

15º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2024

ESTUDO DA CORRELAÇÃO ENTRE ESPECIALIZAÇÃO E PLASTICIDADE FENOTÍPICA EM REBANHOS BOVINOS SIMULADOS SOB SELEÇÃO

JOSÉ MATHEUS L. DE MEDEIROS¹, LUIZ FELIPPE CASTRO NETO², NEWTON T. PEGOLO³

¹Graduando em Engenharia de Biossistemas, Bolsista CNPq, IFSP, Câmpus Avaré, jose.medeiros@aluno.ifsp.edu.br

²Graduando em Engenharia de Biossistemas, Bolsista PIBIFSP, IFSP, Câmpus Avaré, felippe.castro@aluno.ifsp.edu.br

³Orientador Docente em Engenharia de Biossistemas, IFSP, Câmpus Avaré, newton.pegolo@ifsp.edu.br

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 5.04.02.00-5 Genética e Melhoramento dos Animais Domésticos.

RESUMO: A Modelagem Baseada em Agentes, implementada na plataforma NetLogo, foi empregada para simular a evolução de populações bovinas divididas em dois grupos de machos e fêmeas, ao longo de 100 gerações. Os ambientes foram categorizados como desfavorável, intermediário e favorável. O objetivo deste estudo foi analisar a correlação entre especialização e plasticidade fenotípica em rebanhos bovinos sob diferentes intensidades de seleção, utilizando simulações computacionais. A matriz de (co)variância genética inicial foi estimada a partir de dados fenotípicos reais de bovinos Nelore. Os resultados indicaram que, em ambientes extremos, o módulo da correlação entre valor genético e plasticidade fenotípica, avaliada por meio do coeficiente de inclinação da norma de reação, teve valores mais elevados, enquanto que em ambientes intermediários, a seleção favoreceu a robustez fenotípica, com menor ganho genético, mantendo a correlação ao redor de 0. Verificou-se que os valores absolutos dos valores genéticos e dos coeficientes de inclinação da norma foram mais importantes do que a correlação entre eles, de onde se pode concluir que o agrupamento em classes de robustez e ganho genético constituem estratégias mais adequadas para os programas de seleção com objetivos de mitigação em relação às mudanças climáticas.

PALAVRAS-CHAVE: simulação computacional; evolução de populações; variabilidade ambiental; seleção; bovinos; sustentabilidade.

STUDY OF THE CORRELATION BETWEEN SPECIALIZATION AND PHENOTYPIC PLASTICITY IN SIMULATED CATTLE HERDS UNDER SELECTION

ABSTRACT: Agent-Based Modeling, implemented on the NetLogo platform, was employed to simulate the evolution of cattle populations divided into two groups of males and females over 100 generations. The environments were categorized as unfavorable, intermediate, and favorable. The aim of this study was to analyze the correlation between specialization and phenotypic plasticity in cattle herds under different selection intensities, using computational simulations. The initial genetic (co)variance matrix was estimated from real phenotypic data of Nelore cattle. The results indicated that in extreme environments, the magnitude of the correlation between genetic value and phenotypic

plasticity, evaluated through the slope coefficient of the reaction norm, showed higher values, whereas in intermediate environments, selection favored phenotypic robustness, with lower genetic gain, maintaining the correlation around 0. It was found that the absolute values of genetic values and the slope coefficients of the norm were more important than the correlation between them, leading to the conclusion that grouping into classes of robustness and genetic gain constitutes more appropriate strategies for selection programs aimed at mitigating the effects of climate change.

KEYWORDS: computational simulation; population evolution; environmental variability; selection; cattle; sustainability.

INTRODUÇÃO

Sistemas biológicos evolutivos são exemplos de sistemas complexos adaptativos, caracterizados pela interação entre fatores ambientais e genéticos, gerando comportamentos emergentes (Kauffman, 1980; Hugot, 2018). A Teoria da Complexidade estuda esses sistemas, focando na auto-organização e nas propriedades macroscópicas resultantes da interação entre componentes (Johnston, 2009; Sornette, 2012). No melhoramento genético de animais domésticos, a predição de valores genéticos é comum para selecionar indivíduos com potencial produtivo superior. No entanto, a interação genótipo-ambiente (IGA) afeta significativamente essa seleção (Araújo Neto et al., 2018), ocorrendo quando diferentes genótipos respondem de forma distinta às mudanças ambientais (Kolmodin et al., 2003). Modelos de norma de reação adaptativa, que consideram valores genéticos como função do ambiente, têm sido aplicados com sucesso em bovinos (De Jong; Bijma, 2002; Kirkpatrick; Heckman, 1989).

A heterogeneidade ambiental influencia diretamente a plasticidade fenotípica e a diferenciação genética adaptativa, permitindo a maximização da aptidão em ambientes variados (Baythavong, 2012; Lind; Johansson, 2007). Considerando a complexidade dessas interações, a Modelagem Baseada em Agentes, especialmente através da plataforma NetLogo, é eficaz para simular o comportamento das populações sob diferentes pressões ambientais e de seleção (Mitchell, 2009). Este estudo buscou comparar estimativas de correlação e covariância entre valores genéticos das normas de reação lineares e a plasticidade fenotípica, simulando a evolução de rebanhos em diferentes ambientes e pressões de seleção, verificando a viabilidade de se desenvolver estratégias de melhoramento genético que assegurem a adaptabilidade e produtividade dos rebanhos a longo prazo (Freitas et al., 2021; Pereira et al., 2018).

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizadas simulações computacionais através da Modelagem Baseada em Agentes por meio de software desenvolvido na plataforma NetLogo (Wilensky, 1999). Os dados iniciais foram fornecidos pelo Programa de Melhoramento Genético de Zebuínos (PMGZ) da Associação Brasileira de Criadores de Zebu (ABCZ) relativos a bovinos da raça Nelore, incluindo pesos ajustados aos 450 dias, separados por sexo e distribuídos em grupos de contemporâneos (GC). A matriz de coeficientes de (co)variância genética (G) foi estimada com base nos valores fenotípicos desses grupos, conforme detalhado na Tabela 1. A metodologia seguiu a abordagem descrita por Pegolo et al. (2011), adaptada para modelo animal e utilizando polinômios de Legendre para regressão aleatória.

Tabela 1: Valores dos parâmetros de entrada para a matriz de coeficientes da função de covariância (G) das simulações, baseados nos valores estimados dos rebanhos Nelore brasileiros.

Parâmetro	Valor
InitialAm_VAR	554,89
AmAf_COVAR_Initial	463,39
AmBm_COVAR_Initial	60,520
AmBf_COVAR_Initial	2,8214
InitialAf_VAR	462,15
AfBm_COVAR_Initial	43,976
AfBf_COVAR_Initial	10,066
InitialBm_VAR	25,452
BmBf_COVAR_Initial	19,763
InitialBf_VAR	30,013

A simulação modelou uma população subdividida em duas subpopulações em ambientes independentes: desfavorável (DES), intermediário (INT) e favorável (FAV). Cada subpopulação continha grupos de machos e fêmeas que se reproduziram aleatoriamente ao longo de 100 gerações, com intensidades de seleção variando entre controle (0% de seleção), seleção moderada (10% em machos e fêmeas), e seleção intensa (80% em machos e 10% em fêmeas). As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software R (R Core Team, 2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das simulações, apresentados na Tabela 2 e nas Figuras 1 e 2, revelaram padrões distintos de correlação entre o valor genético e o coeficiente de inclinação das normas de reação nos diferentes ambientes. Em ambientes desfavoráveis, as correlações foram negativas e intensificaram-se com o aumento da seleção, especialmente em fêmeas. Em contraste, em ambientes favoráveis, as correlações foram positivas, sendo mais acentuadas em machos.

Tabela 2: Correlações entre os valores obtidos para o valor genético (U_{expr}) e os coeficientes de inclinação das normas de reação para machos e fêmeas ($CoeffBm$ e $CoeffBf$, respectivamente) após simulações de 100 gerações de seleção em ambientes desfavoráveis (DES), intermediários (INT) e favoráveis (FAV), com intensidades de seleção (SI) de 0 e 0 (0000), 10% e 10% (1010), e 80% e 10% (8010), respectivamente para machos e fêmeas em cada simulação.

SI	Ambiente					
	DES	INT	FAV	DES	INT	FAV
	Fêmeas			Machos		
0000	-0,34	0,06	0,45	-0,06	0,33	0,59
1010	-0,58	0,06	0,62	-0,36	0,32	0,70
8010	-0,54	-0,06	0,73	-0,46	0,34	0,60

Observou-se que os valores de correlação entre o valor genético e o coeficiente de inclinação da norma de reação em ambientes desfavoráveis foram sempre negativos, ficando cada vez menores com o aumento da intensidade de seleção, tanto para coeficientes de machos quanto para coeficientes de

fêmeas. A correlação negativa é mais intensa com coeficientes de fêmeas do que em coeficientes de machos.

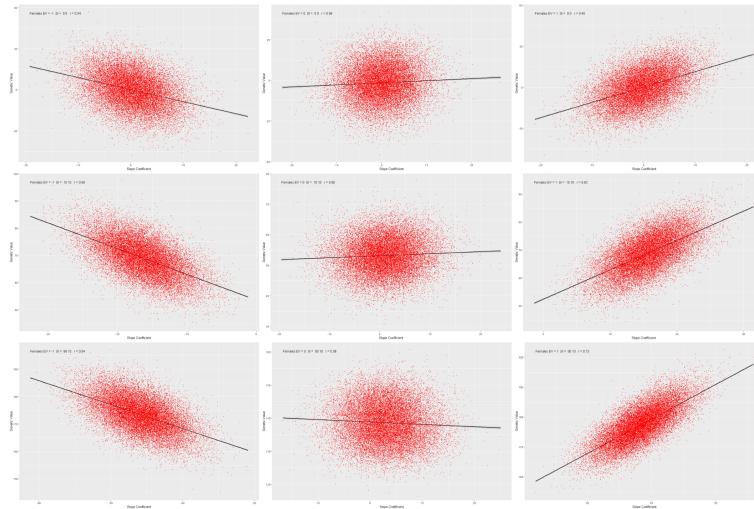


Figura 1: Gráficos de dispersão dos valores obtidos para o valor genético U_{expr} e os coeficientes de inclinação das normas de reação para fêmeas (ABS_CoeffBf), com intensidade de seleção 0000 (alto), 1010 (meio) e 8010 (abaixo), em ambiente desfavorável (esquerda), intermediário (meio) e favorável (direita).

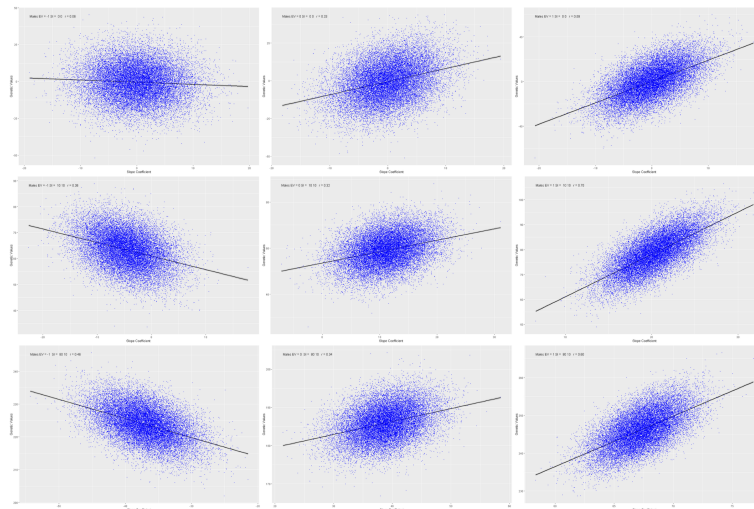


Figura 2: Gráficos de dispersão dos valores obtidos para o valor genético U_{expr} e os coeficientes de inclinação das normas de reação para machos (ABS_CoeffBm) com intensidade de seleção 0000 (alto), 1010 (meio) e 8010 (abaixo), de seleção em ambiente desfavorável (esquerda), intermediário (meio) e favorável (direita).

Nos ambientes intermediários, as correlações se mantiveram baixas e constantes, sugerindo que a seleção nesses ambientes favorece a manutenção da robustez ambiental, mas com menores ganhos genéticos. A Figura 3 ilustra o posicionamento das populações selecionadas em gráficos de valor genético em função dos coeficientes de inclinação das normas de reação, reforçando a observação de que a seleção em ambientes extremos pode aumentar a plasticidade fenotípica associada a valores genéticos superiores.

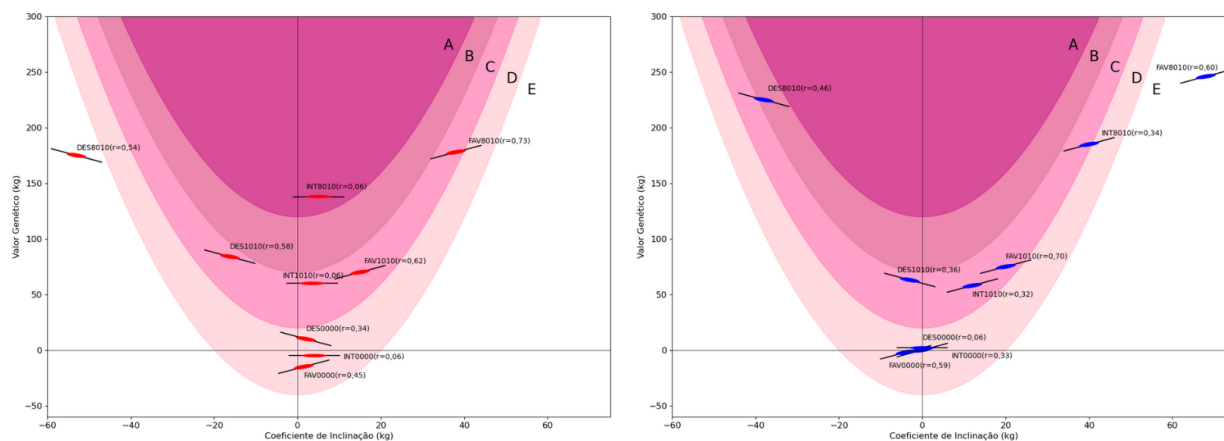


Figura 3: Posicionamento de diferentes populações selecionadas pela simulação (descritas pelo ambiente de seleção (FAV, INT e DES), intensidade de seleção (0000, 1010 e 8010) e módulo da correlação) num gráfico do valor genético (em kg) em função do coeficiente de inclinação da norma de reação de fêmeas (vermelho) e machos (azul), em kg. O gráfico está subdividido em áreas correspondentes aos clusters de robustez (A, B, C, D, E, diferenciados em tonalidades de vermelho).

CONCLUSÕES

As simulações indicam que a seleção em ambientes extremos tende a promover maior plasticidade fenotípica associada a valores genéticos superiores. Em contraste, a seleção em ambientes intermediários favorece a preservação da robustez ambiental, com menor ganho genético. Esses resultados são essenciais para o desenvolvimento de estratégias de melhoramento genético em rebanhos com dimorfismo sexual que considerem a variabilidade ambiental, especialmente em cenários de mudanças climáticas e heterogeneidade ambiental.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

J.M.L.M e N.T.P contribuíram com a conceitualização, metodologia e pesquisa. J.M.L.M e L.F.C.N cuidaram da validação de dados e experimentos. L.F.C.N procedeu com o design da apresentação de dados. J.M.L.M escreveu o trabalho. N.T.P supervisionou o projeto. Todos os autores contribuíram com a revisão do trabalho e aprovaram a versão submetida.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, pela Bolsa de Iniciação Científica, à ABCZ, pelos dados que geraram as matrizes de covariância iniciais e ao grupo de pesquisa de Genética Multidimensional Aplicada, pelo apoio e pela estrutura computacional.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO NETO, F. R.; PEGOLO, N. T.; ASPILCUETA-BORQUIS, R. R.; OLIVEIRA, H. N. Study of the effect of genotype-environment interaction on age at first calving and production traits in Nelore cattle using multi-trait reaction norms and Bayesian inference. *Animal Science Journal*, v. 89, n. 7, p. 939-945, 2018.
- DE JONG, G.; BIJMA, P. Selection and phenotypic plasticity in evolutionary biology and animal breeding. *Livestock Production Science*, v. 78, n. 3, p. 195-214, 2002.
- FREITAS, A. P.; JÚNIOR, M. L. S.; SCHENKEL, F. S.; MERCADANTE, M. E. Z.; CYRILLO, J. N. S. G.; PAZ, C. C. P. Different selection practices affect the environmental sensitivity of beef cattle. *PloS One*, v. 16, n. 4, p. e0248186, 2021.
- KOLMODIN, R.; STRANDBERG, E.; JORJANI, H.; DANELL, B. Selection in the presence of a genotype by environment interaction: response in environmental sensitivity. *Animal Science*, v. 76, p. 375-385, 2003.
- PEGOLO, N. T.; OLIVEIRA, H. N.; ALBUQUERQUE, L. G.; BEZERRA, L. A. F.; LÔBO, R. B. Genotype by environment interaction for 450-day weight of Nelore cattle analyzed by reaction norm models. *Genetics and Molecular Biology*, v. 32, n. 2, p. 281-287, 2009.
- PEREIRA, R. N.; SERODIO, R. L.; VENTURA, H. T.; ARAÚJO NETO, F. R.; PEGOLO, N. T. Clusters de robustez como critério de seleção no melhoramento genético para mitigação de impactos das mudanças climáticas. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*, v. 12, p. 152-163, 2018.
- R CORE TEAM. *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2014. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>. Acesso em: 14 set. 2019.
- WILENSKY, U. *NetLogo*. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL, 1999. Disponível em: <<http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>>. Acesso em: 14 set. 2019.