

Scientific Electronic Archives

Issue ID: Sci. Elec. Arch. Vol. 11 (4)

August 2018

Article link

<http://www.seasinop.com.br/revista/index.php?journal=SEA&page=article&op=view&path%5B%5D=538&path%5B%5D=pdf>

Included in DOAJ, AGRIS, Latindex, Journal TOCs, CORE, Discoursio Open Science, Science Gate, GFAR, CIARDRING, Academic Journals Database and NTHRYS Technologies, Portal de Periódicos CAPES.



Modelos de norma de reação para análise de efeitos de interação genótipo ambiente

Models of reaction standards for analysis of effects of interaction genotype environment

D. Nunes, J. R. Assis, S. G. Tavares, P. H. L. Oliveira

Universidade Federal de Mato Grosso

Author for correspondence: dener.nb@gmail.com

Resumo. O objetivo deste trabalho de revisão foi avaliar os efeitos de interação genótipo ambiente em bovinos de corte, através do uso de modelos hierárquicos de normas de reação de um passo e dois passos, com pressupostos de variâncias residuais homogêneas e heterogêneas, comparando os resultados com o modelo de avaliação animal padrão. O modelo hierárquico de normas de reação de um passo apresentou-se como o de melhor ajuste aos dados para avaliação dos efeitos do gradiente ambiental sobre o genótipo animal, dentre os estudos revisados. Modelos de normas de reação podem trazer progressos expressivos na identificação dos efeitos de interação genótipo ambiente de diferentes raças. Gerando sistemas produção mais eficientes, através de informações relatadas que podem auxiliar técnicos e produtores na escolha de materiais genéticos específicos que atendam as particularidades dos sistemas de produção que estão inseridos.

Palavras chaves: resposta animal, parâmetros genéticos, variâncias.

Abstract. The objective of this review was to evaluate the effects of environmental genotype interaction in beef cattle through the use of hierarchical models of one - step and two - step reaction standards, with assumptions of homogeneous and heterogeneous residual variances, comparing the results with the Standard animal assessment model. The hierarchical model of one - step reaction standards presented as the best fit to the data to evaluate the effects of the environmental gradient on the animal genotype, among the reviewed studies. Models of reaction norms can bring significant progress in identifying the effects of genotype environment interaction of different races. Leading to increases in the efficiency of production systems, through reported information, which can assist technicians and producers in the choice of specific genetic materials that meet the particularities of the production systems that are inserted.

Keywords: animal response, genetic parameters, variances.

Contextualização e análise

São inúmeras as variações nos ambientes produtivos, o Brasil com uma expansão territorial de aproximadamente 8.515.767,049 km² segundo IBGE (2016), possui características distintas entre regiões, como: temperatura, umidade, precipitação, tipo de solo, entre outras. Desta forma estudos para minimizar a influência do ambiente nos sistemas de produção se tornam cada vez mais importantes, a fim de entender e estimar os efeitos do ambiente sobre genótipo animal.

Durante muito tempo se pensou no genoma como algo estático, ou seja, que não sofria modificações por influência dos efeitos ambientais, porém hoje se sabe que o genoma pode sim se

modificar em consequência dos efeitos ambientais, através de modificações nos mecanismos de expressão gênica. Desta forma, perdas no progresso genético de diferentes raças, assim como menor eficiência na seleção animal, e conseqüentemente uma má ordenação dos animais se tornam inevitáveis em modelos de avaliação que desconsiderem efeitos do ambiente sobre o genótipo animal.

Como forma de se entender e mensurar tais efeitos de interação genótipo ambiente, os modelos hierárquicos de normas de reação se tornaram importantes ferramentas para o melhoramento genético, através da estimativa do desenvolvimento genotípico em todos ambientes possíveis de

produção (Cardoso et al., 2005; Ambrosini et al., 2012). Através do uso de funções de covariância de regressões aleatórias, como descrito por (Kolmodin et al., 2002), ou de estimativa conjunta de parâmetros genéticos e valores ambientais (Su et al., 2006) em abordagem bayesiana.

Pode se dizer que há efeito de interação genótipo ambiente quando é possível identificar diferenças produtivas nos animais de acordo com o ambiente que esses são expostos, se tornando mais evidente o efeito ambiental a medida que as diferenças entre o ambiente de seleção de reprodutores e os ambientes de criação de suas progênes se tornam maiores. Estas diferenças implicam que reprodutores considerados superiores em determinado ambiente, possam não ser assim classificados em outro ambiente (Cardoso et al., 2005; Souza et al., 2014).

No Brasil o efeito do ambiente pode ser melhor entendido devido à grande extensão territorial, que influencia diretamente os sistemas de produção de carne em território nacional devido heterogeneidade das propriedades. Com propriedades de alto nível tecnológico até propriedades de baixo nível tecnológico, estas diferenças têm como principais causas as conjunturas econômicas entre regiões que mediam a produção do país, e também devido a fatores ambientais, como: clima, topografia, vegetação,

solo, entre outros, que podem mudar drasticamente entre as regiões do país (Toral et al., 2004), assim como em uma mesma região.

Essas variações de ambientes dificultam a seleção de animais, uma vez que o ambiente exerce grande influência sobre o desempenho animal (Corrêa et al., 2009). Isto ocorre através de diferenciações nos mecanismos responsáveis pela expressão gênica, que são influenciados por fatores ambientais (Falconer & Mackay 1996). Desta forma nos ambientes de produção de baixo, médio, e alto níveis de produção grupos de genes distintos estarão atuando, o que gera por consequência uma resposta animal diferente ao longo do gradiente ambiental.

Com isso pode se afirmar que a interação genótipo ambiente quando mudanças nas variâncias genéticas, fenotípicas, e residuais (figura 1) são identificadas (Souza et al., 2014), assim como mudanças nos parâmetros genéticos (Ambrosini et al., 2012), que consequentemente afetam a classificação dos reprodutores (Corrêa et al., 2009), selecionados através de modelos de avaliação padrão que não consideram os efeitos de interação genótipo ambiente, logo uma possível escolha indevida de reprodutores pode ocorrer se efeitos de interação genótipo ambiente não forem considerados.

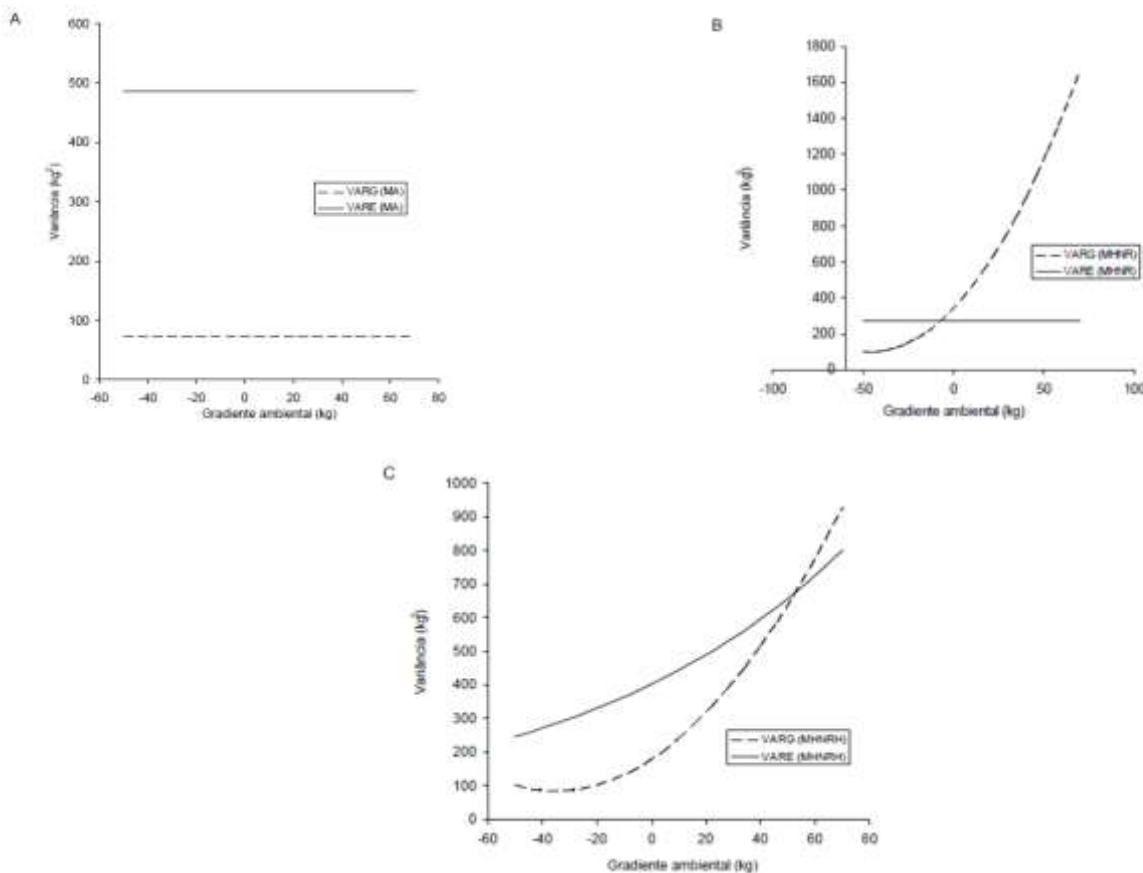


Figura 1: Variâncias genéticas (VARG) e residuais (VARE) conforme gradiente ambiental, obtidas pelo modelo animal (A), modelo hierárquico normas de reação (B), modelo hierárquico normas de reação heterocedástico (C). Fonte: Adaptado de (Corrêa et al., 2009).

Efeitos de interação genótipo ambiente são menos importantes na fase pré desmama, já que nesta fase o efeito materno assume maior parcela de influência na resposta animal (Cardelino et al., 1997). Entretanto perdas, no progresso genético de diferentes raças nas fases de pós desmama, se tornam inevitáveis se os efeitos de interação genótipo ambiente não forem considerados em rebanhos que praticam seleção animal intensa. Conforme foi demonstrado por (Cavalheiro et al., 2002) onde comparando heterogeneidade de variância, e variância corrigida por fator de ponderação, para bovinos da raça Nelore, encontraram perdas para valor genético animal de (3,1 para 16,6 kg) considerando intensidade de seleção a (1%) e ignorando heterogeneidade de variância, contra um aumento (8,28 para 12,6 kg) também para intensidade de seleção a (1%) porem com variância corrigida.

Com os avanços mundiais em tecnologias reprodutivas de bovinos, o uso de genótipos importados de outros países e continentes tem se tornado cada vez mais comum em propriedades brasileiras apesar de reconhecidas falhas nesta pratica, já que o mesmo genótipo não terá a mesma resposta se expostos a ambientes diferentes (Figura 2), além da genética se diferenciar nos níveis de manejo (baixo, médio e alto) do gradiente ambiental (Corrêa et al., 2009).

Porém em diversos países, o uso de genótipos importados acaba se tornando necessário para melhorar a genética dos rebanhos nacionais. Em um estudo com a raça Angus sobre interação genótipo pais (IGA); comparando Brasil e Uruguai (Espasadin et al., 2011) evidenciou a influência do ambiente sobre genótipos importados através da correlação de (0,48). Este valor inferiu em mudanças expressivas na classificação dos reprodutores, principalmente no Brasil onde 64% dos reprodutores tiveram alteração em sua classificação ao considerar efeito de interação genótipo ambiente. Desta forma, deve se dar preferência para uso de genótipos adaptados, como recomendado por (Cardoso et al., 2007), e reforçado por (Cardoso & Tempelman 2012) onde identificaram que touros da raça Angus nacionais são os mais adaptados em comparação a touros da raça Angus nacionais; filhos de touros importados, e touros Angus importados.

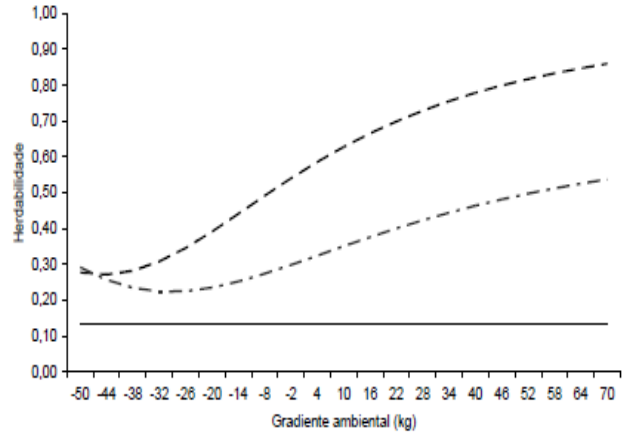


Figura 2: Herdabilidade para peso (GPD345) dias, no modelo animal (—); Modelo hierárquico de normas de reação (- -), e Modelo hierárquico de norma de reação heterocedásticos (— ·), pelo gradiente ambiental. Fonte: Adaptado (Corrêa et al., 2009).

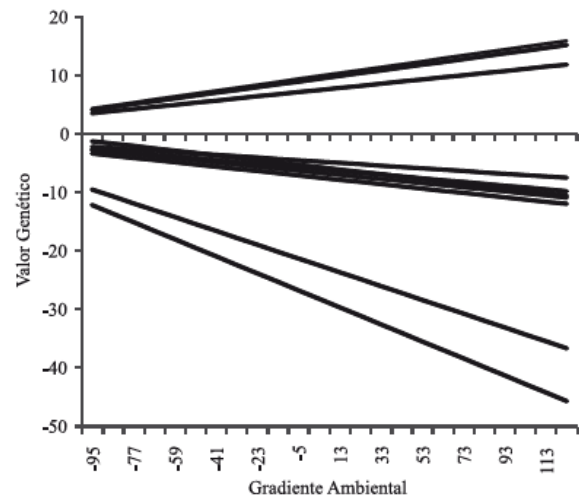


Figura 3: Norma de reação, ao longo do gradiente ambiental para (P365) obtido para os 10 reprodutores com maior número de progênie. Fonte Adaptado (Ambrosini et al., 2012).

Modelos de normas de reação

Modelos de normas de reação são funções lineares de regressão aleatória que são utilizadas para análise de efeito de interação genótipo ambiente, usando a estimativa do valor genético obtida pelo modelo animal padrão; modelo que desconsidera efeito de interação em cada ambiente, e posteriormente utiliza a estimativa como uma covariância no modelo de norma de reação (Kolmodin et al., 2002). Outro método é estimar concomitantemente valores ambientais e parâmetros genéticos, diretamente no modelo de norma de reação usando assim uma covariável desconhecida no modelo (Su et al., 2006). Nos modelos de norma de reação o valor genético animal é obtido através da somatória do intercepto, coeficiente de inclinação, e nível de inclinação; da reta de resposta animal (normas de reação) sob efeito do gradiente ambiental, outra vantagem dos

modelos de norma de reação é a possibilidade dos genótipos serem classificados em robustos, ou seja, o genótipo tem a resposta pouco influenciada pelos efeitos do ambiente, intermediários, e plásticos; onde a resposta do genótipo sofre grande influência do gradiente ambiental ao qual o animal se encontra.

Desta forma os modelos hierárquicos de normas de reação de um passo (MHNR1p) (Su et al., 2006) e modelos hierárquicos de normas de reação de dois passos (MHNR2p) (Kolmodin et al., 2002) são estudados por diversos pesquisadores nos últimos anos (Cardoso et al., 2005; 2007; Souza, et al 2014a; 2014b; Ambrosini et al., 2012; 2016; Corrêa et al., 2009; Cardoso e al., 2009; Cardoso & Tempelman., 2012) a partir de pressupostos de variâncias homogêneas e heterogêneas.

Os modelos são comparados através de pseudofatores bayes que medem a discrepância entre um modelo hipoteticamente perfeito e o modelo testado para análise de interação genótipo ambiente, onde o modelo que possuir o maior número de critérios dentre os critérios testados: com menores valores, vem a ser o modelo que melhor se

ajusta ao conjunto de dados (Tabela 1). Os critérios mais comumente usados são, o DIC (critérios baseado na informação da deviance) de Spielgether et al., (2002), CPO (deviance baseada na ordem preditiva condicional) de Gelfand et al., (1996), obtido através de densidades de avaliação cruzada; onde se sugere valores prováveis para o denominador $y(k)$ da equação $[p(Y_k|y(k))]$, para um modelo ajustado em cada observação e depois os comparam através de razões de (CPO), e BF (critério baseado aos fatores de bayes) de Newton & Raftery (1994) obtida através da razão das distribuições marginais dos dados

De acordo com os dados apresentados na (Tabela 1) é notável entre os modelos para predição de efeitos de interação genótipo ambiente, o modelo hierárquico de normas de reação de um passo (MHNR1p), com pressuposição de variância homogênea (homocedásticos) aparece de forma unanime como melhor modelo em relação ao ajuste de dados como foi sugerido por Su et al., (2006), porem ao levar em consideração pressuposições de variância heterogêneas (heterocedásticas), vieses podem ser levantados sobre os resultados encontrados.

Tabela 1: Ajustes de modelos de norma de reação, obtidos por pseudofatores de bayes.

Pseudofatores de bayes	Pseudofatores com menores valores	Melhores modelos	Autores
DIC, FB, CPO	DIC, FB, CPO	MHNR (HO)	(Cardoso et al., 2005)
DIC	DIC	MHNR1p	(Cardoso et al., 2007)
DIC, FB, CPO	DIC, FB, CPO	MHNR (HO)	(Souza et al., 2014a)
DIC, FB, CPO	DIC, FB	MHNR (HO)	(Souza et al., 2014b)
DIC, FB, CPO	DIC, FB	MHNR (HO)	(Ambrosini et al., 2012)
DIC, FB, CPO	DIC, FB, CPO	MHNR (HO)	(Ambrosini et al., 2016)
DIC	DIC	MHNR (HO)	(Cardoso & Tempelman 2012)
DIC, FB, CPO	DIC, FB, CPO	MHNR (HO)	(Corrêa et al., 2009)
DIC, FB, CPO	DIC, FB	MHNR1p	(Cardoso et al., 2009)

DIC: Critério baseado na informação da deviance, **CPO:** Deviance baseada na ordem preditiva condicional, **BF:** Critério baseado aos fatores de bayes, **MHNR (HO):** modelo hierárquico de norma de reação com pressuposto de variância homogênea, **MHNR1p:** modelo hierárquico de norma de reação de um passo.

Ao analisar efeito de interação genótipo ambiente sobre raça Devon (Corrêa et., 2009) observaram que apesar do modelo de um passo (MHNR1p) possuir melhor ajuste aos dados, suas resoluções foram muito próximas do (MHNR2p), além de superestimação da variância fenotípica nos modelos heterocedásticos, observado por (Cardoso et al., 2009), podendo assim ter se subestimado os valores encontrados para herdabilidade. Portanto avaliações simultâneas para pressuposições homogêneas e heterogêneas se tonam necessárias, da mesma forma que possíveis adequações aos modelos, como sugerido por (Cardoso et al., 2005) em obter a estimativa de variância residual conjuntamente no modelo, estas adequações ganham importância a fim de evitar duvidas a resultados encontrados para efeito de interação genótipo ambiente.

Resposta animal ao ambiente

O ambiente oferece influência sobre a resposta produtiva dos genótipos utilizados, desta forma se torna necessário entender ao máximo tais influências. Os modelos de norma de reação permitem o ajuste das respostas de cada animal em função do nível de influência que o ambiente oferece, medidas em desvios padrões de respostas em relação à média da população (Corrêa et al., 2009).

Os efeitos de diversos fatores do ambiente, como: rebanho, ano, época de nascimento, manejo, região entre outros, iram mediar à resposta do animal em um determinado gradiente ambiental ao qual o animal se encontra, desta forma o gradiente ambiental é classificado em níveis de manejo; baixo, médio, e alto de produção.

Os modelos de normas de reação de um passo e dois passos possuem diferenças na metodologia utilizada para obter seus gradientes ambientais (níveis de manejo). Onde o modelo de dois passos (MHNR2p) de (Kolmodin et al., 2002)

propõe a utilização de uma análise do modelo animal (MA) padrão: que desconsidera efeito interação genótipo ambiente, e usa essa estimativa como uma covariável conhecida no modelo hierárquico de norma de reação (MHNR), o que levaria a estimativas menos precisas pelo modelo.

Já o modelo de um passo, sugerido por (Su et al., 2006) propõe o uso de uma covariável desconhecida concomitantemente com parâmetros genéticos ao modelo de norma de reação o que leva a estimativas mais confiáveis dos valores genéticos dos animais, diminuindo possíveis dúvidas sobre efeito de interação genótipo ambiente. Ambos os modelos permitem a classificação dos seus genótipos através da variação da norma de reação, que reflete ao grau de sensibilidade ambiental do genótipo ao ambiente (Falconer., 1990).

Em estudo sobre a raça Tabapuã (Souza et al., 2014b) encontraram predominantemente maior número de genótipos robustos para peso, aos 365 dias (P365) e (P550) com valores de (97%) e (86%), respectivamente. Porém ao analisar os dez reprodutores com maior número de progênes, observaram alterações na inclinação da norma de reação. Resultados semelhantes foram encontrados por (Ambrosini et al., 2012), com aproximadamente (80%) de genótipos robustos, no entanto ao considerar os dez reprodutores com maior número de progênes (70%) dos genótipos apresentaram valores genéticos negativos (figura 3). Apesar de maior resposta nos animais com maiores valores genéticos (30%); como encontrado por (Corrêa et al., 2009). Esses autores encontraram diferenças expressivas nas respostas dos animais, à medida que o ambiente se tornava favorável com alteração nas retas dos animais; com retas se cruzando ao longo do gradiente ambiental, o que indica efeito de interação genótipo ambiente e reclassificação dos genótipos avaliados.

Contudo ao avaliar a sensibilidade ao ambiente de bovinos Nelore no nordeste brasileiro (Ambrosini et al., 2016), observaram que reprodutores com as maiores médias de progênes, foram classificados como plásticos ou extremamente plásticos, apesar da menor proporção desta classificação; (4%) e (1%) respectivamente. Além de perda para ganho da raça em 30 anos de seleção na ordem de 13,82 kg, devido a efeitos de interação genótipo ambiente. Isto indica que a utilização de modelos de avaliação genética que não consideram efeito de interação genótipo ambiente, levaram ao uso genótipos menos eficientes nos últimos 30 anos na região nordeste, subestimando o potencial produtivo da raça Nelore no nordeste brasileiro.

Os efeitos de interação genótipo ambiente também pode ser identificado através de correlação onde pode se dizer que há efeito de interação genótipo ambiente quando correlações ficam distantes de 1,0 (Su et al., 2006). Em estudo de interação genótipo ambiente em bovinos da raça Angus (Cardoso et al., 2005) encontrou correlação

de $(0,65 \pm 0,02)$, indicando que animais com valores genéticos superiores tiveram melhor resposta à medida que o ambiente se tornava favorável, de acordo com encontrado por (Cardoso et al., 2007) também para raça Angus com correlação de $(0,77)$.

Avaliando efeito de interação genótipo ambiente em bovinos da raça Tabapuã no nordeste brasileiro (Souza et al., 2014b) encontrou correlação de $(0,68 \pm 0,01)$ para efeito direto sobre peso de (P365) dias, e de $(0,96 \pm 0,03)$ para efeito materno, e de $(0,92 \pm 0,03)$ para efeito direto sobre (P550) dias, porém os mesmos genótipos que tiveram melhor desempenho à medida que o ambiente se tornou favorável foram os que tiveram seus desempenhos mais penalizados em ambientes desfavoráveis de manejo (produção). Demonstrando assim a importância dos modelos de normas de reação para quantificar efeito de interação genótipo ambiente, e conseqüentemente a importância de se utilizar um genótipo específico para cada nível ambiental de manejo (produção), como demonstrado por Corrêa et al., (2009) que encontraram correlação positiva (maiores que 0,80) em ambientes favoráveis de produção.

Resultado similar foi encontrado para a raça Nelore no nordeste brasileiro, com correlação que variaram entre $(0,82$ e $0,93)$, correlações que demonstram que animais com altos valores genéticos tendem a ter maior facilidade de expressar seu potencial genético em ambientes favoráveis (Ambrosini et al., 2016). Entretanto à medida que o ambiente se tornou desfavorável à correlação apresentou queda vertiginosa com valores negativos nas extremidades do gradiente ambiental (figura 4), o que demonstra que as maiores mudanças de reordenação dos reprodutores ocorreram à medida que as diferenças ambientais se tornaram mais discrepantes.

Ao avaliar a herdabilidade da raça Devon, para análise de interação genótipo ambiente (Corrêa et al., 2009) encontraram aumentos expressivos nos modelos de norma de reação; com herdabilidade superior para os modelos com pressuposições de variância homogênea o que causou mudanças nos parâmetros genéticos em reflexo ao gradiente ambiental que os registros se encontravam. No entanto (Ambrosini et al., 2012) encontraram herdabilidade em nível baixo de manejo nos modelos de normas de reação, inferior ao encontrado no modelo animal padrão $(0,29)$ para Nelore mocho no nordeste brasileiro. Contudo ao considerar ambientes de médio a alto nível de manejo, a herdabilidade foi crescente, deixando evidente maior influência de efeitos genéticos em relação a efeitos ambientais para resposta fenotípica dos animais, em ambientes de médio a alto manejo (Corrêa et al., 2009; Cardoso et al., 2009) atestando assim que maiores respostas a seleção em ambientes favoráveis podem ocorrer com o uso de modelos de normas de reação.

Em outro estudo também realizado no nordeste brasileiro para análise dos efeitos de

interação genótipo ambiente sobre o (GP345) e (P205) dias (Ambrosini et al., 2016) para raça Nelore, resultados semelhantes foram encontrados; herdabilidade encontrada no modelo animal foi superior ao nível baixo de manejo nos modelos de norma de reação, com aumento da herdabilidade a medida que o ambiente se tornou favorável, com valores para efeito direto que variaram de (0,04 a 0,48) para ganho de peso (GP345) dias e de (0,13 a 0,62) para peso (P205) dias. Para efeito materno as variações foram menores (0,04 a 0,19) para

(GP345) e (0,02 a 0,13) para (P205) para modelos de norma de reação. Porém os autores destacaram a importância da inclusão de efeitos maternos no modelo a fim de aumentar a acurácia na partição das variâncias, uma vez que a influência da matriz sobre o desenvolvimento da progênie é de suma importância na fase pré desmama, podendo assim reduzir possíveis efeitos de inflação da variância fenotípica, como observado por (Cardoso et al., 2000).

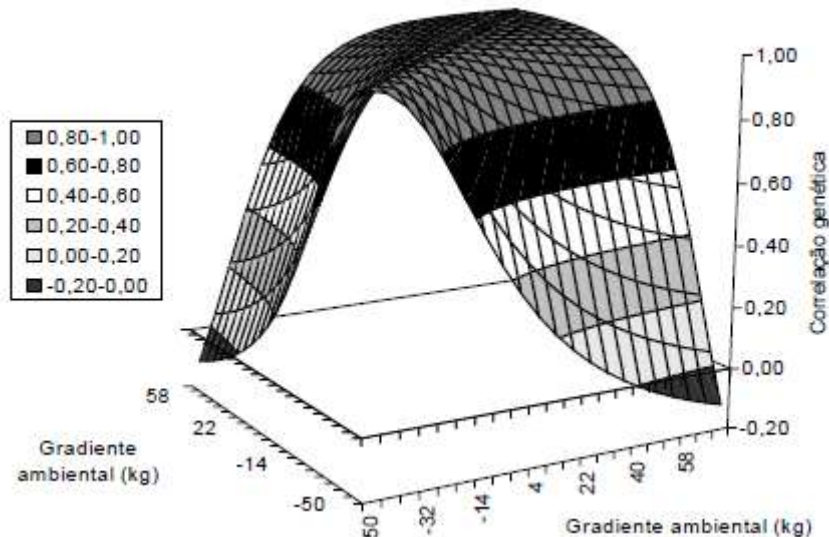


Figura 4: Correlação genética no modelo hierárquico de norma de reação MHNR, a partir de pressuposto de variância homogênea. Fonte: Adaptado (Corrêa et al., 2009)

Para raça Tabapuã no nordeste brasileiro (Souza et al., 2014b), encontrou resultados para herdabilidade que condizem com dos demais autores e atestam para efeito de interação genótipo ambiente. Com valores relatados para peso aos (P365) de $(0,17 \pm 0,04)$ para efeito direto, contra $(0,21 \pm 0,06)$, e $(0,58 \pm 0,04)$ em ambiente baixo, e alto de manejo respectivamente. Para efeito materno a herdabilidade foi de $(0,07 \pm 0,05)$ para efeito materno no modelo animal padrão, e de $(0,01 \pm 0,01)$ para ambiente baixo, e de $(0,18 \pm 0,07)$ para ambiente alto de manejo nos modelos de norma de reação. Já para peso aos (P550) a herdabilidade direta foi de $(0,38 \pm 0,05)$ no modelo animal padrão, contra $(0,12 \pm 0,05)$ em ambiente médio de manejo, e de $(0,85 \pm 0,013)$ para ambiente alto de manejo.

Conclusões

Com esta revisão foi possível entender melhor os efeitos de interação genótipo ambiente para diferentes raças, destacando a importância de o modelo de avaliação genética levar em consideração influências do ambiente sobre a resposta animal, onde os modelos de normas de reação se mostram como importantes ferramentas para análise desses efeitos.

As informações obtidas podem ser relevantes na tomada de decisão de técnicos e produtores para melhor escolha dos genótipos a serem utilizados,

com base nas informações fornecidas e as características do ambiente que serão empregados. Evitando assim, o uso indevido de genótipos que não atendam as necessidades do sistema de produção e o melhoramento de raças, para o aprimoramento da produção de carne no Brasil e no mundo.

Contudo estudos ainda são necessários para evitar dúvidas perante resultados apresentados tanto para modelos de normas de reação de um passo (MHNR1p), como para modelos de norma de reação de dois passos (MHNR2p), com pressupostos de variância homogênea e heterogênea, assim como possíveis adequações nos modelos para estimativa e partição de variâncias em busca de minimizar os efeitos do ambiente sobre genótipo animal.

Referências

AMBROSINI, D.P., CARNEIRO, P.L.S., NETO, J.B et al. Interação genótipo x ambiente para peso ao ano em bovinos Nelore Mocho no Nordeste do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.10, p. 1489-1495, out. 2012

AMBROSINI, D.P., MALHADO, C.H.M., FILHO, R.M et al. Interação genótipo x ambiente via modelos de normas de reação para características de crescimento em bovinos Nelore. **Pesquisa**

- Agropecuária Brasileira**, v. 51, n.2, p.177-186, fev. 2016.
- CARDELLINO, R.A.; CAMPOS, L.T.; CARDOSO, F.F. Interação genótipo-ambiente nas raças Hereford e Aberdeen Angus: DEPs nos EUA e no Brasil. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 34., 1997, Juiz de Fora. Anais... Juiz de Fora: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1997. p. 190-192.
- CARDOSO, F.F.; OLIVEIRA, M.M.; CAMPOS, L.T., et al. Modelos hierárquicos bayesianos para estudo de interação genótipo-ambiente via normas de reação aplicados ao ganho pós-desmama de bovinos Angus. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 44. 2007, Jaboticabal. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2007.
- CARDOSO, F.F.; CAMPOS L.T.; CARDELINO, R.A. Caracterização de interação genótipo-ambiente no ganho pós desmama de bovinos Angus via normas de reação¹. Reunião anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2005, Goiânia, 2005.
- CARDOSO, F.F.; ROSA, G.JM. ROSA.; TEMPELMAN, R.J. Inferencia robusta e heteroscedástica via modelos estruturais de variância aplicados ao ganho pós desmama de uma população multirracial. In: Reunião anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 41., 2004b, Campo Grande.
- CARDOSO, L.L. Modelos de normas de reação para estudo da interação genótipo x ambiente¹. 68p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia, produção animal). Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - RS 2009.
- CARDOSO, F.F.; TEMPELMAN, R.J. Linear reaction norm models for genetic merit prediction of angus cattle under genotype by environment interaction. **Journal of Animal Science**, v.90, p. 2130 – 2141, 2012.
- CARVALHEIRO, R.; FRIES, L.A.; SCHENKEL, F.S et al. Efeitos da heterogeneidade de variância residual entre grupos de contemporâneos na avaliação genética de bovinos de corte¹. **Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.4, p.1680-1688, 2002.
- CORRÊA, M.B.B.; DIONELLO, N.J.L.; CARDOSO, F.F. et al. Caracterização da interação genótipo-ambiente e comparação entre modelos para ajuste do ganho pós-desmama de bovinos Devon via normas de reação¹. **R. Brasileira de Zootecnia**, v.38, n.8, p.1468-1477, 2009.
- ESPASANDIN, A.C., URIOSTE, J.I., CAMPOS, L.T. et al. Genotype x country interaction for weaning weight in the Angus populations of Brazil and Uruguay. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, n.3 568-574. 2011.
- FALCONER, D.S. Selection in different environments: effects on environmental sensitivity (reactions norm) and on mean performance. **Genetical Research**, v. 56, p. 57-70, 1990.
- FALCONER, D.S.; MACKAY, T.F.C. Introduction to quantitative genetics. 4th ed. **Essex: Longman: Pearson**, 1996. 464p.
- GELFAND, A. E. Model determination using sampling-based methods. In W. R. Gilks and S. Richardson and D. j Spiegelhalter (Eds.), **Markov Chain Monte Carlo in practice**, 1st ed.; 145 – 11. London: Champman & Hall, 1996
- KOLMODIN, R.; STRAMBERG, E.; MADSEN, P. et al. Genotype by environment interaction in Nordic dairy cattle studies using reaction norms. **Acta Agriculture Scandinavia, Section A, Animal Science**, v. 52, p. 11 – 24, 2002
- NEWTON, M.A.; RAFTERY, A.E. Approximate Bayesian inference by the weighted likelihood bootstrap (with Discussion). **Journal of the Royal Statistical Society**, series B, v.56, p.3-48, 1994.
- SU, G.; MADSEN, P.; LUND, M.S. et al. Bayesian analysis of the linear reaction norm model with unknown covariates. **Journal of Animal Science**, v.84, p. 1651 – 1657, 2006.
- SOUZA, L.A. Interações genótipos ambientes em bovinos da raça Tabapuã na região nordeste do Brasil obtidas por normas de reação. 80f. Tese (Doutorado em Zootecnia, área de concentração em produção de ruminantes). Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga - BA 2014.
- SPIEGELHALTER, D. J.; BEST, N. G.; CARLIN, B.P.; LINDE, A.V. Bayesian measures of model complexity and fit. **Journal Of The royal statistical society series B-Statistical methodology**, v.64, p. 583 – 616. 2002.
- TORAL, F.L.B.; SILVA.; L.O.C.; MARTINS.; E.N et al. Interação genótipo x ambiente em características de crescimento de bovinos da raça Nelore no Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Zootecnia.**, v.33, n.6, p. 1445-1455, 2004.