

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL
TROPICAL**

**Interação genótipo-ambiente em bovinos Nelore por meio de norma
de reação**

THAYMISSON SANTOS DE LIRA

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciência Animal Tropical, da Universidade Federal do Tocantins, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciência Animal Tropical.

Área de Concentração: Produção Animal

**ARAGUAÍNA - TO
2014**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL TROPICAL**

Interação genótipo-ambiente em bovinos Nelore por meio de norma de reação

THAYMISSON SANTOS DE LIRA

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciência Animal Tropical, da Universidade Federal do Tocantins, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciência Animal Tropical.

Área de Concentração: Produção Animal

Orientador: Prof. Dr. Emerson Alexandrino

Co-orientador: Prof. Dr. Jorge Luis Ferreira

Dados Internacionais de Catalogação

Biblioteca UFT - EMZV

L768i Lira, Thaymisson Santos de
Interação genótipo-ambiente em bovinos Nelore por meio de norma de
reação/ Thaymisson Santos de Lira. -- Araguaína: [s.n.], 2014.
51 f. : Il.

Orientador: Prof. Dr. Emerson Alexandrino

Dissertação (Mestrado em Ciência Animal Tropical) - Universidade
Federal do Tocantins, 2014.

1. Melhoramento Genético Animal. 2. Bovinos - Nelore.
Gradientes Ambientais. 4. Trópico úmido. I. Título

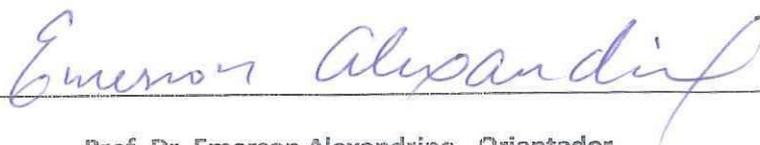
CDD 636.082

**INTERAÇÃO GENÓTIPO-AMBIENTE EM BOVINOS NELORE POR MEIO DE
NORMA DE REAÇÃO.**

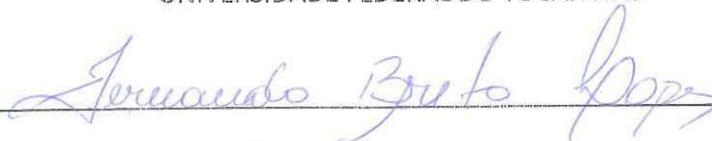
Por

THAYMISSON SANTOS DE LIRA

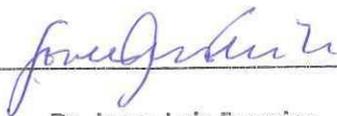
Dissertação aprovada como requisito parcial para a
obtenção do título de Mestre, tendo sido julgado pela
Banca Examinadora formada pelos professores:



Prof. Dr. Emerson Alexandrino - Orientador
UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS



Dr. Fernando Brito Lopes
EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA
EMBRAPA CERRADOS



Dr. Jorge Luis Ferreira
UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS

ARAGUAÍNA-TO, 07 DE MARÇO DE 2014.

Dedico este trabalho a minha mãe, por sempre ter me apoiado na realização deste trabalho, e que sempre suportou minha ausência.

Dedico este trabalho a minha futura esposa (Claudailsa) que sempre me confortou nas horas mais difíceis.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois ele é o começo e o fim. Por seu intermédio, tudo o que existe foi criado. Não existe nada que tenha sido feito sem ele. Nele estava a vida, e esta vida era a luz de toda a humanidade. A vida dele é a luz que brilha no meio da escuridão, e nunca pode ser apagada pela escuridão (João 1: 3-5).

A minha mãe a melhor mãe do mundo, que apesar de super mãe ocupou o lugar de pai, dando o máximo de amor possível, sempre batalhando para que nada faltasse em nossa casa. Mulher guerreira que ensina que por maior que seja a dificuldade, sempre é possível superarmos.

A minha futura esposa que sempre arruma alguma forma para me confortar, e que apesar de não merecer me suportou todos esses cinco anos de vivência juntos.

Se lembra quando nós jurávamos os votos
E caminhamos o caminho
Demos nossos corações, fizemos o começo, foi difícil
Vivemos e aprendemos, a vida lançou curvas
Havia alegria, havia sofrimento
Se lembra quando (Alan Jackson)

A toda minha linda família que sempre unida nunca deixa ninguém desamparado.

Ao meu Professor Jorge Luis Ferreira por todo apoio dado a este trabalho.

Aos meus colegas Leonardo, Laryane, Geneildes, Jovita e Leandro.

Ao grande Fernando Brito Lopes que apesar de imensa inteligência, não deixa de esbanjar humildade.

Ao professor Emerson Alexandrino pelo apoio dado na orientação deste trabalho.

A turma de mestrado pelos momentos de alegrias.

Ao pessoal da UFSM, pela hospitalidade e aprendizado proporcionado.

Ao pessoas da igreja MVNI que me ensinaram outra forma de viver, e que sem Deus nada é possível.

A ANCP pela concessão dos dados.

A CAPES pela concessão de bolsa de estudo.

O maior líder não é aquele que é capaz de governar o mundo, mas o que é capaz de governar a si mesmo.

Augusto Cury

SUMÁRIO

RESUMO.....	8
ABSTRACT	10
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS e SÍMBOLOS	11
LISTA DE FIGURAS	12
LISTA DE TABELAS	13
CAPITULO I	14
1 INTRODUÇÃO	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 Interação genótipo-ambiente.....	15
2.2 Tipos de interação genótipo-ambiente	17
2.3 Modelos multicaracterísticos	19
2.4 Normas de reação.....	22
2.5 Gradientes Ambientais	27
REFERÊNCIAS.....	28
CAPÍTULO II	34
Interação genótipo ambiente em características sob efeito maternal em bovinos Nelore criados no Trópico Úmido do Brasil por meio de norma de reação	35
RESUMO	35
ABSTRACT.....	35
INTRODUÇÃO.....	36
MATERIAL E MÉTODOS.....	37
RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
CONCLUSÕES.....	43
REFERÊNCIAS	43
AGRADECIMENTOS	46
FIGURAS	47

RESUMO

Interação genótipo-ambiente em bovinos Nelore por meio de norma de reação

A interação genótipo-ambiente (IGA), é definida como quando o mérito genético de dois ou mais genótipos é dependente do ambiente onde são criados. Entretanto, na avaliação genética de rebanhos, a IGA ainda não é implementada, em virtude de metodologias restritivas. Dessa forma, no presente trabalho, objetivou-se verificar a presença de IGA em características sob efeito maternal, peso aos 120 dias de idade (P120) e peso aos 210 dias de idade (P210), de bovinos da raça Nelore, criados no Trópico Úmido do Brasil, através da metodologia de Norma de Reação. Utilizaram-se dados de P120 e P210, de bovinos da raça Nelore, oriundo dos estados integrantes da região do Trópico Úmido do Brasil. Os grupos contemporâneos (GC) foram formados pelo agrupamento de animais por fazenda, grupo de manejo e sexo, totalizando 349 GC, e a conectividade verificada pelo software AMC. Após as restrições, restaram 50.997 registros de P120, e 51.300 para P210. Em seguida foi realizada uma primeira análise no conjunto de dados, utilizando o programa Wombat (Meyer, 2012), em análise unicaracterística, com intuito de gerar soluções dos GCs. Em seguida, análises de regressão aleatória foram realizadas considerando como covariáveis, a idade da vaca ao parto (efeito linear e quadrático) e a gradiente ambiental padronizada (solução dos GC), e como efeito aleatório o efeito genético aditivo direto, considerando quatro classes de variâncias residuais (1-13; 14-27; 28-41; e 42-64). Foi constatada a presença de IGA, para peso aos P120 e P210 dias de idade, em bovino Nelore, no Trópico Úmido do Brasil, devido ao efeito de escala das variâncias genéticas e das herdabilidades. As estimativas de herdabilidade para as características P120 e P210, dependeu do nível ambiental considerado, assim, a resposta à seleção poderá ser diferenciada para estas características, conforme a gradiente ambiental. O modelo de normas de reação dos animais deve ser incluída nas avaliações genéticas por ser uma ferramenta capaz de distinguir genótipos susceptíveis a mudanças em sua expressão e, conseqüentemente, nos desempenhos dos animais, conforme o nível ambiental.

Palavras-chave: gradientes ambientais, sensibilidade ambiental, trópico úmido

ABSTRACT

Genotype-environment interaction in Nelore cattle by template reaction norm

Genotype-environment interaction (GEI) in Nelore bovines by reaction norms is defined as when the genetic merit of two or more genotypes is dependent on the environment where they are grown. However, the genetic evaluation of livestock, the GEI is still not implemented, due to restrictive methodologies. Thus, the present study aimed to verify the presence of GEI in maternal characteristics in effect, weight at 120 days of age (W120) and weight at 210 days of age (W210) of Nelore cattle reared in the Tropics humid Brazil, through the methodology of Standard Reaction. A data set of W120 and W210 in Nelore cattle, coming from the states members of the Humid Tropics region of Brazil. The contemporary groups (CG) were formed by grouping animals per farm, sex and management group, totaling 349 CG and verified by AMC connectivity software. After the restrictions, 50,997 records remained W120, and 51,300 for W210. After a first analysis was performed on the data set using the program Wombat (Meyer , 2012) in univariate analysis, in order to generate solutions of CGs. Then, random regression analyzes were performed considering as covariates, age at calving (linear and quadratic effect) and standardized environmental gradient (solution of CG), as a random effect and the direct genetic effect, considering four classes of variance residual (1-13, 14-27, 28-41, and 42-64). The presence of GEI, for weight at W120 and W210 days of age in Nelore cattle in the Humid Tropics of Brazil was found, due to the scale effect of the genetic variance and heritability. Heritability estimates for W120 and W210 characteristics depended on the environmental level considered, so the response to selection can be differentiated for these characteristics, according to the environmental gradient. The model reaction norms of animals should be included in genetic evaluations for being a tool able to distinguish genotypes susceptible to changes in their expression and, consequently, the performance of the animals, as the environmental level.

Key-Words: environmental gradients, environmental sensibility, muggy tropic

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS e SÍMBOLOS

ANCP	Associação Nacional de Criadores e Pesquisadores
ASBIA	Associação Brasileira de Inseminação Artificial
GC	Grupo de contemporâneos
IGA	Interação Genótipo Ambiente
MA	Maranhão
MT	Mato Grosso
P120	Peso aos 120 dias de idade
P210	Peso aos 210 dias de idade
P365	Peso aos 210 dias de idade
P450	Peso aos 210 dias de idade
P550	Peso aos 210 dias de idade
PA	Pará
PE450	Perímetro Escrotal aos 450 dias de idade
PMGRN	Programa de Melhoramento Genético da Raça Nelore
PR	Paraná
IPP	Idade ao Primeiro Parto
RS	Rio Grande do Sul
SC	Santa Catarina

LISTA DE FIGURAS

CAPITULO 1

Figura 1 - Classificação de IGA segundo Pani (1971). Fonte: Pani (1971 apud Matos, 2011).....	19
---	----

CAPITULO 2

Figura 1 - Tendências das estimativas de variância genética aditiva direta (A) e herdabilidade direta (B) para P120 nos modelos propostos pela gradiente ambiental.....	47
Figura 2 - Tendências das estimativas de variância genética aditiva direta (A) e herdabilidade direta (B) para P210 nos modelos propostos pela gradiente ambiental.....	48
Figura 3 - Gráfico de superfície de resposta das correlações entre os valores genéticos e a gradiente ambiental para P120 (A) e P210 (B).....	49
Figura 4 - Norma de reação ao longo da gradiente ambiental para P120 (A) e P210 (B) dos dez touros com maiores números de filhos.....	50
Figura 5 - Norma de reação ao longo da gradiente ambiental para P120 (A) e P210 (B) dos dez touros com melhores valores genéticos.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tipos possíveis de interação genótipo-ambiente, segundo Haldane (1946).....	17
Tabela 2 - Tipos possíveis de interação genótipo-ambiente, segundo Dumlop (1962).....	18

CAPITULO I

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um país com grandes dimensões, o que contribui para a existência de sistemas heterogêneos de produção, determinados em parte, pelas diferenças climáticas, econômicas e de disponibilidade de recursos naturais. Essas diferenças contribuem para diferentes expressões para o mesmo genótipo, dificultando a identificação de animais geneticamente superiores (LOPES et al., 2008).

As avaliações genéticas de bovinos de corte no Brasil abrangem rebanhos submetidos a grandes variações climáticas e de manejo alimentar e sanitário. Por isso, os rebanhos podem diferir muito na média de produção e nas variâncias fenotípicas e genéticas para as principais características de importância econômica, gerando assim dificuldades na escolha dos melhores touros (NEPOMUCENO et al., 2013).

Na produção animal, é importante avaliar os efeitos do ambiente sobre o desempenho e avaliação genética de bovinos. Segundo Araújo et al. (2011), a avaliação genética pode ser influenciada, pela precisão com que os parâmetros genéticos e ambientais utilizados são estimados, que pode ser afetada por vários fatores, sendo um deles a metodologia utilizada para medir o efeito da interação genótipo-ambiente (IGA).

A IGA existe quando o mérito relativo de dois ou mais genótipos é dependente do ambiente no qual são comparados (MASCIONI et al. 2006) e, ou, quando um genótipo é melhor em um ambiente e não o é em outro (FALCONER; MACKAY, 1996). Assim, quando desconsiderada pode prejudicar o ganho genético com alterações nas estimativas de parâmetros genéticos e variâncias, resultando em escolhas equivocadas.

Contudo, as avaliações genéticas atualmente não contemplam a verificação de IGA e utilizam metodologias em que se pressupõem homogeneidade de variâncias (CORRÊA et al., 2009). Na atividade produtiva é importante avaliar a magnitude do efeito desta interação e suas consequências econômicas.

Atualmente, os estudos de IGA utilizam a metodologia de norma de reação que considera que o fenótipo do animal varia como uma função contínua e gradual do ambiente. Ou seja, para cada variação ambiental é descrito uma variação genotípica (FALCONER (1990); DE JONG (1995); KOMOLDIN (2003)), demonstrando que entre os ambientes as variâncias diferirem, não sendo assumidas como homogêneas, acarretando estimações mais precisas e acuradas.

De acordo com Carneiro et al. (2006), se as variâncias diferirem entre rebanhos com condições diferenciadas de sistemas de produção, mas são assumidas como homogêneas, nas avaliações genéticas, os animais podem ser classificados erroneamente. Da mesma forma, Garrick e Van Vleck (1987) preconizaram que quando a heterogeneidade de variâncias genética e/ou residual é ignorada pode-se ocasionar redução na precisão dos valores genéticos, com conseqüente redução na resposta à seleção.

Estudos de IGA com norma de reação em rebanhos de bovinos Nelore na região do Trópico Úmido do Brasil ainda são incipientes. Dessa forma, objetivou verificar a presença de IGA em características sob efeito maternal (P120 e P210) de bovinos da raça Nelore criados no Trópico Úmido do Brasil.

Para melhor compreensão deste material, a presente dissertação foi dividida em dois capítulos, em que o primeiro capítulo está composto pela revisão de literatura e o segundo com o artigo científico.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Interação genótipo-ambiente

O Brasil possui uma diversidade climática e cultural bastante heterogênea, apresentando assim diferenças marcantes nos sistemas de produção de bovinos, o que de certa forma dificulta a seleção de genótipos superiores. Da mesma forma, que esta diversidade de ambientes proporciona oportunidades diferentes de expressão de um mesmo genótipo.

No Brasil, a região do Trópico Úmido praticamente se confunde com a Amazônia Legal, representada pelos estados do Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima, Tocantins e parte do Maranhão (oeste do Meridiano 44°), correspondendo a aproximadamente 61% do território brasileiro (5,2 milhões de km²)(DIAS-FILHO, 2011).

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no período 1997/2007, houve um aumento de 78% do efetivo bovino nos estados que compõem a região do Trópico Úmido (IBGE, 2007, 2010). Entretanto, o grande desafio para a produção animal a pasto nessa fronteira agrícola brasileira seria o aumento da eficiência por meio do uso de novas tecnologias, tanto em relação ao manejo e recuperação de pastagens, quanto ao desempenho produtivo e reprodutivo desses rebanhos.

Ao expressivo efetivo brasileiro e, em especial, da região do Trópico Úmido do Brasil, contrapõe-se os baixos índices zootécnicos. Entretanto, a competitividade do mercado leva a uma incessante busca pelo aumento de produtividade do rebanho bovino. Assim, a utilização de biotécnicas reprodutivas e a implementação de programas de melhoramento atuam como ferramentas poderosas e eficientes na seleção de genótipos superiores e conseqüentemente progresso genético.

As diferenças ambientais encontradas no Brasil promovem grandes diferenças no desempenho dos animais. Destarte, um genótipo superior numa região pode não o ser em outra região. Essas variações no desempenho precisam ser quantificadas, uma vez que o fenótipo pode ser particionado em ambiente e genético, e a própria IGA.

A presença da IGA caracteriza-se pela resposta diferenciada de genótipos às variações ambientais (FALCONER; MACKAY, 1996). A IGA é de especial interesse quando genótipos superiores, em determinado ambiente, podem não o ser em ambientes distintos. Essa interação pode também provocar alterações nas variações genéticas, fenotípicas e ambientais e, por conseguinte, resultar em mudanças nas estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos, implicando na possibilidade de mudanças nos objetivos de seleção, dependendo do ambiente.

Em alguns estudos de características de desempenho, tem crescido a preocupação sobre respostas dos indivíduos em ambientes distintos. Uma questão básica no melhoramento genético animal é se a seleção de indivíduos em determinado ambiente é válida para se atingir progresso genético em outro tipo de ambiente (CORREA et al., 2007).

2.2 Tipos de interação genótipo-ambiente

Na tentativa de explicar a IGA, várias teorias foram desenvolvidas por diversos autores. Haldane (1946) considerou que havendo '*n*' genótipos, existiria '*n*' ambientes e que um determinado genótipo em um determinado ambiente teria sempre o maior posto e que a diferença entre outros tipos de genótipos e ambientes poderiam ser significativos. Assim, havendo dois tipos de genótipos (A e B) e dois ambientes (X e Y) existiriam seis tipos de interações, conforme esquema abaixo (Tabela 1):

Tabela 1 - Tipos possíveis de interação genótipo-ambiente, segundo Haldane (1946).

Tipo 1		Tipo 2		Tipo 3		Tipo 4		Tipo 5		Tipo 6	
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
A1	A2	A1	A3	A1	A4	A1	A2	A1	A3	A1	A4
B3	B4	B2	B4	B2	B3	B4	B3	B4	B2	B3	B2

A e B – representam o genótipo, X e Y – representam os ambientes e 1, 2, 3 e 4 representam a ordem de posto.

Mcbride em (1958) classificou os genótipos como inter e intra populações e os ambientes como macro (muitas diferença) ou micro (pequenas diferenças), e várias combinações foram criadas a partir dessas combinações. Assim, Dumlop (1962) abordou quatro tipos de interações baseado nestas classificações, conforme tabela abaixo (Tabela 2):

Tabela 2 - Tipos possíveis de interação genótipo-ambiente, segundo Dumlop (1962).

Tipo de interação	Diferenças genéticas	Diferenças ambientais
I	Pequenas	Pequenas
II	Grandes	Pequenas
III	Pequenas	Grandes
IV	Grandes	Grandes

Fonte: Pereira (2008) adaptado de Dunlop (1962).

A interação do tipo I verifica-se quando ocorre transferência de um grupo de indivíduos para ambientes desfavoráveis, ocasionando relativa alteração na expressão de determinada característica. A do tipo II ocorre quando diversas raças são criadas dentro de uma mesma área, com pequenas diferenças de ambiente. A interação do tipo III é aquela em que um grupo de reprodutores selecionados em condições ambientais extremamente favoráveis é distribuído em ambientes contrastantes. A interação tipo IV é aquela que permite a melhor condição para a quantificação das magnitudes das IGA (MATOS, 2010).

Lener (1964) classificou a IGA considerando a situação: três genótipos, submetidos a dois ambientes diferentes por dois anos, podem resultar em quatro tipos de interações: Sem interação, Interação de localização, Interação de ano e Interação de ano e localização.

Segundo Pani (1971) citado por Reis e Lôbo (1991), as IGA podem ser classificados em quatro tipos, conforme a Figura 1.

Tipo 1: não há interação; Tipo 2: há inversão na ordem de classificação dos genótipos, porém a interação não é significativa; Tipo 3: não há inversão na ordem de classificação dos genótipos, porém a interação é significativa; e Tipo 4: há inversão na ordem de classificação dos genótipos, sendo a interação significativa.

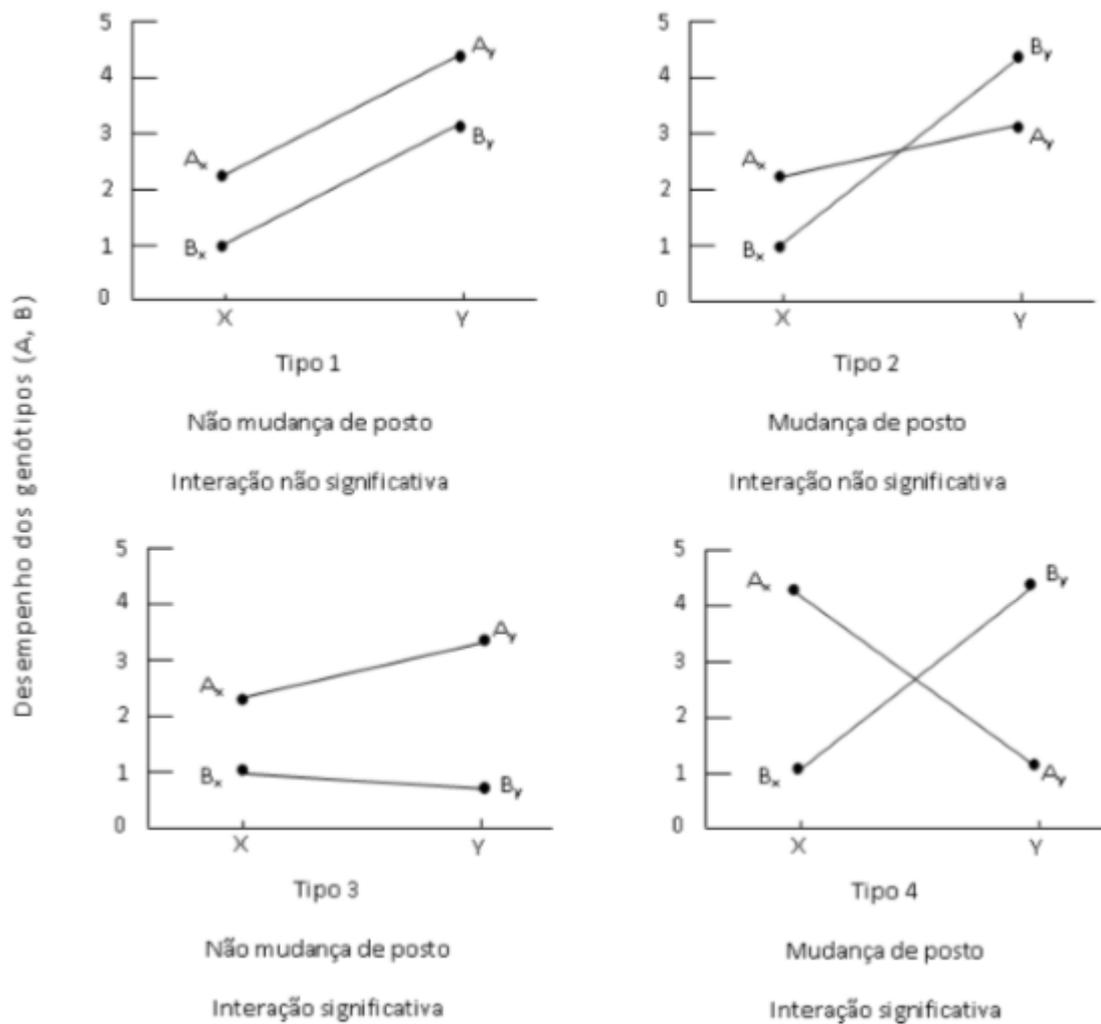


Figura 1. Classificação de IGA segundo Pani (1971). Fonte: Pani (1971 apud Matos, 2011).

2.3 Modelos multicaracterísticos

No Brasil, segundo dados da Associação Brasileira de Inseminação Artificial (ASBIA, 2010), houve uma evolução de 56% no total de doses de sêmen comercializadas entre os anos de 2009 a 2011. Esse relevante desenvolvimento tem favorecido uma significativa disseminação de material genético, devido a facilidade do transporte de genótipos para os diferentes locais e regiões do Brasil.

Dessa forma, com a possibilidade de trocas genéticas entre as diferentes regiões do Brasil tem proporcionado diferenças no desempenho genético e fenotípico dos rebanhos, possivelmente devido à influência ambiental. Estudos de

modelos multicaudacterísticos considerando a IGA têm sido abordados de norte a sul do Brasil.

No entanto, a metodologia de modelos multicaudacterístico, considera que uma mesma característica é tida como diferentes nos diversos ambientes de touros comuns. Se a correlação genética for alta, o desempenho em diferentes ambientes representará, aproximadamente, o mesmo caráter, pois é determinado pelo mesmo grupo de genes; se a correlação genética for baixa, as características são consideradas diferentes e o desempenho dependerá de grupos diferentes de genes. Essa mudança de desempenho pode ser menos evidente quando a seleção ocorre em um ambiente onde a herdabilidade ou a intensidade de seleção é consideravelmente alta (FALCONER, 1952).

Dessa forma, Robertson (1959) propôs que a IGA poderia ser verificada avaliando-se a correlação genética entre duas características. Assim, altas correlações entre 0,8 e 1,0 significariam que os genes atuantes em uma característica são praticamente os mesmos e com isso os genótipos não diferenciariam e então não haveria interação genótipo-ambiente. No entanto, quando essas correlações fossem menores que 0,8 os genes participantes na expressão de uma características não são os mesmos em outra característica, havendo IGA.

Nepomuceno et al. (2013) estudaram a IGA em bovinos Nelore pertencentes aos estados do Maranhão (MA), Mato Grosso (MT) e Pará (PA), em características sob efeito maternal (P120 e P210), e observaram presença de IGA nas características analisadas para todos os estados. As correlações genéticas entre os desempenhos das progênies de um mesmo reprodutor nos diferentes estados variaram de 0,42 (MA-MT), 0,38 (MA-PA) a 0,70 (MT-PA) para P120; de 0,49 (MA-MT), 0,13 (MA- PA) a 0,40 (MT-PA) para P210. Esses mesmos autores verificaram ainda mudanças na ordem relativa de classificação dos touros avaliados geneticamente.

Lira et al. (2013) estudando os efeitos da IGA em pesos pós-desmama (P365, P450 e P550) nos Estados do Maranhão, Mato Grosso e Pará também verificando efeitos da IGA para estas características entre as unidades federativas em estudo. Estes autores ainda concluíram que devido à classificação diferenciada de cada touro, dentro de cada Estado, é possível selecionar um animal com elevado mérito

genético para uma característica em uma região, e o mesmo ser inferior em outra região.

Matos et al. (2013) estudou a IGA na região da Amazônia Legal de rebanhos localizados nos seguintes Estados: Acre, Maranhão, Mato Grosso, Pará, Rondônia e Tocantins. As características estudadas foram as de crescimento (P120, P210 e P450) e as reprodutivas perímetro escrotal aos 450 dias de idade (PE450) e idade ao primeiro parto (IPP). Os resultados mostraram que as análises da IGA, por meio das estimativas de herdabilidade, evidenciaram maiores efeitos sobre os aspectos maternos, de P450 e idade ao primeiro parto, enquanto que as correlações entre classificações mostraram fortes evidências em quase todas as características estudadas.

Carvalho et al. (2013) estudou IGA em três regiões do Brasil (Norte, Sudeste e Centro Oeste), para peso a desmama e peso ao ano e encontraram efeito de IGA apenas entre as regiões Norte e Sudeste para peso ao ano.

Lopes et al. (2008) encontraram IGA para características pós-desmama (P550) em bovinos da raça Nelore nos estados do Rio Grande do Sul (RS), Paraná (PR) e Santa Catarina (SC), em que as correlações genética para os estados da região Sul variaram de $0,53 \pm 0,02$ (RS-SC); $0,08 \pm 0,15$ (RS-PR); $0,76 \pm 0,09$ (SC-PR). Assim, concluíram que é necessário considerar esse efeito nas avaliações genéticas para características de desempenho de bovinos Nelore criados na Região Sul do Brasil.

Toral et al. (2004) estudaram o efeito da IGA sobre as características de crescimento (P205, P365 e P550) de bovinos da raça Nelore criados em três microrregiões do estado do Mato Grosso do Sul (Alto Taquarí, Campo Grande e Pantanal). Os autores verificaram particularidades ambientais de cada microrregião e efeito da IGA. As correlações genéticas e de rank com base nos valores genéticos das características estudadas foram baixas, evidenciando diferenças na expressão destas características em função das regiões onde as progênes foram criadas.

Para estudos de modelos multicaracterísticos devem ser considerados genótipos equivalentes, possibilitando dessa forma, que alguns animais ficassem de

fora das análises, o que de certa forma, inviabilizou a implementação da IGA em programas de melhoramento genético.

Outra metodologia que tem sido considerada é a análise bayesiana que trabalha com probabilidades e suas estimativas são distribuições de densidade probabilística do parâmetro em estudo, e em uma amostra determinada (FARIA, 2007). Com a análise Bayesiana têm-se, na realidade, dois interesses: estimação de parâmetros genéticos e teste de hipóteses, nesse caso, somente duas hipóteses são testadas por vez e, em geral, rejeita-se H_0 quando ela é falsa (MARCONDES; MATOS, 2010). Alguns autores tem analisado abordagem bayesiana por meio de normas de reação (AMBROSINI et al., 2012; CARDOSO; TEMPELMAN, 2012; CARDOSO et al., 2011; CÔRREIA et al., 2009; MATTAR et al. 2011). Esses autores relatam que a vantagem desse método seria a de utilização de covariáveis desconhecida no modelo, chamado método de um passo.

2.4 Normas de reação

Nos modelos de regressão simples as covariáveis, não variam, e sim são constantes. Nestes modelos os coeficientes de regressão são fixos, ou seja, para todos os animais têm-se os mesmos coeficientes de regressão. Por outro lado os modelos de regressão aleatória associados as funções de covariâncias adota que cada animal possui distribuição aleatória (DE RESENDE, 2001).

A aplicação de modelos de regressão aleatória começou a ser implantado no melhoramento genético a partir de Schaeffer e Dekkers (1994). Estes autores também afirmam que os modelos de regressão aleatória oferece grande vantagem em comparação aos modelos multicaracterísticos, pois permite obter uma curva média para a população e uma curva para cada animal, predizendo parâmetros genéticos em qualquer ponto da curva.

Os modelos de regressão aleatória tem tido notável consideração em dados repetidos ao longo da vida do mesmo animal, também chamados de dados longitudinais. Esses modelos podem ser representados como modelos de dimensão infinita, já que as medidas são repetidas ao longo do tempo e os dados apresentam

maiores correlações quanto mais próximas forem as idades (EL FARO; ALBUQUERQUE, 2003).

Funções de covariância são usados para as características de modelagem que mudam ao longo do tempo, como o crescimento e lactação, ou ao longo de um gradiente ambiental, ou seja, para modelar normas de reação (KIRKPATRICK; LOFSVOLD , 1989; KIRKPATRICK; HILL; THOMPSON , 1994).

Nos últimos anos vários autores tem utilizado regressão aleatória para observar normas de reações em bovinos de corte (CARDOSO et al., 2009; CARDOSO et al., 2011; CARDOSO; TEMPELMAN, 2012; PEGOLO et al.,2009, 2011; MATTAR et al., 2011). Alguns desses autores tem utilizado a regressão aleatória com abordagem bayesiana. A vantagem dessa abordagem enfatizada por esses autores seriam a utilização da covariável desconhecida, proposta por SU et al. (2006), em contrapartida ao modelo proposto por komoldin (2002), em que a covariável estimada no modelo animal, passa a ser conhecida no modelo de regressão aleatória.

Em razão da importância e da dificuldade de se estudar a IGA, estudos que possam incrementar e convencer o uso deste estudo nos programas de melhoramento se faz necessários (REIS; LÔBO, 1991). Assim, vários autores tem considerado estudos de IGA via modelos de normas de reação (AMBROSINI et al., 2012; CARDOSO et al., 2012; CARDOSO et al., 2011; CARDOSO; TEMPELMAN, 2012; CÔRREIA et al., 2009; MATTAR et al., 2011; PÉGOLO et al., 2009, 2011).

Schliting e Pigliucci (1998) definiram norma de reação como o conjunto de trajetórias que podem ser produzidas por um único genótipo exposto a diferentes ambientes. O genótipo não determina apenas um fenótipo, mais vários fenótipos possíveis, uma norma de reação. Assim, normas de reação são várias respostas de um genótipo em todos os ambientes possíveis: favoráveis e desfavoráveis, naturais ou artificiais.

A norma de reação é uma forma diferente de estudar a IGA, considerando que o fenótipo do animal varia como uma função contínua e gradual do ambiente. Ou seja, para cada variação ambiental é descrito uma variação genotípica (DE JONG, 1995; FALCONER, 1990; KOMOLDIN, 2003).

Diferentes metodologias tem sido adotadas para estudos da IGA através das normas de reação, uma delas tem sido a estimação do desempenho médio de todos os fenótipos de um determinado ambiente. Esse desempenho médio é chamado de gradiente ambiental, que se dá pelos desvios fenotípicos dos grupos de contemporâneos, ou pela soluções desses desvios. Esses desvios são tratados como covariáveis conhecidas no modelo de regressão aleatória (CALUS; VERKAMP, 2003; KOMOLDIN, 2002; KOMOLDIN, 2003; PÉGOLO et al., 2009, 2011).

Su et al. (2006), enfatizaram outra metodologia para estudos de normas de reação, a inferência bayesiana, em que a covariável (gradiente ambiental) e a norma de reação são estimadas simultaneamente, nesse caso a covariável entra como desconhecida no modelo.

Em modelos de normas de reação com regressão aleatória obtém-se dois coeficientes, o intercepto e o linear. Esses coeficientes predizem o valor genético em função da qualidade do ambiente. Assim, maiores valores dos coeficientes de regressão linear significam maior sensibilidade ambiental (VALENTE, 2007). As inclinações em relação ao eixo x mostram a magnitude da sensibilidade ambiental, pois quanto maior o coeficiente de regressão linear, maiores são essas inclinações e maiores são as diferenças dos valores genéticos entre os ambientes.

Essas alterações nos efeitos de escala de variâncias genéticas podem vir acompanhadas de alterações nas classificações dos animais. Da mesma forma, menores valores dos coeficientes de regressão lineares representam um paralelismo em relação ao eixo x, então menores são as diferenças genéticas entre os ambientes.

Falconer (1990) definiu sensibilidade ambiental como uma maior ou menor expressão dos genótipos aos diferentes ambientes, sendo os animais com maior sensibilidade ambiental chamados de genótipos plásticos, e os de menor sensibilidade de genótipos robustos. A plasticidade fenotípica também revela a habilidades de genótipos alterarem sua morfologia e ou sua fisiologia, decorrente de sua interação com o meio ambiente (SCHEINER, 1993).

Os programas de melhoramento genéticos utilizam avaliações genéticas de âmbito nacional selecionando genótipos robustos, que apresentem resultados satisfatórios em todos os ambientes. Como no Brasil possuímos uma grande variabilidade de ambientes de criação e com o aumento nas importações e exportações de material genético, faz-se necessário a seleção e classificação de genótipos capazes de produzirem progênie adaptadas a ambientes específicos, necessitando, de maior plasticidade para a expressão de características produtivas nos diferentes ambientes (CARDOSO, 2007).

Alguns autores tem estudado o efeito da IGA em bovinos de corte no Brasil, através de norma de reação (AMBROSINI et al., 2012; CARDOSO et al., 2012; CARDOSO et al., 2011; CARDOSO; TEMPELMAN, 2012; CÔRREIA et al., 2009; MATTAR et al., 2011; PÉGOLO et al., 2009, 2011).

Ambrosini et al. (2012) verificaram a IGA de peso ao ano para bovinos Nelore mocho no nordeste do Brasil por meio de modelos de norma de reação, via regressão aleatória com abordagem bayesiana. Neste trabalho foram utilizadas duas metodologias, uma seguindo o modelo proposto por Kolmodin et al. (2002), chamado de modelo hierárquico norma de reação com dois passos e no outra a pressuposição de Su et al. (2006) chamado modelo hierárquico norma de reação de um passo. Duas diferentes pressuposições foram adotadas para a variância residual nos modelos: homocedasticidade e heterocedasticidade. Observou-se efeito de escala, com respostas diferenciais dos genótipos ao gradiente ambiental e, em menor intensidade, alteração na classificação dos animais, especialmente para animais com valores genéticos negativos. As mudanças foram maiores nos ambientes de produção superiores, ou seja, à medida que o ambiente se torna mais favorável, aumenta a diferença entre os valores genéticos dos indivíduos, uma vez que estes têm condições para expressar todo seu potencial genético.

Cardoso e Tempelman (2012) estudando bovinos da raça Angus por meio de normas de reação verificaram que os touros de origem norte americana apesar de apresentarem melhores desempenhos, mostraram serem mais sensíveis a mudanças ambientais que os touros nacionais.

Kolmodin (2002) descreveram a IGA em bovinos leiteiros nos países Nórdicos (Dinamarca, Finlândia, Noruega e Suíça), usando um modelo de norma de reação. Os resultados demonstraram efeito em escala da IGA para a produção de proteína no leite, em quilogramas. Os animais com maiores valores genéticos para esta produção foram mais sensíveis às mudanças do ambiente. Para o período em que as vacas não estão gestando, mas lactando, os animais com maior período de dias, também foram mais sensíveis às alterações de fertilidade, novamente demonstrando efeito em escala da IGA.

Pégolo et al. (2009) estudaram o efeito da IGA na característica de bovinos Nelore no Brasil, por meio de normas de reação, com as gradientes ambientais formadas através das seguintes variáveis ambientais: uma variável com grupo de manejo, rebanho e ano e outra variável com grupo de manejo, rebanho, ano e estação. E duas variáveis utilizadas foram soluções dos efeitos fixos, em uma variável considerou grupo de manejo, rebanho e ano e em outra considerou grupo de manejo, rebanho, ano e estação. Foram consideradas duas características: P450 de idade e ganho de peso entre P365 e P450. Os resultados de variâncias genéticas e herdabilidades mostraram diferenças entre os tipos de variáveis ambientais, revelando serem maiores nos extremos ambientais favoráveis e desfavoráveis. Quanto a escolha do melhor descritor ambiente aparentemente depende do objetivo das condições de criação e o modelo de escolha pode ser indicado por maiores ganhos genéticos por geração para os ambientes escolhidos. Nas análises de correlações indicam que a seleção está inclinada para ambientes favoráveis.

Pégolo et al. (2011) também estudando IGA por meio de normas de reação em bovinos nelore, com apenas uma das variáveis ambientais (grupos de manejos de fazenda, ano e estação) citadas por (PEGOLO et al., 2009). As análises foram separadas por sexo, considerando cinco classes de heterogeneidade de variâncias residuais. Os pesos analisados foram os P120 e P450. Assim esses autores evidenciaram a presença de IGA, principalmente relacionada ao sexo, assim concluíram que as análises por meio de normas de reação devem ser realizadas separadas por sexo para reduzir o viés causado pelas diferenças de sensibilidade para este efeito.

Dessa forma a seleção dos animais deveriam ser de acordo com seus respectivos ambientes, para se obterem melhores ganhos, já que as herdabilidades tenderam a aumentar conforme as gradientes.

2.5 Gradientes Ambientais

Em estudos de análises genéticas, frequentemente, tem-se considerado como fatores ambientais os efeitos de rebanho, ano, época de nascimento, sexo e idade da vaca, no entanto, são vários os fatores que caracterizam o ambiente, como gestão, manejo, solo, clima, sanidade, entre outros (KOMOLDIN, 2003). A dificuldade em monitorar todos os fatores ambientais que afetam o desempenho animal torna um fator limitante na produção, pois os animais expressam os critérios de seleção de forma diferente entre essas variáveis.

O ambiente é definido como um conjunto de fatores que influenciam sobre a expressão dos genótipos dos animais. Porém, existe uma grande dificuldade em definir este ambiente, pois sua formação depende de variáveis conhecidas como das desconhecidas e inexistentes nos bancos de dados (MATTAR et al., 2008)

As variáveis ambientais conhecidas são agrupadas para formar os grupos de contemporâneos no intuito de retirar seus efeitos, na forma de se comparar os animais nessas condições conhecidas. No entanto, outras variáveis que não são controladas, são desconsideradas no processo de avaliação genética, que desconsidera a IGA. A norma de reação reconhece todos esses fatores que não são controlados, reconhecendo o ambiente como um todo.

Então para se obterem esse modelos de normas de reação as variáveis ambientais são descritas como gradientes ambientais, que podem ser formadas a partir das médias fenotípicas em um dado ambiente (KOMOLDIN, 2002; CALUS; VERKRAMP 2004; PÉGOLO et al., 2009). Outra forma de definir gradientes ambientais nos modelos de normas de reação seria a partir de soluções dos grupos de contemporâneos (PÉGOLO, 2011) ou a partir da estimação concomitante dos valores de grupos de contemporâneos em análises bayesianas (CARDOSO et al., 2009; CARDOSO et al., 2011; CARDOSO; TEMPELMAN, 2012; CORREIA et al., 2009; MATTAR et al., 2011; SU et al., 2006).

Pegolo et al. (2009) considerou as seguintes variáveis ambientais: uma variável com grupo de manejo, rebanho e ano e outra variável com grupo de manejo, rebanho, ano e estação. E duas variáveis utilizadas foram soluções dos efeitos fixos em uma variável considerou grupo de manejo, rebanho e ano e em outra considerou grupo de manejo, rebanho, ano e estação. Conseqüentemente Pegolo et al. (2011) utilizou soluções dos grupos de contemporâneos considerando grupo de manejo, rebanho, ano e estação. Su et al. (2006) considerou grupos de fazenda e ano em análises bayesianas. Já os autores (CARDOSO et al., 2011; CORREIA et al., 2009; MATTAR et al., 2011) consideraram grupos de manejo, rebanho, ano, estação e sexo .

REFERÊNCIAS

- AMBROSINI, D. P.; CARNEIRO, P. L. S.; NETO, J. B.; MALHADO, C. H. M.; MARTINS FILHO, R.; CARDOSO, F. F. Interação genótipox ambiente para peso ao ano em bovinos Nelore Mocho no Nordeste do Brasil. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 47, n. 10, p. 1489-1495, 2012.
- ARAUJO, R. O.; GLORIA, W. P.; MARCONDES, C. R.; GARNERO, A. D. V.; GUNSKI, R. J., & LOBO, R. B. Índice perímetro escrotal-peso ajustado aos 365 e 450 dias de idade para bovinos Nelore. **Revista de Ciências Agrárias/Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 53, n. 2, p. 171-176, 2011.
- ASBIA – Associação Brasileira de Inseminação Artificial. Relatório de comercialização de sêmen do ano 2010, Uberaba, p.1-19, 2010. Disponível em: <http://www.asbia.org.br/novo/upload/mercado/relatorio2010.pdf>.
- CALUS, M.P.L.; VEERKAMP, R.F. Estimation of environmental sensitivity of genetic merit for milk production traits using a random regression model. **Journal of Dairy Science**, v.86, p.3756-3764, 2003.
- CARNEIRO, P.L.S.; MALHADO, C.H.M.; EUCLYDES, R.F.; TORRES, R.A.; LOPES, P.S.; CARNEIRO, A.P.S.; CUNHA, E.E. Oscilação genética em populações submetidas a métodos de seleção tradicionais e associados a marcadores moleculares. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, p.84-91, 2006.

CARDOSO, F. F.; OLIVEIRA, M. M.; CAMPOS, L. T. Modelos hierárquicos bayesianos para estudo de interação genótipo-ambiente via normas de reação aplicados ao ganho pós-desmama de bovinos Angus. **REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA**, v. 44, p. 608, 2007.

CARDOSO, L.L.; BRACCINI NETO, J.; CARDOSO, F.F.; COBUCI, J.A.; BIASUS, I.O.; BARCELLOS, J.O.J. Hierarchical Bayesian models for genotype x environment estimates in post-weaning gain of Hereford bovine via reaction norms. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, p.294-300, 2011.

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, n. 7, p. 2130-2141, 2012.

CARVALHO, C. V. D.; BITTENCOURT, T. C. C. D.; LÔBO, R. B.; PINTO, L. F. B.; NASCIMENTO, M. C. Interação genótipo-ambiente sobre os pesos aos 205 e 365 dias de idade em bovinos da raça Nelore em diferentes regiões do Brasil. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 14, n. 1, 2013.

CORREA, M. B. B.; DIONELLO, N. J. L.; CARDOSO, F. F. Efeito da interação genótipo-ambiente na avaliação genética de bovinos de corte. *Revista Brasileira de Agrociência*. v. 13, n. 2, p. 153-159, 2007.

CORRÊA, M. B. B.; DIONELLO, N. J. L.; CARDOSO, F. F.. Caracterização da interação genótipo-ambiente e comparação entre modelos para ajuste do ganho pós-desmama de bovinos Devon via normas de reação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 8, p. 1468-1477, 2009.

DE JONG, G.; BIJMA, P. Phenotypic plasticity as a product of selection in a variable environment. **The American Naturalist**. v. 145, p.493-512, 1995.

DIAS-FILHO, M. B.; ANDRADE, C. D. Pastagens no ecossistema do trópico úmido. **Simpósio sobre pastagens nos ecossistemas brasileiros**, v. 2, p. 95-104, 2005.

DUMLOP, A.A. Interaction between heredity and environment in the Australian Merino. I. Strain x location interactions in wool traits. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.13, p.503-531, 1962.

EL FARO, L.; ALBUQUERQUE, L.G. de. Utilização de modelos de regressão aleatória para produção de leite no dia do controle, com diferentes estruturas de variâncias residuais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, n. 5, p. 1104-1113,

2003.

FALCONER, D. S. The problem of environment and selection. **American Naturalist**. p. 293-298, 1952.

FALCONER, D. S. Selection in different environments: effects on environmental sensitivity (reaction norm) and on mean performance. **Genetical Research**. v. 56, n. 01, p. 57-70, 1990.

FALCONER, D.S.; MACKAY, T.F.C. **Introduction to quantitative genetics**. Harlow: Longman Group Ltda, 1996. 464p.

FARIA, C. U. D.; MAGNABOSCO, C. D. U.; REYES, A. D. L.; LÔBO, R. B.; BEZERRA, L. A. F. Inferência Bayesiana e sua aplicação na avaliação genética de bovinos da raça Nelore: revisão bibliográfica. **Ciência Animal Brasileira**, v. 8, n. 1, p. 75-86, 2007.

DE RESENDE, M. D. V.; REZENDE, G. D. S.; FERNANDES, J. S. C. Regressão aleatória e funções de covariância na análise de medidas repetidas. **Revista Matemática e Estatística**, v. 19, p. 21-40, 2001.

GARRICK, D. J.; VAN VLECK, L. . **Aspects of selection for performance in several environments with heterogeneous variances**. 1987.

HALDANE, J.B.S. The interaction of nature and nurture. **Annals of Eugenics**. v.13, p.197-205, 1946.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção da Pecuária Municipal, Rio de Janeiro, v. 35, p.1-62, 2007. Disponível em: <
<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/ppm/2007/ppm2007.pdf>>.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção da Pecuária Municipal, Rio de Janeiro, v. 38, p.1-65, 2010. Disponível em: <
<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/ppm/2010/ppm2010.pdf>>.

KOLMODIN, R.; STRAMBERG, E.; MADSEN, P. Genotype by environment interaction in Nordic dairy cattle studied using reaction norms. **Acta Agriculture Scandinavia, Section A, Animal Science**. v.52, p.11-24, 2002.

KOLMODIN, R. **Reaction norms for the study of genotype by environment interaction in animal breeding**. Vol. 437. 2003

LENER, I. M. **La base genética de la selección**. Barcelona, Ediciones GEA, P.409, 1964.

LIRA, T. S. D.; PEREIRA, L. D. S.; LOPES, F. B.; LÔBO, R. B.; SANTOS, G. C.; FERREIRA, J. L. Tendências genéticas para características de crescimento em rebanhos nelore criados na região do trópico úmido do Brasil. **Ciência Animal Brasileira**, v. 14, n. 1, p. 23-31, 2013.

LOPES, J. S.; RORATO, P. R. N.; WEBER, T.; BOLIGON, A. A.; COMIN, J. G.; DORNELLES, M. D. A. Efeito da interação genótipo x ambiente sobre o peso ao nascimento, aos 205 e aos 550 dias de idade de bovinos da raça Nelore na Região Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 1, p. 54-60, 2008.

MASCIOLI, A.S.; ALENCAR, M.M.; BARBOSA, P.F. Estimativas de parâmetros genéticos e proposição de critérios de seleção para pesos na Raça Canchim. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v.25, n.1, p.72-82, 1996.

MARCONDES, C. R.; MATOS, A. de S. Interação genótipo-ambiente em bovinos: revisão de estudos no Brasil. **Embrapa Amazônia Oriental. Documentos**, v. 365, 2010.

MATOS, A. D. S.; SENA, J. D. S. D. S.; MARCONDES, C. R.; BEZERRA, L. A. F.; LÔBO, R. B.; RORATO, P. R. N.; ARAÚJO, R. Interação genótipo-ambiente em rebanhos nelore da Amazônia Legal. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 14, n. 3, 2013.

MATTAR, M.; ALENCAR, M.; CARDOSO, F. F.; FERRAUDO, A. S.; SILVA, L. O. C.; ESPASANDIN, A. C. Utilização de técnicas estatísticas multivariadas para definição de ambiente de produção do peso ao sobreano para o estudo da interação genótipo-ambiente em bovinos Canchim. **REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA**, v. 45, 2008.

MATTAR, M.; SILVA, L. O. C.; ALENCAR, M. M.; CARDOSO, F. F. Genotypex environment interaction for long-yearling weight in Canchim cattle quantified by reaction norm analysis. **Journal of animal science**, v. 89, n. 8, p. 2349-2355, 2011.

MCBRIDE, C. The environment and animal breeding problems. **Animal Breeding Abstract**, v.26, n.4, p.349-358, 1958.

NEPOMUCENO, L. L.; LIRA, T. S. D.; LOPES, F. B.; LÔBO, R. B.; FERREIRA, J. L. Interação genótipo-ambiente para características sob efeito maternal na raça Nelore nos estados do Maranhão, Mato Grosso e Pará. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 14, n. 2, 2013.

PANI, S. N. **Genetic x environment interaction in sire evaluation**. Missouri, 1971. 138 p.

PÉGOLO, 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.

PEGOLO, N. T.; ALBUQUERQUE, L. G.; LÔBO, R. B.; DE OLIVEIRA, H. N. Effects of sex and age on genotypex environment interaction for beef cattle body weight studied using reaction norm models. **Journal of animal science**, v. 89, n. 11, p. 3410-3425, 2011.

KIRKPATRICK, M.; LOFSVOLD, D. The evolution of growth trajectories and other complex quantitative characters. **Genome**, v. 31, n. 2, p. 778-783, 1989.

KIRKPATRICK, M.; HILL, W.G.; THOMPSON, R. Estimating the covariance structure of traits during growth and ageing, illustrated with lactation in dairy cattle. *Genetical research*, Cambridge v.64, p. 57-69, 1994.

REIS, J. D. C.; LÔBO, R. B. **Interações genótipo-ambiente nos animais domésticos**. J. de C. Reis e RB Lôbo, 1991. p. 183.

ROBERTSON, A. The sampling variance of genetic correlation coefficient. **Biometrics**, v.15, p.469-485, 1959.

SCHAEFFER, L.R.; DEKKERS, J.C.M. Random regressions in animal models for test-day production in dairy cattle. 5th **World congress on genetics applied to animal production**. v.18, p.443-446, 1994.

SCHEINER, S.M. Genetics and evolution of phenotypic plasticity. **Annual Review of Ecol. Sys.** v. 24, p. 35-68, 1993.

SCHLICHTING, C. D.; AND PIGLIUCCI, M. *Phenotypic evolution: a reaction norm perspective*. **Sinauer Associates Incorporated**, 1998.

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.

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.

DE RESENDE, M. D. V.; REZENDE, G. D. S.; FERNANDES, J. S. C. Regressão aleatória e funções de covariância na análise de medidas repetidas. **Revista Matemática e Estatística**, v. 19, p. 21-40, 2001.

VALENTE, B. D. **Estruturas de covariância de peso em função da idade de animais Nelore das regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil**. Dissertação – Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

CAPÍTULO II

Interação genótipo ambiente em características sob efeito maternal em bovinos Nelore criados no Trópico Úmido do Brasil por meio de norma de reação

(Artigo redigido conforme normas da Revista Semina: Ciências Agrárias.

(<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/index>)

Interação genótipo ambiente em características sob efeito maternal em bovinos Nelore criados no Trópico Úmido do Brasil por meio de norma de reação

Genotype environment characteristics in maternal effect in Nelore cattle raised in the Humid Tropics of Brazil by way of reaction norms

RESUMO

Norma de reação é um estudo de interação genótipo ambiente (IGA) que observa as vias alternativas dos genótipos em diferentes ambientes. Objetivou-se com este trabalho verificar a IGA por meio de modelo de norma de reação dos pesos aos 120 (P120) e 210 (P210) dias de idade em bovinos da raça Nelore criados na região do Trópico Úmido do Brasil. As gradientes ambientais foram obtidas por soluções dos grupos de contemporâneos, que serviram de covariáveis no modelo de regressão aleatória via normas de reação. A média para peso aos 120 dias de idade P120 foi de 127,97 Kg, as gradientes ambientais variaram de -27 a +26 kg. Para Peso aos 210 dias de idade a média foi de 185,60 Kg, e as gradientes variaram de -54 a + 55 kg. Houve alterações de escala dos valores genéticos e das herdabilidades entre os gradientes para os dois pesos, as correlações genéticas dos valores genéticos também foram similares para os dois pesos que apresentaram-se altas entre os gradientes próximos e baixas e até negativas entre os ambientes extremos. As inclinações que representa a sensibilidade ambiental foram altas, havendo alterações de escala e alterações de classificação de ambos os pesos quando separou-se os os dez touros com maiores números de filhos, quando foi avaliado as inclinações dos dez touros com maiores valores genéticos observou-se que para P120 as inclinações foram diferentes das inclinações dos P210. Os resultados permitem caracterizar IGA no trópico úmido do Brasil, e que as normas de reações dos animais permitem obter maior precisão de seleção e maior progresso genético.

Palavras-chave: gradientes ambientais, sensibilidade ambiental, trópico úmido

ABSTRACT

Genotype environment characteristics in maternal effect in Nelore cattle raised in the Humid Tropics of Brazil by way of reaction norms

Norm of reaction is a study of genotype environment interaction (GEI) that observes the alternative

ways of genotypes in different environments. The objective of this work was to verify the GEI by the reaction of the weights at 120 (W120) and 210 (W210) days of age in Nelore cattle raised in the Humid Tropics of Brazil standard model. Environmental gradients were obtained for solutions of contemporary groups, which served as covariates in the random regression model via reaction norms. The mean for weight at 120 days of age was 127.97 kg W120, environmental gradients ranged from -27 to +26 kg. For weight at 210 days of age, the average was 185.60 kg, and gradients ranged from -54 to +55 kg. There were changes of scale of breeding values and heritabilities between the gradients for the two weights, the genetic correlations of breeding values were also similar for the two weights that showed up among the high gradients near and low and even negative between extreme environments. The slopes representing the environmental sensitivity were high, with changes of scale and changes in classification of both weights when separated the ten bulls with larger numbers of children, has been reported when the slopes of the ten bulls with high genetic values observed that W120 for the slopes were different from the slopes of W210. The results allow to characterize GEI in the humid tropics of Brazil, and that standards of animal reactions allow greater accuracy of selection and greater genetic progress.

Key-words: environmental gradients, environmental sensitivity, humid tropics

INTRODUÇÃO

Os sistemas de exploração bovina no Brasil são bastante heterogêneos, essas diferenças estão principalmente relacionados à diversidade climática, ambiental, edáfica e aspectos socioculturais. Essa diversificação implica em diferentes circunstâncias para a expressão do genótipo, o que contribui para o ambiente modificar a extensão com a qual o genótipo será expresso, por isso existe a possibilidade de que o melhor genótipo em um determinado ambiente não o seja em outro (Warwick e Legates, 1980).

O entendimento tanto da genética como do ambiente são essenciais para o desenvolvimento e produtividade dos sistemas de produção de bovinos de corte, pois a interação genótipo-ambiente (IGA) pode prejudicar o progresso genético das populações de bovinos de corte pelo uso inadequado de reprodutores, sendo fundamental sua consideração nas avaliações genéticas dos programas de melhoramento genético.

A IGA caracteriza-se pela resposta diferenciada de genótipos às variações ambientais (FALCONER; MACKAY, 1996). Assim, um desafio constante para os pecuaristas é tentar modelar ou até mesmo controlar o efeito do ambiente sobre a produção animal, pois, a IGA dificulta a seleção e a recomendação dos genótipos.

No entanto, a inclusão da IGA nas análises genéticas é, em geral, bastante discutível, uma vez que, no Brasil os nichos econômicos e de seleção da pecuária têm sido desempenhados em ambientes diversos. Alguns métodos têm sido reportados para o estudo da IGA, e ultimamente estudos de modelos de normas de reação tem merecido grande destaque, uma vez que, este método permite avaliar a expressão fenotípica de um mesmo genótipo em diferentes gradiente ambiental, sendo útil quando os fenótipos variam gradualmente e continuamente sob os diferentes ambientes (DE JONG, 1995).

Dessa forma, na norma de reação os ambientes não são apenas os locais onde os animais são criados, mas também podem ser temperatura, latitude, longitude, regime alimentar, ou seja, tudo que pode levar a variações no desempenho produtivo (AMBROSINI et al., 2012).

No Brasil, resultados recentes de estudos da sensibilidade ambiental de bovinos, por meio das normas de reação dos indivíduos nos ambientes, vêm sendo apresentados, tais como os de Pégolo et al. (2009), Pégolo et al. (2011) para a raça Nelore, Cardoso et al. (2005), Cardoso et al. (2007) e Cardoso et al. (2012) para a raça Angus, Cardoso et al. (2011) para a raça Hereford, Corrêa et al. (2009) para raça Devon, Mattar et al. (2007, 2011) para as raças Caracu e Canchim respectivamente, entre outros.

Estes estudos permitem identificar rebanhos que possuam variabilidade para sensibilidade ambiental e, por conseguinte, incluir estas variações adaptativas nas avaliações genéticas, com o objetivo de uniformizar desempenhos em ambientes distintos ou privilegiar genótipos que respondam às melhorias ambientais.

O objetivo do presente trabalho foi de verificar a IGA dos pesos aos 120 (P120) e 210 (P210) dias de idade em bovinos da raça Nelore criados na região do Trópico Úmido do Brasil.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados registros de pesos de animais da raça Nelore, participantes do Programa de Melhoramento Genético da Raça Nelore (PMGRN) da Associação Nacional de Criadores e Pesquisadores (ANCP), pertencentes aos estados do Maranhão, Mato Grosso, Pará, Rondônia e Tocantins, nascidos entre os anos de 1993 a 2010. As características analisadas foram P120 e P210, que inicialmente continha 54.980 registros.

Os grupos contemporâneos (GC) foram formados pelo agrupamento de animais por fazenda, grupo de manejo e sexo, totalizando 349 GC. A conexão entre os GC foi obtida pelo software AMC

(ROSO; SCHENKEL, 2006), em que GC com menos de 10 laços genéticos foram eliminados. Concomitantemente, foram eliminados GC com menos de quatro animais e touros com menos de três filhos por GC. Após as restrições restaram 50.997 registros de P120, e 51.300 para P210.

Em seguida foi realizada uma primeira análise no conjunto de dados, utilizando o programa Wombat (MEYER, 2012), em análise unicaracterística, considerando-se modelo animal completo, e os GC como efeito aleatório (SHAFFER, 2009). O intuito dessa primeira rodada foi gerar as soluções dos grupos de contemporâneos. O modelo utilizado pode ser representado por:

$$y = X\beta + Z_1a + Z_2m + Z_3p + Z_4gc + e$$

em que: y = vetor de observações (P120 e P210); β = vetor dos efeitos fixos (linear e quadrático para idade da vaca); a = vetor do efeito genético aditivo direto; m = vetor do efeito genético aditivo maternal; p = vetor do efeito de ambiente permanente maternal; gc = efeito ambiental aleatório (grupo de contemporâneos); X = matriz de incidência que associa β com y ; Z_1 , Z_2 e Z_3 = matrizes de incidência dos efeitos genéticos direto, maternal e de ambiente permanente maternal, respectivamente; e = vetor dos efeitos residuais.

Em seguida, análises de regressão aleatória foram realizadas considerando como covariáveis, a idade da vaca ao parto (efeito linear e quadrático) e a gradiente ambiental padronizada (solução dos GC), e como efeito aleatório o efeito genético aditivo direto. Neste modelo considerou-se a heterogeneidade de quatro classes de variâncias residuais (1-13; 14-27; 28-41; e 42-64). O modelo de regressão aleatória utilizado foi:

$$y_{ij} = EF + \sum_{m=0}^{k_b=1} b_m \Phi_m(t_g) + \sum_{m=0}^{k_A=2} \alpha_{jm} \Phi_m(t_{gj}) + \sum_{m=0}^{k_M=1} \gamma_{jm} \Phi_m(t_{gj}) + \sum_{m=0}^{k_Q=1} \rho_{jm} \Phi_m(t_{gj}) + e_{gj}$$

em que, y_{ij} = i -ésima medida do j -ésimo animal; EF = conjunto de efeito fixo; b_m = coeficiente de regressão fixo para modelar a curva média da população; $\Phi_m(t_g)$ = função de regressão polinomial de Legendre que descreve a curva média da população de acordo com gradiente ambiental; $\Phi_m(t_{gj})$ = funções de regressão polinomial de Legendre que descrevem as curvas de cada animal j , de acordo com a gradiente (t_{gj}), para os efeitos aleatórios genético aditivo direto e maternal, ambiente permanente maternal; α_{jm} , γ_{jm} , ρ_{jm} = coeficientes de regressão aleatórios genético aditivo direto e maternal, de ambiente permanente maternal, respectivamente, para cada animal; k_b , k_A , k_M e k_Q = ordem dos polinômios de Legendre dos efeitos incluídos no modelo; e_{gj} = erro aleatório associado a cada gradiente ambiental g do animal j .

Em notação matricial o modelo de regressão aleatória foi o seguinte:

$$y = X\beta + Z_1\alpha + Z_2\gamma + W_2\rho + e$$

Assumindo $E[y] = X\beta$, $E[\alpha] = 0$, $E[\gamma] = 0$, $E[\rho] = 0$ e $E[e] = 0$ e a matriz de (co)variância determinada por:

$$E \begin{bmatrix} \alpha \\ y \\ p \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X\beta \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \text{Var} \begin{bmatrix} X\beta \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_a \otimes A & 0 & 0 & 0 \\ 0 & k_M \otimes A & 0 & 0 \\ 0 & 0 & k_P \otimes I_{N_a} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & R \end{bmatrix}$$

em que, y = vetor de observações; β = vetor de efeitos fixos (EF y b_m); α = vetor de coeficientes aleatórios genéticos aditivos diretos; γ = vetor de coeficientes aleatórios genéticos aditivos maternos; δ = vetor de coeficientes de ambiente permanente do animal; ρ = vetor de coeficientes de ambiente permanente materno; X , Z_1 , Z_2 , W_1 , W_2 = matrizes de incidência correspondentes aos efeitos fixos e os efeitos aleatórios genético aditivo direto, genético maternal, ambiente permanente do animal e ambiente permanente maternal, respectivamente; K_A , K_M , K_C e K_Q = matrizes de variâncias e (co)variâncias entre os coeficientes de regressão aleatória para os efeitos genéticos aditivos direto e maternal e de ambiente permanente do animal e maternal, respectivamente; A = matriz de parentesco; I = matriz de identidade; N_a e N_m = número de animais com dados e número de vacas, respectivamente; R = matriz de (co) variâncias residuais; e = vetor de resíduos.

Os componentes de (co)variâncias foram estimados pelo método de máxima verossimilhança restrita, utilizando o programa WOMBAT (MEYER, 2012). Foram utilizados polinômios ortogonais de Legendre para modelar os efeitos genéticos aditivos diretos, maternal e de ambiente permanente maternal. Foi considerado polinômio de legendre de ordem um para efeito maternal e de ambiente permanente maternal, dessa forma, o efeito maternal e de ambiente permanente maternal foram iguais para todos os gradientes. Todas as análises convergiram pelo algoritmo simplex.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A média e desvio padrão encontrados para P120 e P210 foram de $127,97 \pm 19,63$ e $185,60 \pm 28,56$ kg, respectivamente. As soluções de gradiente ambiental variaram de -27 a + 26 kg para P120. As estimativas de variância genética aditiva direta e herdabilidade direta para P120 (Figuras 1A e 1B, respectivamente), apresentaram tendências de aumento gradual à proporção que os ambientes fossem mais favoráveis, o que caracteriza efeito de escala de IGA. Assim, a melhor resposta à seleção para

esta característica, é também dependente dos ambientes aos quais os animais são submetidos, uma vez que em ambientes mais favoráveis, a herdabilidade apresenta estimativas altas, em torno de 0,6.

Pegolo et al. (2011), encontrou valores de herdabilidades de 0,11 para o extremo inferior e 0,31 para o extremo superior, referente ao P120, valores menores que os encontrados no presente trabalho, no entanto, estes autores consideraram o modelo touro, retirando a influência materna nos dados, e neste trabalho foi considerado polinômio de Legendre de ordem um, para efeito maternal e de ambiente permanente maternal, dessa forma, o efeito maternal e de ambiente permanente maternal foram iguais para todos os gradientes, contribuindo de forma igual entre os gradientes.

As soluções de gradiente ambiental variaram de - 54 a + 55 kg para P210, caracterizando níveis ambientais de baixo e alto nível de manejo. Assim, variações das estimativas de variâncias genéticas direta e herdabilidade direta indicam dependência de melhoria da gradiente, e conseqüentemente presença de IGA.

As tendências das estimativas de variância genética direta e herdabilidade direta para P210 se mostraram similares às tendências de P120 (Figuras 2A e 2B, respectivamente), e assim, maiores estimativas foram proporcionais ao aumento ou melhoria da gradiente ambiental. A variação da herdabilidade direta, entre o pior e melhor gradiente ambiental foi alta, variando de 0,54 para o ambiente menos favorável e 0,85 para o mais favorável, sugerindo assim, que a pressão e seleção para esta característica é forte em alguns rebanhos do Trópico Úmido do Brasil.

As variações das gradientes ambientais foram maiores para P210, conseqüentemente, as variações ambientais revelam ser maiores nesta característica. Isso se deve ao fato, de que no P120 os indivíduos são praticamente dependentes exclusivos da vaca. Fato este, que não se aplica ao P210, em que os indivíduos não são totalmente dependentes do efeito materno, como também de outros fatores ambientais externos, pois já podem se alimentar nesta fase, e assim podendo se diferenciar quanto aos diferentes tipos de manejos.

Nepomuceno et al. (2013) trabalhando com IGA em modelo animal, apresentaram resultados inferiores para P210 em rebanhos Nelore dos estados do Maranhão, Mato Grosso e Pará. Da mesma forma esses resultados são superiores aos reportados por Matos et al. (2013) na Amazônia Legal. Já Pegolo et al. (2011) trabalhando com normas de reação encontraram valores de 0,14 para o extremo inferior e 0,30 para o extremo superior, referente ao P210. Valores relativamente baixos em relação ao presente trabalho, lembrando que a metodologia utilizada por estes autores foram diferentes, como citado anteriormente.

O efeito em escala pode ser observado ao longo de todos os níveis ambientais, para ambas as características, P120 e P210, com aumento das estimativas de variância genética aditiva direta, herdabilidade direta e dos valores genéticos dos reprodutores, com a melhora no ambiente.

As estimativas das covariâncias genéticas e das correlações genéticas mostraram um intenso efeito de IGA, tanto para a característica P120 e P210, ao longo das gradientes ambientais, havendo menor correlação entre ambientes extremos, ou seja, entre o melhor e o pior (Figuras 3A e 3B). O formato de sela das figuras se explica pela maior correlação entre os ambientes considerados similares e menores correlações entre os ambientes extremos.

Resultados similares de correlações foram encontrados por Pégolo et al. (2011), porém estes autores encontraram estimativas de correlações maiores para ambos os pesos (P120 e P210). Outros autores encontraram resultados próximos para diferentes pesos (AMBROSINI et al., 2012; CARDOSO et al., 2011; CARDOSO; TEMPELMAN, 2012; CÔRREIA et al., 2009; MATTAR et al., 2011; PÉGOLO et al., 2009).

A correlação genética nos valores próximos do gradiente ambiental é altamente positiva, acima de 0,80 (Figuras 3A e 3B), entretanto, apresentado valores negativos entre os extremos do gradiente ambiental. Esses resultados das estimativas de correlações mostram a caracterização dos ambientes indicam que a genética necessária para produção nos ambientes muito adversos é diferente daquela que produz melhor nos ambientes razoáveis e bons.

Especificos ambientes com diferentes herdabilidades resultariam em ganhos genéticos satisfatórios se essa tecnica fosse adotada, principalmente para rebanhos de ambientes favoráveis, onde as herdabilidades se motraram altas.

Como a IGA pressupõe diferença de sensibilidade nos indivíduos avaliados, a magnitude do componente de variância atribuído ao coeficiente de regressão linear é a chave para avaliar a existência da interação. No presente estudo a correlação entre o intercepto e o nível de inclinação da reta foi de 0,72, indicando que conforme a variação da gradiente ambiental, a reclassificação dos animais é alterada.

Altos valores pressupõem heterogeneidade de sensibilidades, ou seja, normas de reação com diferentes inclinações. Situações como esta apresentam modificações de variância genética ou até modificações na ordem de classificação nos diferentes pontos do intervalo de qualidade de ambientes considerados. Baixos valores pressupõem normas de reação quase paralelas em relação ao eixo x dos ambientes, sem modificações de variância genética aditiva e de ordem de classificação em diferentes pontos do intervalo. Nesta situação, não há necessidade de se procurar os melhores genótipos em ambientes diferentes.

Em modelos de normas de reação com regressão aleatória obtém-se o coeficiente de regressão linear, que representa a magnitude de inclinação da norma de reação. De acordo com Ambrosini (2012), maiores valores do coeficiente de regressão linear, significa maiores inclinações e consequentemente maiores seriam as sensibilidades ambientais.

Como a metodologia que utiliza a norma de reação para o estudo da IGA supõe que o ambiente seja classificado sobre qualquer escala e também que as características possuam continuidade fisiológica sobre o ambiente (DE JONG; BIJMA, 2002), permitindo distinguir a capacidade dos genótipos em serem mais ou menos sensíveis às mudanças ambientais. Assim, no presente trabalho, quando considerou-se animais que tiveram maior representatividade no conjunto dos dados, dez touros, com maior número de filhos, que foram os mesmos, tanto para P120 quanto para P210, observou-se alteração na classificação genética dos mesmos, conforme a mudança da gradiente ambiental, nos pesos aos 120 e 210 dias de idade (Figuras 4A e 4B).

Para P120 os animais apresentaram inclinações entre -7,5 a 3,98. Já para P210 observou-se inclinações de -7,93 a 23,7 com valores positivos relativamente altos, mostrando que os touros para essa característica apresentam maiores diferenças entre os ambientes. necessariamente o mesmo em outro ambiente (Figuras 4A e 4B).

Em um modelo de norma de reação com regressão aleatória linear a pressuposição assumida é que as normas de reação são lineares, ou seja, os animais respondem linearmente a um gradiente ambiental contínuo. Segundo Valente (2007), atribui-se a cada animal avaliado, dois coeficientes de regressão aleatórios (intercepto e linear) que predizem o valor genético em função da qualidade do ambiente. Assim, maiores valores de coeficientes de regressão linear significam maior sensibilidade à mudança ambiental.

Resultados similares foram reportados por Mattar (2011) com bovinos da raça Canchim, Cardoso e Tempelman (2012) em Angus, da região sul do Brasil e Rodrigues (2012) com bovinos da raça Nelore Mocho, no Nordeste do Brasil.

Segundo vários autores (De Jong; Bijma, 2002; Komoldin, 2003; Kolmodin; Bijma, 2004; Mattar, 2011) existe um ambiente ideal para obter maior resposta à seleção, pois o nível de inclinação da norma de reação deve ser observado, para ser selecionado genótipos plásticos nos ambientes em que se obteria maior resposta.

Analisando os valores genéticos de dez dos melhores touros, no P120 foi observado inclinações variando de -39,29 a -21,62, demonstrando presença de IGA (Figura 5A), representada principalmente, pela queda dos valores genéticos à medida que há uma melhoria no ambiente, com mudança na classificação dos animais pelos valores genéticos diretos, nos gradientes ambientais.

Já para P210, os dez animais com maiores valores genéticos, apresentaram inclinações positivas, variando de 1,39 a 21,59, demonstrando presença marcante e acentuada de IGA (Figura 5B). Comparando a Figura 5A e 5B verificou-se uma discrepância quanto à alteração na classificação dos animais e na magnitude dos graus de inclinação da reta, o que pode ser explicado por algum efeito de indivíduo, o que de certa forma pode ter influenciado nas inclinações do P120, resultando em menor diferença entre os touros, quando comparado ao P210. Dessa forma há necessidade de se estudar com maior riqueza de detalhe a contribuição do efeito maternal na IGA.

CONCLUSÕES

Foi constatada a presença de IGA para peso aos P120 e P210 dias de idade em bovinos Nelore no Trópico Úmido do Brasil, sendo essa verificada devido ao efeito de escala.

As estimativas de herdabilidade para as características P120 e P210 variou conforme o nível ambiental considerado, assim, a resposta à seleção poderá ser diferenciada para estas características, em cada gradiente ambiental.

Os programas de avaliação genética devem considerar a IGA e a heterogeneidade da variância genética no gradiente ambiental, via modelos normas de reação, para aumentar a precisão de seleção e o progresso genético em cada ambiente específico.

REFERÊNCIAS

AMBROSINI, D. P.; CARNEIRO, P. L. S.; NETO, J. B.; MALHADO, C. H. M.; MARTINS FILHO, R., & CARDOSO, F. F. Interação genótipo× ambiente para peso ao ano em bovinos Nelore Mocho no Nordeste do Brasil. **Pesq. agropec. bras., Brasília**, v. 47, n. 10, p. 1489-1495, 2012.

CARDOSO, F. F.; CAMPOS, L. T.; CARDELLINO, R. A. Caracterização de interação genótipo-ambiente no ganho pós-desmama de bovinos Angus via normas de reação. **Reunião anual da sociedade brasileira de zootecnia**, v. 42, 2005.

CARDOSO, F. F.; OLIVEIRA, M. M.; CAMPOS, L. T. Modelos hierárquicos bayesianos para estudo

de interação genótipo-ambiente via normas de reação aplicados ao ganho pós-desmama de bovinos Angus. **Reunião anual da sociedade brasileira de zootecnia**, v. 44, p. 608, 2007.

CARDOSO, L.L.; BRACCINI NETO, J.; CARDOSO, F.F.; COBUCCI, J.A.; BIASSUS, I.O.; BARCELLOS, J.O.J. Hierarchical Bayesian models for genotype \times environment estimates in post-weaning gain of Hereford bovine via reaction norms. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, p.294-300, 2011.

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, n. 7, p. 2130-2141, 2012.

CORRÊA, M. B. B.; DIONELLO, N. J. L.; CARDOSO, F. F.. Caracterização da interação genótipo-ambiente e comparação entre modelos para ajuste do ganho pós-desmama de bovinos Devon via normas de reação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 8, p. 1468-1477, 2009.

DE JONG, G. BIJMA, P. Phenotypic plasticity as a product of selection in a variable environment. **The American Naturalist**. v. 145, p.493-512, 1995.

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.

FALCONER, D.S.; MACKAY, T.F.C. **Introduction to quantitative genetics**. Harlow: Longman Group Ltda, 1996. 464p.

KOLMODIN, R. **Reaction norms for the study of genotype by environment interaction in animal breeding**. vol. 437. 2003

KOLMODIN, Rebecka; BIJMA, Piter. Response to mass selection when the genotype by environment interaction is modelled as a linear reaction norm. **Genetics Selection Evolution**, v. 36, n. 4, p. 1-20, 2004.

LIRA, T. S. D.; PEREIRA, L. D. S.; LOPES, F. B.; LÔBO, R. B.; SANTOS, G. C.; FERREIRA, J. L. Tendências genéticas para características de crescimento em rebanhos nelore criados na região do trópico úmido do Brasil. **Ciência Animal Brasileira**, v. 14, n. 1, p. 23-31, 2013.

MATOS, A. D. S.; SENA, J. D. S. D. S.; MARCONDES, C. R.; BEZERRA, L. A. F.; LÔBO, R. B.; RORATO, P. R. N.; ARAÚJO, R. O. Interação genótipo-ambiente em rebanhos nelore da Amazônia Legal. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 14, n. 3, 2013.

MATTAR, M.; OLIVEIRA, J. A. D.; MEIRELLES, S. L.; QUEIROZ, S. A. D.. Efeitos genéticos e ambientais sobre o perímetro escrotal de animais da raça Caracu. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, n. 6, p. 2010-2015, 2007.

MATTAR, M.; SILVA, L. O. C.; ALENCAR, M. M.; CARDOSO, F. F. Genotype× environment interaction for long-yearling weight in Canchim cattle quantified by reaction norm analysis. **Journal of animal science**, v. 89, n. 8, p. 2349-2355, 2011.

MEYER, K. "WOMBAT" - **Digging deep for quantitative genetic analyses by restricted maximum likelihood**. In: WORLD CONGRESS ON GENETIC APPLIED TO LIVESTOCK PRODUCTION, 8., 2006, Belo Horizonte. *Proceedings...* Belo Horizonte, 2012. (CD-ROM).

NEPOMUCENO, L. L.; LIRA, T. S. D.; LOPES, F. B.; LÔBO, R. B.; FERREIRA, J. L. Interação genótipo-ambiente para características sob efeito maternal na raça Nelore nos estados do Maranhão, Mato Grosso e Pará. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 14, n. 2, 2013.

PÉGOLO, 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.

PEGOLO, N. T.; ALBUQUERQUE, L. G.; LÔBO, R. B.; DE OLIVEIRA, H. N. Effects of sex and age on genotype× environment interaction for beef cattle body weight studied using reaction norm models. **Journal of animal science**, v. 89, n. 11, p. 3410-3425, 2011.

RODRIGUES, D. T. p.70. **Interação genótipos ambientes em animais via normas de reação**. Tese - Doutorado. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa. 2012.

ROSO, V.M.; SHENKEL, F.S. AMC – A computer program to assess the degree of connectedness among contemporary groups. In: **WORLD CONGRESS ON GENETICS APPLIED TO LIVESTOCK PRODUCTION**, 8., 2006, Belo Horizonte. Belo Horizonte: 2006. p.27-26.

SCHAEFFER, L. R. **Contemporary Groups Are Always Random**. 2009. p. 359-361.

VALENTE, B. D. **Estruturas de covariância de peso em função da idade de animais Nelore das regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil**. Dissertação – Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2007.

WARWICK, E.J. Y J. LEGATES. **Cría y mejora del ganado**. 3rd ed. México: McGraw-Hill, 1980. 623 p.

AGRADECIMENTOS

A ANCP pela concessão dos dados.

A CAPES pela concessão de bolsa de estudo.

FIGURAS

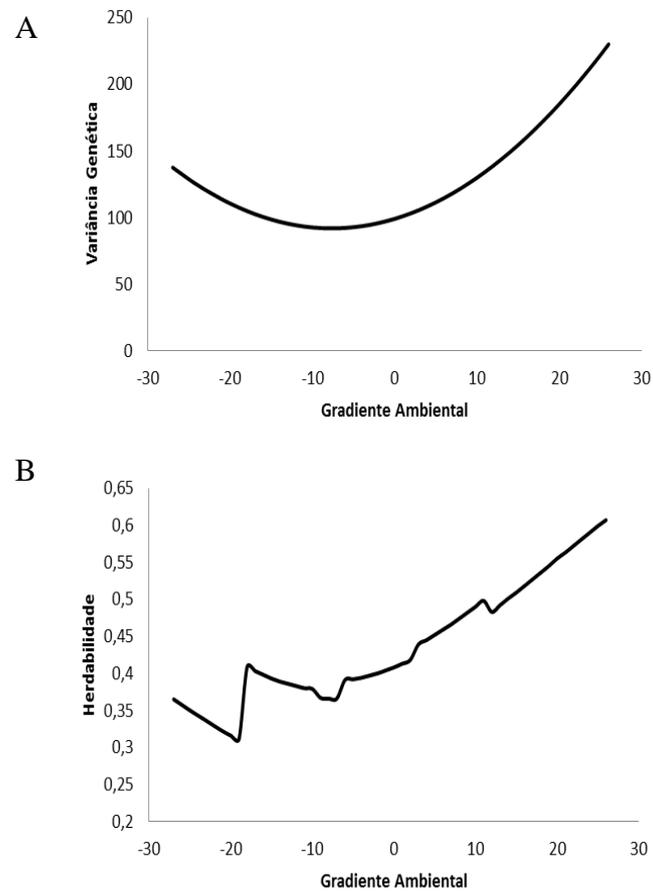


Figura 1. Tendências das estimativas de variância genética aditiva direta (A) e herdabilidade direta (B) para P120 nos modelos propostos pela gradiente ambiental.

Fonte: Elaboração dos autores

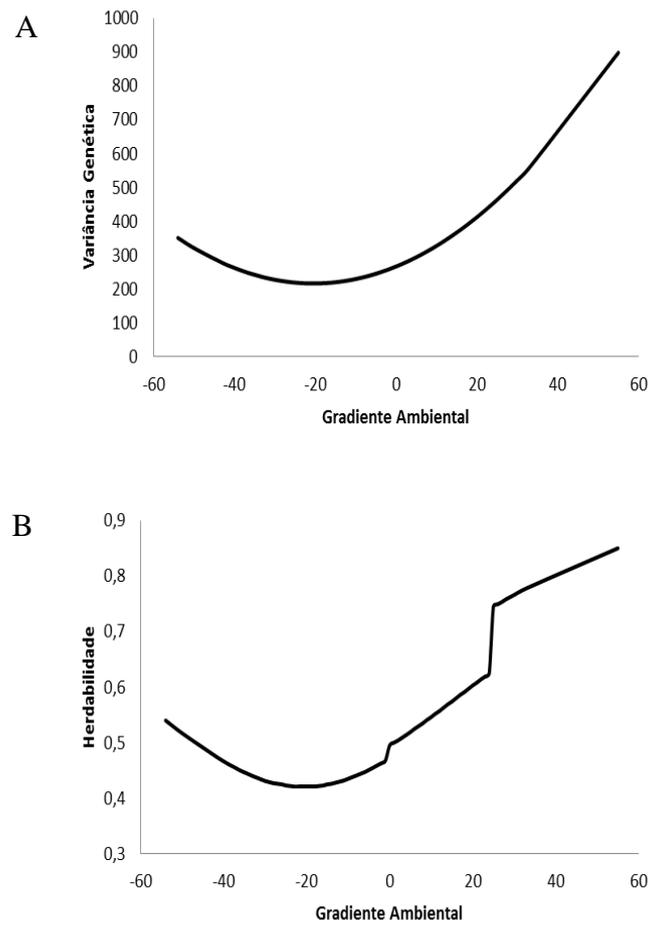


Figura 2. Tendências das estimativas de variância genética aditiva direta (A) e herdabilidade direta (B) para P210 nos modelos propostos pela gradiente ambiental.

Fonte: Elaboração dos autores

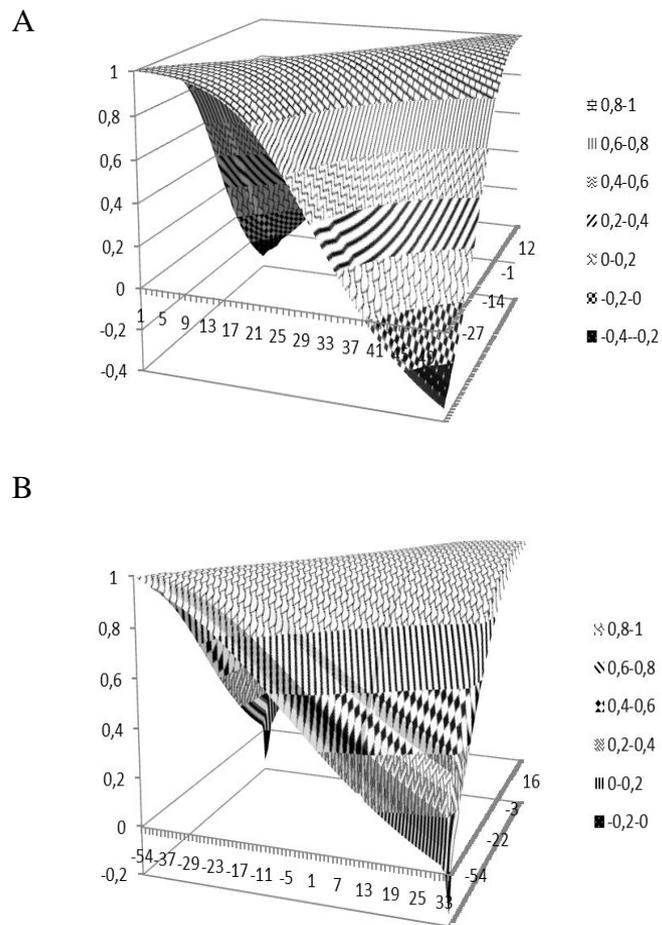


Figura 3. Gráfico de superfície de resposta das correlações entre os valores genéticos e a gradiente ambiental para P120 (A) e P210 (B).

Fonte: Elaboração dos autores

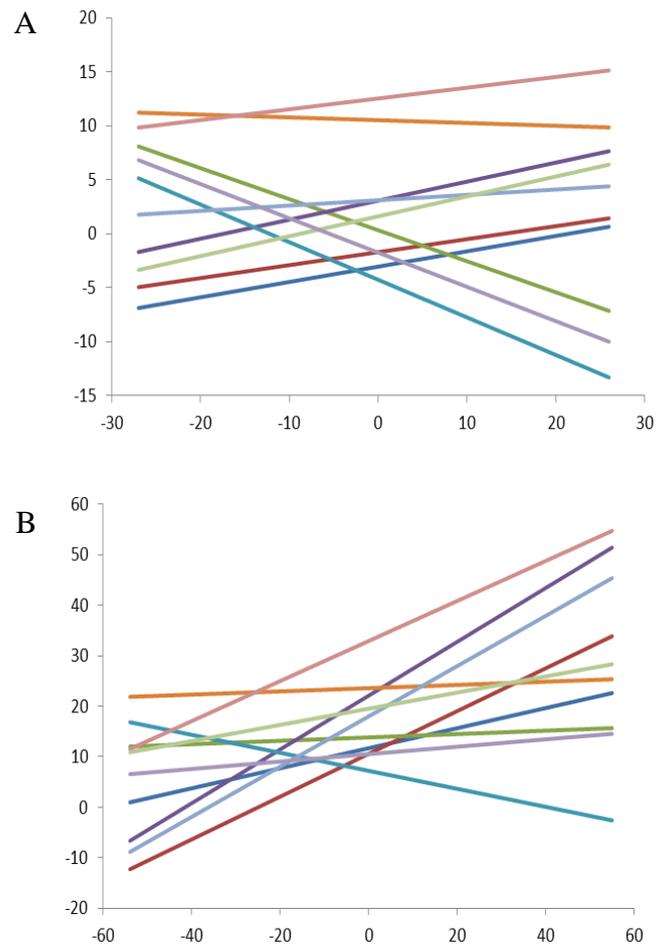


Figura 4. Norma de reação ao longo da gradiente ambiental para P120 (A) e P210 (B) dos dez touros com maiores números de filhos.

Fonte: Elaboração dos autores

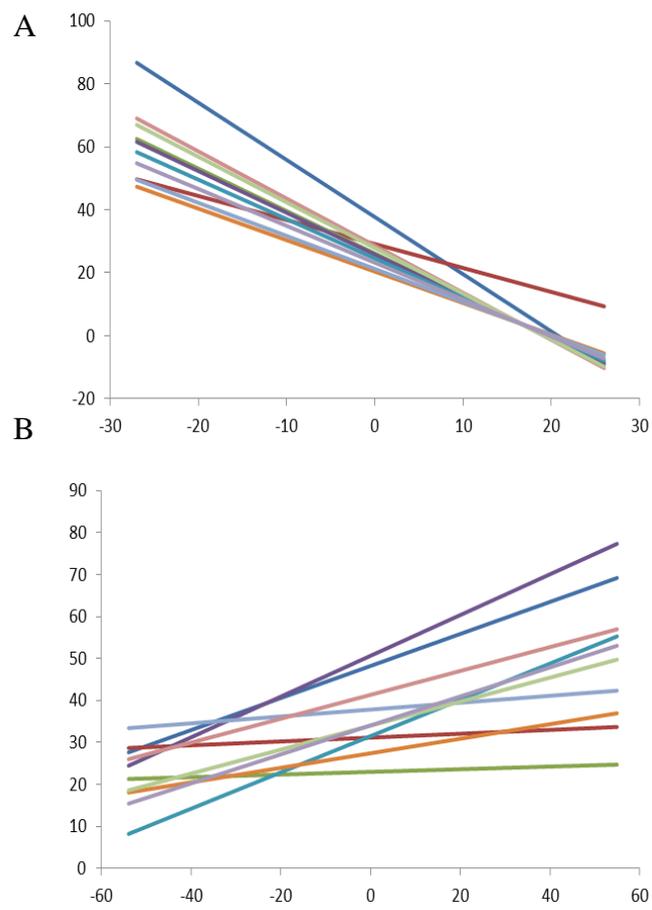


Figura 5. Norma de reação ao longo da gradiente ambiental para P120 (A) e P210 (B) dos dez touros com melhores valores genéticos.

Fonte: Elaboração dos autores