin{bmatrix} y \\ u \\ e \end{bmatrix} \sim NMV \left\{ \begin{bmatrix} X\beta \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; \begin{bmatrix} V & Z\Sigma & R \otimes I_n \\ \Sigma Z' & \Sigma & 0 \\ R \otimes I_n & 0 & R \otimes I_n \end{bmatrix} \right\}$$

em que,

$$V = Z \Sigma Z' + R \otimes I_n ; \quad \Sigma = \begin{bmatrix} G \otimes A & 0 \\ 0 & P \otimes I_m \end{bmatrix}$$

$$G = \begin{bmatrix} \sigma^2_{a1} & \sigma_{a1a2} & \sigma_{a1a3} & \sigma_{a1m1} & \sigma_{a1m2} & \sigma_{a1m3} \\ & \sigma^2_{a2} & \sigma_{a2a3} & \sigma_{a2m1} & \sigma_{a2m2} & \sigma_{a2m3} \\ & & \sigma^2_{a3} & \sigma_{a3m1} & \sigma_{a3m2} & \sigma_{a3m3} \\ & & & \sigma^2_{m1} & \sigma_{m1m2} & \sigma_{m1m3} \\ & & & & \sigma^2_{m2} & \sigma_{m2m3} \\ & & & & & \sigma^2_{m3} \end{bmatrix}$$

SIMÉTRICA

$$P = \begin{bmatrix} \sigma^2_{p1} & \sigma_{p1p2} & \sigma_{p1p3} \\ & \sigma^2_{p2} & \sigma_{p2p3} \\ & & \sigma^2_{p3} \end{bmatrix}$$

Simétrica

$$R = \begin{bmatrix} \sigma^2_{e1} & \sigma_{e1e2} & \sigma_{e1e3} \\ & \sigma^2_{e2} & \sigma_{e2e3} \\ & & \sigma^2_{e3} \end{bmatrix}$$

Simétrica

em que,

V é a matriz de variâncias e covariâncias fenotípicas entre as características;

G é a matriz de variâncias e covariâncias genética direta e materna entre as características CH_{24} , CH_{48} e CH_{72} ;

A é a matriz que relaciona os indivíduos geneticamente;

P é a matriz de variâncias e covariâncias dos efeitos permanentes de ambiente;

I_m é a matriz identidade de ordem igual ao número de mães;

R é matriz de (co)variâncias residuais entre as características;

I_n é a matriz identidade de ordem n igual ao número de observações.

Para as análises unicarater, foram geradas cadeias de Gibbs de 8.550.000 iterações para CH_{24} , e de 6.550.000 iterações para CH_{48} e CH_{72} . Em análise tricarater, foram geradas cadeias de Gibbs de 230.000.000 iterações. O descarte inicial foi de 50.000 e o intervalo de amostragem de 1.000 iterações para todas as análises. Foram construídos os intervalos de credibilidade e as regiões de alta densidade para todos os componentes de (co)variância e parâmetros genéticos estimados, ao nível de 90% de credibilidade.

A monitoração da convergência das cadeias foi feita por meio da utilização dos testes de diagnóstico de Heidelberger e Welch, disponíveis na biblioteca CODA (*Convergence Diagnosis and Output Analysis*), implementada no programa R (2007).

Resultados e discussão

A média e desvio padrão para comportamento higiênico em 24h, 48h e 72 horas foram de $0,76 \pm 0,22$; $0,88 \pm 0,17$ e $0,92 \pm 0,15$, respectivamente. De todas as colônias analisadas 15,63%, 23,44% e 12,5% removeram todas as crias operculadas mortas em 24, 48 e 72 horas, respectivamente.

Segundo Spivak & Downey (1998), uma colônia deve ser considerada higiênica se em 48 horas mais de 95% das crias da secção do favo tenham sido removidas em duas repetições do teste; neste caso, 42,19% das colônias se enquadraram nesta condição.

Houve indicação de convergência para todas as cadeias por meio da utilização dos testes de diagnóstico para as análises unicarater e tricarater.

Na Tabela 1, são apresentadas as estimativas de variância genética direta e materna, permanente de ambiente, residual, fenotípica, herdabilidades direta e materna, e a correlação genética entre os efeitos direto e materno, em análise unicarater, para comportamento higiênico em 24h, 48h e 72 horas.

As estimativas dos componentes de (co)variância foram precisas, com distribuições posteriores simétricas, pois apresentaram intervalos de credibilidade com pequenas amplitudes e regiões de alta densidade (RAD) iguais ou muito próximas aos intervalos de credibilidade. Segundo Casella & George (1992), o intervalo de credibilidade pode ser definido pela RAD posterior do parâmetro quando a distribuição for simétrica. A RAD é a região que contém $(1 - \alpha)100\%$ da probabilidade posterior, em que α é o nível de significância.

De maneira geral, as estimativas em CH_{24} , CH_{48} e CH_{72} foram muito similares. Os valores das estimativas de variância aditiva direta, materna, permanente de ambiente, residuais e fenotípicas indicaram variabilidade.

As estimativas de herdabilidade direta e materna foram iguais e de baixa magnitude, 0,10 (CH_{24}) e 0,11 (CH_{48} e CH_{72}), respectivamente. Isto indica que a influência da rainha e das operárias, nos três momentos, foi similar e que o ambiente teve maior influência. Gonçalves & Kerr, desde 1970, definem esse comportamento como altamente influenciado pelo ambiente.

Os valores de herdabilidade direta estão próximos aos encontrados por Milne (1985), que estimou 0,14 para desoperculação e 0,02 para remoção de cria operculada morta.

As estimativas de covariância entre o efeito genético direto e materno apresentaram médias iguais de -0,001 e intervalos de credibilidade e RAD para CH_{24} , CH_{48} e CH_{72} de (-0,006 a 0,004) e (-0,006 a 0,004), (-0,004 a 0,002) e (-0,004 a 0,002), (-0,004 a 0,002) e (-0,003 a 0,002), respectivamente.

Tabela 1 – Estimativas de variância genética direta (σ_a^2), materna (σ_m^2), permanente de ambiente (σ_p^2), residual (σ_e^2), fenotípica (σ_y^2), herdabilidade direta (h_a^2), herdabilidade materna (h_m^2) e correlação genética entre os efeitos direto e materno (rg_{am}) com seus respectivos intervalos de credibilidade e região de alta densidade, ao nível de 90%, em análise unicarater para comportamento higiênico em 24h (CH_{24}), 48h (CH_{48}) e 72 (CH_{72}) horas em abelhas africanizadas

Caract.	Estimativas							
	σ_a^2	σ_m^2	σ_p^2	σ_e^2	σ_y^2	h_a^2	h_m^2	rg_{am}
CH_{24}	0,006	0,006	0,006	0,05	0,064	0,10	0,10	-0,09
	(0,01 - 0,02)*	(0,01 - 0,01)	(0,01 - 0,01)	(0,03 - 0,06)	(0,05 - 0,08)	(0,03 - 0,24)	(0,03 - 0,19)	(-0,68 - 0,53)
	(0,01 - 0,01)**	(0,01 - 0,01)	(0,01 - 0,01)	(0,03 - 0,06)	(0,05 - 0,08)	(0,03 - 0,19)	(0,03 - 0,16)	(-0,68 - 0,53)
CH_{48}	0,004	0,004	0,004	0,03	0,04	0,11	0,11	-0,10
	(0,01 - 0,01)	(0,002 - 0,01)	(0,002 - 0,01)	(0,02 - 0,04)	(0,03 - 0,06)	(0,04 - 0,23)	(0,04 - 0,22)	(-0,63 - 0,47)
	(0,01 - 0,01)	(0,002 - 0,01)	(0,01 - 0,01)	(0,02 - 0,04)	(0,03 - 0,06)	(0,03 - 0,20)	(0,01 - 0,11)	(-0,67 - 0,44)
CH_{72}	0,004	0,004	0,004	0,02	0,04	0,11	0,11	-0,09
	(0,002 - 0,009)	(0,002 - 0,01)	(0,001 - 0,01)	(0,02 - 0,04)	(0,03 - 0,05)	(0,04 - 0,22)	(0,05 - 0,22)	(-0,61 - 0,46)
	(0,002 - 0,008)	(0,002 - 0,01)	(0,001 - 0,01)	(0,02 - 0,03)	(0,03 - 0,05)	(0,03 - 0,19)	(0,03 - 0,19)	(-0,62 - 0,44)

* Intervalo de credibilidade ao nível de 90%

** Região de alta densidade ao nível de 90%

Em função disso, na Tabela 1, pode-se observar a correlação negativa entre o efeito genético direto e materno. Os intervalos de credibilidade foram amplos, caracterizando estimativas pouco precisas, porém, com distribuições posteriores simétricas. Segundo Bienefeld & Pirchner (1990), a exemplo do que ocorre em outras espécies, a correlação negativa é verificada também em abelhas.

Na Tabela 2, são apresentadas as estimativas de (co)variância genética direta e materna obtidas em análise tricarater, para CH_{24} , CH_{48} e CH_{72} .

Tabela 2 – Estimativas dos componentes de (co)variância genética aditiva direta e materna com seus respectivos intervalos de credibilidade e regiões de alta densidade, ao nível de 90%, em análise tricarater para comportamento higiênico em 24h (CH_{24}), 48h (CH_{48}) e 72 (CH_{72}) horas em abelhas africanizadas

Componentes*	Estimativas	Intervalo de credibilidade	Região de alta densidade
σ_{a1}^2	0,03	0,01 – 0,05	0,01 – 0,04
σ_{a1a2}	0,01	0,002 – 0,03	0,0004 – 0,02
σ_{a1a3}	0,01	0,0005 – 0,02	-0,001 – 0,02
σ_{a1m1}	-0,003	-0,02 – 0,01	-0,02 – 0,01
σ_{a1m2}	0,003	-0,02 – 0,03	-0,02 – 0,03
σ_{a1m3}	-0,0003	-0,01 – 0,01	-0,01 – 0,01
σ_{a2}^2	0,02	0,01 – 0,04	0,01 – 0,03
σ_{a2a3}	0,01	0,002 – 0,02	0,001 – 0,02
σ_{a2m1}	-0,001	-0,01 – 0,01	-0,01 – 0,01
σ_{a2m2}	0,003	-0,02 – 0,03	-0,02 – 0,02
σ_{a2m3}	-0,001	-0,01 – 0,01	-0,01 – 0,01
σ_{a3}^2	0,02	0,01 – 0,03	0,01 – 0,03
σ_{a3m1}	-0,001	-0,01 – 0,01	-0,01 – 0,01
σ_{a3m2}	0,003	-0,01 – 0,02	-0,01 – 0,02
σ_{a3m3}	-0,002	-0,01 – 0,01	-0,01 – 0,01
σ_{m1}^2	0,02	0,01 – 0,04	0,01 – 0,04
σ_{m1m2}	0,002	-0,01 – 0,02	-0,01 – 0,02
σ_{m1m3}	0,004	-0,01 – 0,01	-0,01 – 0,02
σ_{m2}^2	0,05	0,02 – 0,12	0,01 – 0,10
σ_{m2m3}	0,002	-0,02 – 0,02	-0,01 – 0,02
σ_{m3}^2	0,02	0,01 – 0,04	0,01 – 0,03

*Para todas as estimativas, a e m , representam os efeitos genéticos diretos e maternos, respectivamente; e, os índices 1, 2 e 3, o comportamento higiênico em CH_{24} , CH_{48} e CH_{72} , respectivamente. As variâncias são caracterizadas por m ou a , com o mesmo índice, o restante caracteriza as covariâncias.

De maneira geral, todas as estimativas foram precisas com distribuição posterior simétrica. As estimativas de variância genética direta e materna estiveram entre 0,02

(CH_{48} e CH_{72}) a 0,03 (CH_{24}) e 0,02 (CH_{24} e CH_{72}) a 0,05 (CH_{48}), respectivamente, sendo maiores que as encontradas em análise unicarater.

As covariâncias entre os efeitos genético direto e materno assumiram valores negativos, exceto quando o efeito genético materno em CH_{48} foi associado aos efeitos genéticos diretos de CH_{24} , CH_{48} e CH_{72} . Os valores negativos retrataram o antagonismo entre os efeitos genéticos diretos e maternos.

As rainhas das colônias testadas para comportamento higiênico foram as mesmas durante as três épocas, portanto, seu efeito no modelo, além de genético materno é também permanente de ambiente.

Na Tabela 3, são apresentadas as estimativas de (co)variância permanente de ambiente em CH_{24} , CH_{48} e CH_{72} .

Tabela 3 – Estimativas de componentes de (co)variância permanente de ambiente (σ_i^2) e seus respectivos intervalos de credibilidade e regiões de alta densidade, ao nível de 90%, em análise tricarater para porcentagem de remoção de cria operculada morta em 24h (CH_{24}), 48h (CH_{48}) e 72 (CH_{72}) horas em africanizadas

Características	Estimativas		
	CH_{24}	CH_{48}	CH_{72}
CH_{24}	0,03 (0,01 - 0,05)* (0,01 - 0,04)**		
CH_{48}	0,0003 (-0,02 - 0,03) (-0,02 - 0,03)	0,08 (0,02 - 0,23) (0,01 - 0,16)	
CH_{72}	0,004 (-0,001 - 0,02) (-0,007 - 0,01)	0,0003 (-0,02 - 0,02) (-0,02 - 0,02)	0,02 (0,01 - 0,03) (0,01 - 0,03)

* Intervalo de credibilidade ao nível de 90%

** Região de alta densidade ao nível de 90%

As estimativas de variância do efeito permanente de ambiente foram maiores na análise tricarater do que as encontradas em análise unicarater. Foram, também, precisas com distribuição posterior simétrica para CH_{24} e CH_{72} ; CH_{48} apresentou a maior estimativa com o intervalo de credibilidade menos preciso. As estimativas para covariância entre os efeitos permanentes de ambiente apresentaram intervalos de credibilidade amplos, porém com distribuição posterior simétrica.

Na Tabela 4, são apresentados os componentes (co)variância residual.

As estimativas de variância residual assumiram valores de 0,02 (CH_{48} e CH_{72}) e 0,03 (CH_{24}), as de covariância residual de 0,01 e 0,02. Todas as estimativas foram

precisas com distribuição posterior simétrica. Na análise unicarater, essas estimativas foram maiores.

Tabela 4 - Componentes de (co)variância residual (σ_e^2) e seus respectivos intervalos de credibilidade e regiões de alta densidade, ao nível de 90%, em análise tricarater para porcentagem de remoção de cria operculada morta em 24h (CH_{24}), 48h (CH_{48}) e 72 (CH_{72}) horas em abelhas africanizadas

Características	Estimativas		
	CH_{24}	CH_{48}	CH_{72}
CH_{24}	0,03 (0,02 - 0,05)* (0,02 - 0,05)**		
CH_{48}	0,02 (0,01 - 0,03) (0,01 - 0,03)	0,02 (0,01 - 0,04) (0,01 - 0,04)	
CH_{72}	0,01 (0,01 - 0,02) (0,01 - 0,02)	0,01 (0,01 - 0,02) (0,01 - 0,02)	0,02 (0,01 - 0,03) (0,01 - 0,03)

* Intervalo de credibilidade ao nível de 90%

** Região de alta densidade ao nível de 90%

Na Tabela 5, as estimativas de variância fenotípica, que representa a porção aleatória do modelo em estudo variaram entre 0,08 e 0,19. As estimativas apresentaram maior precisão em CH_{24} e CH_{72} ; novamente, a estimativa envolvendo o comportamento higiênico às 48 horas, foi maior e menos precisa.

Tabela 5 - Componentes de (co)variância fenotípica (σ_y^2) e seus respectivos intervalos de credibilidade e regiões de alta densidade, ao nível de 90%, em análise tricarater para porcentagem de remoção de cria operculada morta em 24h (CH_{24}), 48h (CH_{48}) e 72 (CH_{72}) horas em abelhas africanizadas

Características	Estimativas		
	CH_{24}	CH_{48}	CH_{72}
CH_{24}	0,11 (0,08 - 0,14)* (0,08 - 0,14)**		
CH_{48}	0,03 (-0,01 - 0,08) (-0,005 - 0,07)	0,19 (0,10 - 0,36) (0,10 - 0,29)	
CH_{72}	0,03 (0,01 - 0,05) (0,006 - 0,05)	0,02 (-0,01 - 0,05) (-0,01 - 0,05)	0,08 (0,06 - 0,10) (0,06 - 0,10)

* Intervalo de credibilidade ao nível de 90%

** Região de alta densidade ao nível de 90%

Observou-se que o somatório dos efeitos genético e ambiental da rainha sobre o CH_{24} , CH_{48} e CH_{72} , foi responsável por 45,5%, 68,4% e 50,0% da variação fenotípica, respectivamente. Separando esses efeitos, a contribuição do efeito materno para a variância fenotípica foi de 18,2%, 26,3% e 25,0% e a permanente de ambiente foi

27,3%, 42,1% e 25,0%, respectivamente em CH_{24} , CH_{48} e CH_{72} . As operárias contribuíram para variância fenotípica das características com 27,3, 10,5 e 25,0%, respectivamente.

As estimativas para variância genética aditiva, genética materna, permanente de ambiente e fenotípica em análise tricarater, de maneira geral, foram maiores e as residuais menores do que as encontradas em análise unicarater. Isso resulta do aumento do número de informações consideradas na análise tricarater.

O direcionamento para a escolha da análise tricarater ao invés da unicarater, deve então, ser baseada nas estimativas de herdabilidade e correlações entre as características. Portanto, na Tabela 6, são apresentadas as estimativas de herdabilidade direta, correlação genética e fenotípica, herdabilidade materna e correlação entre o efeito direto e materno para análise tricarater.

De maneira geral todas as estimativas foram precisas com distribuição posterior simétrica. As estimativas para herdabilidade direta e materna para CH_{24} , CH_{48} e CH_{72} foram maiores do que as encontradas em análise unicarater. Isso demonstra que a análise tricarater contribuiu para resgatar uma maior proporção da variância genética aditiva.

As estimativas de herdabilidade direta para CH_{24} (0,28), CH_{48} (0,15) e CH_{72} (0,24) foram inferiores a encontrada por Harbo & Harris (1999) de 0,65 em 24 horas. Estes mesmos autores sugerem que herdabilidades maiores que 0,25 indicam potencial de seleção. Boecking et al. (2000) encontraram estimativa de herdabilidade de 0,36 por meio da remoção de cria operculada perfurada entre 13h e 15 horas.

Em ordem decrescente, a correlação genética entre CH_{24} e CH_{48} apresentou o maior valor (0,49), seguida de CH_{48} e CH_{72} (0,47) e CH_{24} e CH_{72} (0,40). As correlações fenotípicas foram menores que as genéticas: 0,26 (CH_{24} e CH_{48}), 0,31 (CH_{24} e CH_{72}) e 0,20 (CH_{48} e CH_{72}). Boecking et al. (2000) encontraram correlação genética de 0,61 e fenotípica de 0,11 entre infestação de *Varroa destructor* e remoção de cria operculada morta.

É notável que as estimativas de herdabilidade genética materna obtidas nesse estudo para CH_{24} (0,23), CH_{48} (0,29) e CH_{72} (0,27) indicam a possibilidade de selecionar este efeito em comportamento higiênico de abelhas africanizadas, principalmente em CH_{48} . A influência da rainha sobre o comportamento higiênico foi marcante nos três momentos. Objetivamente este efeito traduz a capacidade da rainha produzir maior ou menor número de operárias e possivelmente alguma influência por foromônios.

As correlações genéticas entre os efeitos aditivos diretos e maternos foram iguais a -0,12 (CH_{24}), 0,09 (CH_{48}) e -0,08 (CH_{72}) indicando que para CH_{24} e CH_{72} , a seleção visando a melhoria dos efeitos aditivos diretos não afetará os genéticos maternos.

Pode-se perceber que em CH_{48} , a maior herdabilidade materna resultou em menor herdabilidade direta, indicando como nas Tabelas 3 e 5, a contribuição ambiental da rainha para o comportamento higiênico às 48 horas.

A maior estimativa de herdabilidade foi para CH_{24} (0,28) e a maior correlação genética foi para CH_{24} e CH_{48} (0,49), portanto as colônias que removerem todas as crias mortas até 24 horas podem remover mais crias em 48h e 72 horas. A campo, uma observação às 24 horas identifica as colônias higiênicas. Arathi et al. (2006) trabalharam com colônias selecionadas e não-selecionadas para comportamento higiênico e verificaram que as higiênicas removem as crias mortas mais rapidamente.

Tabela 6 - Estimativas de herdabilidade direta (h^2_a), materna (h^2_m), correlações genéticas (rg) e correlações fenotípicas (ry) e respectivos intervalos de credibilidade e regiões de alta densidade ao nível de 90%, em análise tricarater, para comportamento higiênico em 24h (CH_{24}), 48h (CH_{48}) e 72 (CH_{72}) horas em abelhas africanizadas

Variáveis*	Estimativas	Intervalo de credibilidade	Região de alta densidade
h^2_{a1}	0,28	0,13 – 0,46	0,12 – 0,44
h^2_{a2}	0,15	0,05 – 0,28	0,04 – 0,25
h^2_{a3}	0,24	0,13 – 0,38	0,12 – 0,36
h^2_{m1}	0,23	0,12 – 0,39	0,11 – 0,35
h^2_{m2}	0,29	0,10 – 0,56	0,07 – 0,51
h^2_{m3}	0,27	0,16 – 0,42	0,14 – 0,40
$rg_{1,2}$	0,49	0,13 – 0,76	0,19 – 0,80
$rg_{1,3}$	0,40	-0,08 - 0,88	0,08 – 0,72
$rg_{2,3}$	0,47	0,14 – 0,73	0,19 – 0,77
$ry_{1,2}$	0,26	-0,02 – 0,50	-0,0003 – 0,52
$ry_{1,3}$	0,31	0,09 – 0,51	0,11 – 0,52
$ry_{2,3}$	0,20	-0,07 – 0,44	-0,05 – 0,46
rg_{a1m1}	-0,12	-0,55 – 0,34	-0,57 – 0,33
rg_{a2m2}	0,09	-0,44 – 0,59	-0,42 – 0,61
rg_{a3m3}	-0,08	-0,46 – 0,32	-0,47 – 0,31

*Para todas as estimativas, a e m , representam os efeitos genéticos diretos e maternos, respectivamente; e, os índices 1, 2 e 3, o comportamento higiênico em CH_{24} , CH_{48} e CH_{72} , respectivamente; as herdabilidades são representadas por h^2 , correlações genéticas e fenotípicas por rg e ry , respectivamente.

De maneira geral, as estimativas indicaram que o comportamento higiênico sofre influência da rainha durante 24h, 48h e 72 horas. A quantificação dos efeitos aditivo direto e materno dentro do modelo proposto, na população disponível para estudo, foi

satisfatória e auxiliou na identificação de efeitos nunca antes tratados em abelhas *Apis mellifera* africanizadas.

No entanto, estudos adicionais devem ser realizados envolvendo maior número de informações geneticamente relacionadas, avaliando de forma mais acurada os efeitos genéticos direto e materno para o comportamento higiênico de abelhas africanizadas.

Conclusões

A diferença relativa entre o número de alvéolos de cria morta operculada limpos em até 24 horas e alvéolos com cria morta operculados em zero hora pode ser utilizada como critério de seleção para o comportamento higiênico.

Literatura Citada

- ADAMS, J.E.; ROTHMAN, E.D.; KERR, W.E. et al. Estimation of the number of sex alleles and queen matings diploid male frequencies in a population of *Apis mellifera*. **Genetics**, v.86, p.583-596, 1977.
- ARATHI, H.S.; BURNS, I; SPIVAK, M. Ethology of hygienic behaviour in honey bee *Apis mellifera* L. (Hymenoptera: Apidae): behavioural repertoire of hygienic bees. **Ethology**, v.106, p.365-379, 2000.
- ARATHI, H.S.; HO, G.; SPIVAK, M. Inefficient task partitioning among nonhygienic honeybees, *Apis mellifera* L., and implications for disease transmission. **Animal Behaviour**, v.72, p.431-438, 2006.
- BIENEFELD, K.; EHRHARDT, K.; REINHARDT, F. Genetic evaluation in the honey bee considering queen and worker effects – A BLUP-Animal Model approach. **Apidologie**, v.38, p.77-85, 2007.
- BIENEFELD, K.; PIRCHNER, F. Heritabilities for several colony traits in the honeybee (*Apis mellifera carnica*). **Apidologie**, v.21, p.175-183, 1990.
- BIENEFELD, K.; REINHARDT, F.; PIRCHNER, F. Inbreeding effects of queen and workers on colony traits in the honeybee. **Apidologie**, v.20, p.439-450, 1989.
- BOECKING, O.; BIENEFELD, K.; DRESCHER, W. Heritability of the varroa-specific hygienic behavior in honey bees (Hymenoptera: Apidae). **Journal of Animal Breeding and Genetics**, v.117, p.417- 424, 2000.
- DOOLITTLE, G.M. **Scientific Queen-Rearing as practically applied**. Chicago: Ills, 1889. 163p.
- CASELLA, G.; GEORGE, E. Explaining the Gibbs Sampler. **The American Statistical**, v.46, p.167-174, 1992.
- CHEVALET, C.; CORNUET, J.M. Étude théorique sur la selection du caractère production de miel" chez l'abeille. I. Modèle génétique et statistique. **Apidologie**, v.13, p.39-65, 1982.
- GILLIAM, M.; TABER, S.; LORENZ, B.G.J. et al. Hygienic honey bees and antagonistic normal microflora for control of chalkbrood disease. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE APICULTURA, 32, 1989, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Apimondia, 1989. p.227.
- GONÇALVES, L.S.; KERR, W.E. Genética, Seleção e Melhoramento. 1. Noções sobre genética e melhoramento em abelhas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE APICULTURA, 1, 1970, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: CBA, 1970. p.8-36.
- GRAMACHO, K.P. **Fatores que interferem no comportamento higiênico das abelhas *Apis mellifera***. Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto

- FRCLRP, 1999. 225p. Tese (Doutorado em Ciências: Entomologia) - Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto, 1999.
- HARBO J.R.; HARRIS, J.W. Heritability in honey bees (Hymenoptera: Apidae) of characteristics associated with resistance to *Varroa jacobsoni* (Mesostigmata: Varroidae). **Journal of Economic Entomology**, v.92, n.2, p.261-265, 1999.
- LAPIDGE, K.L.; OLDROYD, B.P.; SPIVAK, M. Seven suggestive quantitative loci influence hygienic behavior of honey bees. **Naturwissenschaften**, v.89, p.565-568, 2002.
- MILNE, C.P. Estimates of heritabilities of and genetic correlation between two components of honey bee (Hymenoptera: Apidae) hygienic behavior: uncapping and removing. **Annals of the Entomological Society of America**, n.78, p.841-844, 1985.
- MILNE, C.P. Honey bee (Hymenoptera: Apidae) hygienic behaviour and resistance to chalkbrood. **Annals of the Entomological Society of America**, n.76, p.384-387, 1983.
- MORITZ, R.F.A. A re-evaluation of the two locus model for hygienic behaviour in honeybees (*Apis mellifera* L.). **Journal of Heredity**, v.79, p.257-262, 1988.
- NEWTON D.C.; CANTOWELL, G.C.; BOURQUIN, E.P. Removal of freeze-killed brood as an index of nest cleaning behavior in honeybee colonies (*Apis mellifera* L.). **American Bee Journal**, v.115, p.388-406, 1975.
- NOGUEIRA-COUTO, R.H.; COUTO, L.A. **Apicultura: Manejo e Produtos**. 3.ed. Jaboticabal: FUNEP, 2006. 193p.
- ROTHENBÜHLER, W.C. Behavior genetics of nest cleaning in honey bees. IV. Responses of F1 and backcross generations to disease-killed brood. **American Zoology**, v.4, p.111-123, 1964.
- R Development Core Team (2007). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.
- SANTOS, J.J.; MESSAGE, D. Utilização de mini-recrias para a produção de geléia real. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE APICULTURA, 5, 1980, Viçosa. **Anais...** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1980. p.307-311.
- SPIVAK, M.; DOWNEY, D.L. Field assays for hygienic behavior in honey bees (Hymenoptera: Apidae). **Journal of Economic Entomology**, v.91, n.1, p.64-70, 1998.
- SPIVAK, M.; GILLIAM, M. Facultative expression of hygienic behaviour of honey bees in relation to disease resistance. **Journal of Apicultural Research**, v.32, n.3, p.147-157, 1993.
- TERADA, Y.; GARÓFALO, C.A.; SAKAGAMI, S.F. Age-survival curves for workers of two eusocial bees (*Apis mellifera* and *Plebeia droryana*) in a subtropical climate, with notes on worker polyethism in *Plebeia droryana*. **Journal of Apicultural Research**, v.14, n.3/4, p.161-170, 1975.
- VAN TASSEL, C.P.; VAN VLECK, L.D. **A manual for use of MTGSAM. A set of fortran programs to apply gibbs sampling to animal models for variance component estimation**. (DRAFT) Lincon: Department of Agriculture/ Agricultural Research Service, 1995.
- WILLHAM, R.L. The covariance between relatives for characters composed contributed by related individuals. **Biometrics**, v.19, p.18-27, 1963.

VI – CONCLUSÕES GERAIS

Os parâmetros genéticos e fenotípicos para produção de mel com peso, características morfométricas de asa, abdome e tórax devem ser estimados em populações de abelhas, considerando o efeito genético materno de rainha. O peso à emergência e o comprimento do abdome de rainhas africanizadas podem ser utilizados como critério de seleção.

As estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos considerando o efeito genético materno para comportamento higiênico indicaram que a diferença relativa entre o número de alvéolos limpos em até 24 horas e alvéolos com cria morta operculados em zero hora pode ser utilizada como critério de seleção.

VII – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar da metodologia empregada no trabalho ser adequada a pequenas amostras, a magnitude dos intervalos de credibilidade e a não-convergência de algumas cadeias apontam para a necessidade da continuidade desse estudo com amostras maiores, com maior número de gerações e com conhecimento da genealogia paterna, por meio do uso da inseminação instrumental. Além disso, é importante a condução de experimentos de seleção para corroborar as conclusões do presente trabalho.