

LUCIANA SALLES DE FREITAS

**ESTUDO DA INTERAÇÃO GENÓTIPO-AMBIENTE
PARA CARACTERÍSTICAS PRODUTIVAS EM
BOVINOS GIR LEITEIRO**

Tese apresentada ao programa de Pós-graduação em Zootecnia da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Zootecnia

Área de concentração: Genética e Melhoramento Animal

Orientador: Martinho de Almeida e Silva

Co-orientador: Rui da Silva Verneque

F866e Freitas, Luciana Salles de, 1982-
Estudo da interação genótipo-ambiente para características produtivas em bovinos Gir Leiteiro / Luciana Salles de Freitas. – 2012.
75p.: il.
Orientador: Martinho de Almeida e Silva
Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Veterinária
Inclui bibliografia

1. Bovino de leite – Genética – Teses. 2. Bovino de leite – Aspectos ambientais - Teses. 3. Genética animal – Teses. 4. Leite – Produção – Teses. I. Silva, Martinho de Almeida e. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Veterinária. III. Título.

CDD – 636.214 082

Tese defendida e aprovada em 27 de fevereiro de 2012 pela comissão examinadora constituída por:

Prof. Martinho de Almeida e Silva
(Orientador)

Prof Fernando Enrique Madalena

Prof Fábio Luiz Buranelo Toral

Dr. Ricardo Vieira Ventura

Dr. João Cláudio do Carmo Panetto

“Agir, eis a inteligência verdadeira. Serei o que quiser. Mas tenho que querer o que for. O êxito está em ter êxito, não em ter condições de êxito. Condições de palácio tem qualquer terra larga, mas onde estará o palácio se não o fizer ali?”

Fernando Pessoa, 1982

DEDICO

À minha família pelo amor incondicional.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, pelo exemplo de dedicação, pelo apoio, amor e incentivo.

Aos meus irmãos, Daniel e Alexandre, e suas famílias, que mesmo distantes e com outras preocupações estiveram presente em minha vida.

Ao Mateus e Mariah que me provam a cada dia que o amor é o maior estímulo da vida.

Ao professor Martinho, um grande mestre, que ensinou o que é o desenvolvimento profissional se baseia em estudo, dedicação e acima de tudo hombridade.

Ao Rui pela confiança e apoio.

À Universidade Federal de Minas Gerais e à Escola de Veterinária pela oportunidade de realizar este trabalho

À Embrapa Gado de Leite pela acolhida e cessão dos dados para este estudo, em especial a equipe de melhoramento. Em especial a Maria Gabriela.

À Capes\REUNI pela concessão da bolsa de estudo.

Aos amigos de pós-graduação. Em especial: Bruno, Raphael e Vívian, que participaram de cada passo da minha formação.

Aos integrantes do Grupo de Estudos do Melhoramento Animal.

Aos amigos/irmãos da “Família BH”: Amanda, Celso, Eduardo, Flávio, Kíssia, Juliana, Luciana, Paolo, Rebeca. Com destaque à irmã agregada Fabiana Ferreira, que esteve ao meu lado nos momentos finais e mais tensos.

Aos amigos que carregou no coração e que nem sempre presentes serão sempre parte de cada conquista: Seu João, Leandro, Ana Maria, Felipe, Carol, Renata, Vanessa.

Ao Daniel pelo apoio e compreensão.

À todos que de alguma forma estiveram presentes na elaboração deste trabalho.

À Deus por ter me dado o dom da vida e a disposição por lutar sempre.

SUMÁRIO

	RESUMO	11
	ABSTRACT	12
	CAPITULO 1	13
1	Introdução	13
2	Revisão de Literatura	14
2.1	Metodologias de avaliação da avaliação da interação genótipo-ambiente.....	14
2.1.1	Norma de Reação.....	15
	Predição de normas da reação e de funções da covariância.....	16
2.1.2	Modelos de regressão aleatória.....	16
2.2	Causas e implicações da interação genótipo-ambiente em gado de leite	17
2.2.1	Causas.....	18
2.2.2	Efeitos e implicações.....	18
2.2.3	Contexto mundial.....	21
2.2.4	América-Latina.....	25
2.3	Características de importância econômica	26
2.3.1	Implicações da interação em características produtivas.....	27
2.3.2	Metodologia atual de avaliação.....	29
2.3.3	Interação genótipo-ambiente para a característica produção de leite.....	30
2.3.4	Interação genótipo-ambiente para outras características de importância econômica.....	33
3	Considerações	37
4	Referências Bibliográficas	37
	CAPÍTULO 2	
	Estabelecimento de indicador prévio da ocorrência da interação genótipo-ambiente no desempenho produtivo de filhas de touros provados da raça Gir Leiteiro	45
	RESUMO	45
	ABSTRACT	45
1	Introdução.....	46
2	Material e métodos.....	47
3	Resultados e Discussão.....	48
4	Conclusões.....	50
5	Referências Bibliográficas.....	50
	CAPÍTULO 3	
	Interação genótipo-ambiente para a característica de produção de leite na raça Gir Leiteiro no Brasil	53
	RESUMO	53

	ABSTRACT.....	53
1	Introdução.....	54
2	Material e métodos.....	55
3	Resultados e Discussão.....	58
4	Conclusões.....	60
5	Referências Bibliográficas.....	61

CAPITULO 4

Sensibilidade dos valores genéticos de bovinos da raça Gir Leiteiro às modificações dos níveis médios de produção de leite do rebanho.....

	RESUMO.....	63
	ABSTRACT.....	63
1	Introdução.....	64
2	Material e métodos.....	65
3	Resultados e Discussão.....	67
4	Conclusões.....	72
5	Referências Bibliográficas.....	72
	CONCLUSÕES GERAIS.....	74
	CONSIDERAÇÕES E IMPLICAÇÕES.....	74
	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	75

LISTA DE TABELAS

	CAPÍTULO 1	
Tabela 1	Correlações genéticas para a característica de produção total de leite aos 305 dias de lactação entre diferentes países para gado Holandês.....	32
	CAPÍTULO 2	
Tabela 1	Categoria de produção de leite em Kg.....	47
Tabela 2	Méritos genéticos (PTA) dos touros e respectiva acurácia, superioridade de suas filhas em relação à média dos rebanhos e número de filhas em cada rebanho por categoria de produção.....	49
	CAPÍTULO 3	
Tabela 1	Separação dos indivíduos em nível do rebanho e faixa de produção.....	56
Tabela 2	Número de observações, média de produção (kg) e desvio padrão (kg) para cada nível de classificação dos rebanhos.....	58
Tabela 3	Correlações genéticas para produção de leite entre os diferentes ambientes.....	59
Tabela 4	Correlações de Pearson (abaixo da diagonal) e de Spearman (acima da diagonal) entre os 10% melhores animais para os diferentes níveis de produção.....	60
Tabela 5	Distribuição dos dados produtivos em cada bioma.....	60
	CAPÍTULO 4	

Tabela 1	Dispersão dos dados em cada nível médio de produção do rebanho e desvio-padrão de produção de leite para cada nível.....	68
Tabela 2	Componentes de variância atribuídos aos coeficientes de regressão do intercepto (b0) e linear (b1) do efeito genético aditivo direto em função dos níveis de produção leite dos rebanhos.....	68
Tabela 3	Correlações entre os coeficientes de regressão aleatória para as normas de reação.....	69
Tabela 4	Variâncias residuais para cada ambiente médio de produção em cada característica.....	69

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1		
Figura 1	À esquerda presença de interação genótipo-ambiente (IGA) sem alteração da ordem de classificação dos indivíduos com alteração na variância genética, à direita presença de IGA com alteração da ordem de classificação dos indivíduos, mas sem alteração na variância genética.....	20
CAPÍTULO 2		
Figura 1	Dispersão das filhas dos touros em diferentes rebanhos dentro de quatro categorias distintas de produção de leite total.....	48
Figura 2	Valores médios para valor genético (Vg em kg) e produção total de leite (PT em kg) das filhas do touro 1 em alguns rebanhos.....	50
CAPÍTULO 3		
Figura 1	Mapa de identificação dos rebanhos Gir leiteiro participantes do Programa Nacional de Melhoramento do Gir Leiteiro (acima) e mapa dos biomas brasileiros (abaixo).....	57
CAPÍTULO 4		
Figura 1	Normas de reação de valores genéticos aditivos dos 20 reprodutores superiores para produção de leite.....	69
Figura 2	Estrutura de covariância (kg ²) do efeito genético aditivo direto em função do nível de produção do rebanho.....	70
Figura 3	Estrutura de covariância (kg ²) do efeito genético aditivo direto em função do nível de produção do rebanho para produção de gordura (acima) e proteína (abaixo).....	71
Figura 4	Normas de reação de valores genéticos aditivos dos 10 reprodutores superiores para produção de gordura (acima) e para produção de proteína (abaixo).....	72

RESUMO

As avaliações genéticas no Brasil desconsideram a existência da interação genótipo-ambiente (IGA), o que pode gerar seleção genética mais em função do ambiente do que do potencial genético dos indivíduos. Com objetivo de verificar a existência da IGA para a produção de leite, gordura e proteína na raça Gir Leiteiro no Brasil, este estudo buscou utilizar diversas metodologias para identificar esta interação em diferentes ambientes. A observação de dados fenotípicos em diferentes rebanhos proporcionou indícios da existência da interação, que embasaram estudos mais aprofundados, considerando níveis médios de produção de leite do rebanho como diferentes ambientes. Análise multicaracterística foi realizada para estimar a correlação genética entre os diferentes ambientes (níveis médios de produção e biomas), os resultados foram baixos a moderados (variaram de 0,39 a 0,53 para níveis de produção e 0,58 para biomas), indicando a ocorrência de interação genótipo-ambiente para produção de leite. Modelos de regressão aleatória, utilizando normas de reação foram utilizados para identificar a sensibilidade ambiental para produção de leite, gordura e proteína do leite dos indivíduos, aos diferentes níveis de produção do rebanho. As normas de reação se mostraram eficientes em identificar a sensibilidade dos indivíduos à modificação ambiental, com aumento da dispersão dos valores e alteração da ordem de classificação. Assim, há possibilidade de animais de maior valor genético em um ambiente poderem não apresentar a mesma superioridade em outros ambientes. Portanto a IGA deve ser considerada na avaliação genética da raça.

Palavras-chave: Bovino de leite, Correlação genética, Norma de reação, Produção de gordura, Produção de proteína, Regressão aleatória

ABSTRACT

The genetic evaluations in Brazil for milk production and other traits do not take in account the genotype by environment interaction in the model. Aiming to evaluate the genotype by environment interaction (GxE) for milk production, fat and protein content in Gyr breed in Brazil, this study was undertaken to study several methodologies used to identify this interaction (GxE) considering different environment conditions. The study of phenotype in different herds suggested the existence of GxE interaction for milk production and indicated the need of further studies to consider levels of average milk production of herd with different environments. Multivariate analysis was performed to estimate the genetic correlation between the same trait under different environment conditions (average levels of herd milk production and different biomes). The results of these studies showed the correlations varied from low to moderate (varied from .39 to .53 for levels of milk production and .58 for different biomes) suggesting a significant effect of GxE for milk production. Random regression models using reaction norms were used to identify the environment sensitivity for milk production, fat and protein of animals to changes in environment conditions. The reaction norms were efficient in identifying this sensitivity, expressed either by an increase in the dispersion of genetic values or in the changes of genetic values ranking. The results of this study indicated that animals showing higher genetic values in one environment do not maintain the same superiority in other environments, suggesting the need of including the GxE in genetic evaluations of milk production in Gyr breed in Brazil.

Keywords: Dairy Cattle, Genetic correlation, Reaction norm, Fat yield, Protein yield, Random regression

CAPITULO 1

1- Introdução

Os avanços computacionais permitiram maior intercâmbio de informações entre regiões muito distintas em todo o mundo o que possibilitou avaliações genéticas com maior número de observações por animal, metodologias mais eficientes e resultados mais precisos, com a utilização do mesmo material genético em diferentes ambientes produtivos. Mas se existe influência do ambiente nos diferentes genótipos, com as avaliações tradicionais, um determinado genótipo poderia apresentar melhor desempenho em um ambiente e pior em outro, o que caracterizaria a interação genótipo-ambiente.

De acordo com Falconer e Mackay (1996), interação genótipo-ambiente (IGA) significa que o melhor genótipo em um ambiente não é o melhor em outro, em outras palavras, uma característica medida em dois ambientes diferentes, deve ser considerada como duas características distintas. Assim, correlações genéticas entre as produções de leite de progênie do mesmo touro em ambientes diferentes podem revelar a existência de IGA, bem como sua importância, com base na magnitude. Diferenças específicas do ambiente podem ter efeito maior em alguns genótipos do que em outros e causar mudanças na ordem de classificação dos animais com melhores valores genéticos nos diferentes ambientes.

Diferenças nas expressões fenotípicas de genótipos distintos podem ser identificadas em ambientes diferentes, contudo sem alteração na ordem de classificação dos melhores valores genéticos. Neste caso, apenas a variância genética se altera. Ambientes menos favoráveis apresentam menor variância fenotípica e, conseqüentemente, genética. A utilização de material genético de um reprodutor em um ambiente onde a variância genética é menor do que o local onde ele ou seus parentes foram avaliados limita o desempenho de seus filhos e o retorno econômico que estes podem oferecer (Blake et. al., 1988, Stanton et al., 1991). Além disso, a intensificação da utilização de touros por meio da inseminação artificial para otimizar o ganho genético leva o reprodutor a ter progênies espalhadas em diferentes regiões com manejo de rebanho diferentes, o que pode atrapalhar a comparação de touros entre rebanhos e mascarar a estimativa do mérito genético de cada animal. As avaliações genéticas geralmente atribuem um valor genético para cada animal, válido para qualquer ambiente da análise, mas em razão da IGA, as magnitudes desses valores genéticos e os ganhos genéticos nos diferentes ambientes podem ser diferentes, pois parâmetros populacionais podem ser diferentes nos ambientes avaliados. Portanto, avaliações bem modeladas devem considerar os efeitos dessa interação.

Os modelos de regressão aleatória e de normas de reação possibilitam considerar a sensibilidade individual à mudança de ambiente no modelo de avaliação, o que permite evitar o uso de reprodutores muito sensíveis em propriedades com sistema de produção mais rústico, ou reprodutores pouco sensíveis em propriedades que favorecem maiores produções. Esta metodologia de avaliação da IGA é uma alternativa aos modelos tradicionais que necessitam a determinação de ambiente de forma discreta para características produtivas e, como

conseqüência a predição do valor genético mais acurada, pois os componentes de variâncias são estimados pelas respostas diretas e correlacionadas de todos os pontos ao longo do gradiente ambiental (Komoldin, 2003), o que reduz possíveis perdas econômicas.

Diante da grande importância econômica dos efeitos da interação genótipo-ambiente, e da ausência de outros trabalhos de IGA para zebu leiteiro no Brasil, este trabalho visa identificar a presença desta interação para características de produtivas em rebanhos da raça Gir Leiteiro, testando diferentes metodologias de avaliação e, considerar seu impacto sobre a avaliação genética da raça.

2 – Revisão de Literatura

2.1 – Metodologias de avaliação da interação genótipo-ambiente

Todo ser vivo tem condição de alterar sua expressão fenotípica dependendo do ambiente, se favorável ou não, e isso é chamado de plasticidade fenotípica (Bradshaw, 1965) ou sensibilidade ambiental (Falconer e Makay, 1996). A sensibilidade ambiental pode ser manifestada por alterações bioquímicas, fisiológicas ou comportamentais.

Quando existem mudanças ambientais que levam a diferentes sensibilidades do genótipo considera-se que há interação genótipo-ambiente (IGA). Assim, o desempenho de um indivíduo pode ser calculado pela soma do ambiente, do valor genético e da IGA. Se há dois genótipos em dois ambientes distintos e o desempenho destes é diferente para cada ambiente, a seleção desconsiderando a IGA pode ocasionar alteração na ordem de classificação dos animais ou apenas modificação na escala de classificação (Falconer e Mackay, 1996).

O ganho genético obtido no programa de seleção depende do ambiente em que os animais são avaliados. Assim, menor será o ganho quanto menor a proporção de animais testados no ambiente de produção. Isto foi demonstrado por Mulder e Bijma (2005), por meio de simulações, ao testarem os efeitos da interação genótipo-ambiente sobre os ganhos genéticos obtidos em vários tipos de programas de seleção, considerando dois ambientes diferentes. Se existem parentes de um reprodutor, testados em determinado ambiente diferente do que se encontra este reprodutor, as características com menor herdabilidade e/ou cuja avaliação é baseada exclusivamente em dados provenientes da avaliação de parentes apresentam menor perda de ganho genético relativo e, a perda de acurácia na identificação dos melhores reprodutores explicou melhor a diminuição dos ganhos genéticos esperados.

A avaliação da existência de interação genótipo-ambiente para determinada característica pode ser feita com diferentes metodologias. Se a obtenção de repetições de determinados genótipos e a criação em classes específicas de ambientes for possível, um delineamento fatorial entre classes de genótipos e ambientes pode ser feito para que a IGA possa ser estudada. Este delineamento permite que a análise de variância possa estimar os efeitos atribuídos ao ambiente, ao genótipo e à interação entre estes. Se não há interação significativa, o melhor genótipo em um ambiente específico será o melhor em todos os ambientes. Mas se

há interação significativa, é necessária a procura dos melhores genótipos para ambientes específicos (Falconer e Makay, 1996). Esta metodologia foi utilizada por Corrêa et. al. (2006) na investigação de interação entre efeitos de linhagem e níveis de proteína na dieta em codornas de corte e por Olson et al. (1991) para comprovar a existência de interação entre o efeito de diferentes tipos de cruzamentos e dois ambientes diferentes de criação (Nebraska e Florida) em características produtivas e reprodutivas de bovinos de corte.

Outro modo de avaliar a interação genótipo-ambiente seria por intermédio da correlação genética (Falconer e Makay, 1996). Para isso, uma característica medida em dois ambientes diferentes seria considerada como um par de características diferentes. Os mecanismos fisiológicos que definem o alto desempenho de uma característica em cada ambiente seriam diferentes entre si, e o mesmo ocorre com o conjunto de genes que determinam este desempenho. Se a correlação genética for alta, o desempenho nos dois ambientes é determinado praticamente pelo mesmo conjunto de genes, já se a correlação for baixa, o desempenho em cada ambiente é determinado por um grupo diferente de genes (Falconer e Makay, 1996). Isto explicaria a razão das filhas de um touro, criadas em um ambiente alternativo, não conseguirem o desempenho predito a partir do valor genético deste reprodutor (Stanton et. al., 1991). Porém, este tipo de metodologia pode não considerar IGA, se a interação modifica apenas a dispersão dos valores genéticos, e não a ordem de classificação (Strandberg, 2006). Este tipo de análise pode ser empregado em número indefinido de ambientes e é utilizado principalmente em dados de campo, quando é possível a predição dos componentes de (co)variância por máxima verossimilhança restrita (REML) que permitem o cálculo da correlação. Essa metodologia foi utilizada por Rorato et al. (2000) na avaliação da interação para produção de leite total na raça Holandesa em diferentes ambientes no Brasil e por Boettcher et. al. (2003), na investigação de interação entre diferentes sistemas de produção no Canadá e características de produção e reprodução de bovinos de leite.

Ao utilizar o conceito de que, a interação genótipo-ambiente ocorre em razão de diferentes genótipos poderem apresentar diferentes sensibilidades à modificação de ambiente, a interação também pode ser analisada por intermédio de regressões aleatórias. Esta metodologia permite avaliar a sensibilidade de cada indivíduo à mudanças de ambientes e investigar a existência de heterogeneidade de sensibilidades.

2.1.1- Norma de Reação

Uma norma da reação descreve o fenótipo como uma função contínua do ambiente. Os modelos de norma da reação expressam o fenótipo como uma função polinomial do valor ambiental, onde os coeficientes dos polinômios sofrem influência genética, representando mudanças graduais e contínuas dos fenótipos em diferentes ambientes (De Jong, 1995). O desempenho médio de todos os genótipos em cada ambiente é determinado pela diferença entre as médias produtivas em cada ambiente complexo, por exemplo, o nível médio da produção do rebanho, temperatura, umidade, alimentação (Perkins e Jinks, 1973)

No modelo de norma de reação uma sensibilidade ambiental é definida como a primeira derivada da função de norma de reação, ou seja, a inclinação de uma norma linear de reação (De Jong, 1995). A variação genética dos coeficientes polinomiais indicam IGA, que é a variação genética para a sensibilidade ambiental. Mudança na sensibilidade ambiental pode ser o resultado da ação da seleção diretamente nos coeficientes da norma de reação ou uma resposta correlacionada à seleção para valores fenotípicos dentro de diferentes ambientes (Via et al., 1995).

Calus e Veerkamp (2003) consideraram normas lineares para características produtivas e funcionais em gado de leite em ambientes distintos de rebanho-ano, mas os autores discutem que aumento linear no valor fenotípico não seria encontrado por razões biológicas, ou para ambientes muito diferentes. Assim, as funções polinomiais de segundo grau (normas quadráticas da reação) podem ser usadas para descrever as situações onde há um valor de ambiente considerado ótimo. Normas da reação quadráticas foram encontradas para produção de leite em relação ao pico de partos no rebanho e para produção de proteína no leite em relação à razão gordura do leite/ proteína do leite (Calus e Veerkamp, 2003).

Predição de normas da reação e de funções da covariância

Função da co-variância é uma modificação de uma característica do modelo para descrever infinitas observações da mesma característica sobre uma modificação contínua de valores ambientais. Em princípio, a função da co-variância utiliza os valores da matriz de (co)variância para descrever as (co)variâncias entre os pares das características estudadas, formando uma superfície tridimensional (Kirkpatrick e Heckman, 1989). As funções de (co)variância são usadas para modelar características que mudam ao longo do tempo, tal como curvas de crescimento e de lactação, ou em diferentes ambientes, por intermédio de modelos de norma da reação (Kirkpatrick et al., 1994).

As normas da reação são visualizadas por curvas de valores fenotípicos em diferentes ambientes. Para grande volume de dados, as normas da reação são estimadas por análises de regressão. Uma norma de reação para uma população é estimada por uma regressão fixa de valores fenotípicos médios em cada ambiente diferente. As normas de reação individuais podem ser preditas por regressão aleatória dos valores fenotípicos, que relaciona cada animal a cada ambiente, supondo que o mesmo indivíduo não pode ser medido em muitos ambientes. Um modelo de regressão aleatória e norma de reação é equivalente a uma função de (co)variância ao modelar uma característica longitudinal, pois ambos os modelos ajustam uma estrutura de (co)variância para medidas repetidas no tempo ou espaço observados (Van der Werf et al., 1998). Os coeficientes das funções de covariâncias podem ser estimados diretamente do modelo de regressão aleatória, usando-se máxima verossimilhança restrita ou amostrador de Gibbs.

2.1.2 - Modelos de regressão aleatória

Os modelos de regressão aleatórios são úteis para a análise de alguns dados longitudinais, observações que são tomadas repetidamente sobre o tempo ou o espaço, como, por exemplo, medidas de controle leiteiro, permitindo assim, modelar curvas individuais de produção de leite para cada vaca (Schaeffer e Dekkers, 1994). A característica especial do modelo de regressão aleatório é que ele inclui uma função aninhada dentro de um efeito aleatório, e permite que os componentes de variância mudem ao longo da trajetória. A aplicação em programas de seleção é modelando desvios individuais da característica por meio de uma regressão fixa em função da variável independente (Jamrozik et al., 1997).

As análises de regressão aleatória resultam em estimativas dos valores genéticos para os coeficientes da função que descreve a curva de lactação ou a norma de reação e, as (co)variâncias destes coeficientes. Os parâmetros estimados contêm as informações de mudanças das características no tempo ou espaço observado, a estrutura de (co)variância entre medidas, e as possibilidades de mudanças da forma da curva de lactação ou da norma de reação em resposta à seleção (Kirkpatrick e Heckman, 1989). Os coeficientes podem ser usados para estimar valores genéticos para o desempenho animal em um período, idade ou ambiente específico, durante o intervalo considerado (Jamrozik et al., 1997). Assim, quando houver variação genética para os coeficientes de regressão aleatórios, é possível mudar com seleção não somente o desempenho do animal em um ponto específico, mas também o padrão deste desempenho (Kolmodin, 2003).

2.2 - Causas e implicações da interação genótipo-ambiente em gado de leite

O valor fenotípico de determinada característica em um indivíduo é função de seu valor genético e da influência de ambiente. Deste modo, o valor fenotípico poderia ser representado por:

$$P = G + E;$$

em que P é o valor fenotípico, G é o valor genético e E é o desvio de ambiente.

Ao considerar este modelo, admite-se que determinadas mudanças no efeito de ambiente causam sempre a mesma influência no fenótipo, seja qual for o genótipo. Quando isto não acontece, existe interação entre o genótipo e o ambiente (Falconer, 1989).

Existem diferentes conceituações para interação genótipo-ambiente, mas todas concordam que ela representa a diferença na expressão fenotípica de determinado genótipo em ambientes diferentes. Essa diferença pode ser expressa em modificação na ordem de classificação dos indivíduos ou apenas na magnitude da diferença dos indivíduos.

Deste modo, uma modificação específica de ambiente poderia causar um efeito mais intenso em um genótipo do que em outro, podendo existir até mudança na classificação dos melhores valores genéticos quando estes valores são mensurados em diferentes ambientes (Falconer, 1989).

Quando há interação genótipo-ambiente (IGA), a expressão do fenótipo de cada indivíduo deve incluir um termo da interação genótipo-ambiente da seguinte maneira:

$$P = G + E + IGA$$

2.2.1 - Causas

As avaliações genéticas contam com dados coletados em ambientes diversos e, às vezes, sob a supervisão dos próprios produtores. Assim, sabe-se que efeito do tratamento preferencial fornecido a alguns animais pode ser fonte de viés nesta análise. Além disso, variabilidade do ambiente pode ser diferente de acordo com o tratamento despendido aos animais. Por exemplo, se os indivíduos estão no mesmo sistema alimentar, os componentes de variância podem diminuir e em sistemas diferentes, podem aumentar e variar de acordo com os diferentes sistemas produtivos (De Veer e Van Vleck, 1987).

A evolução dos processos seletivos e dos métodos de estimação de parâmetros genéticos tem proporcionado aumento na produtividade dos bovinos de leite, assim pode-se identificar variâncias heterogêneas ao longo dos anos em razão do incremento no desvio-padrão fenotípico das características associadas à produtividade e isso, segundo Van Der Werf et al. (1994), deve ser corrigido nas avaliações genéticas. Contudo, grande parte das avaliações realizadas desconsidera a heterogeneidade tanto das variâncias genéticas como das variâncias residuais. Assim, a observação de indivíduos em um ambiente com mais variações influenciará com maior impacto a avaliação genética do que a daqueles indivíduos criados em ambientes menos variáveis, pois a ponderação da característica observada será proporcional ao seu desvio-padrão (Vinson, 1987).

Falconer e Mackay (1996) destacam, como exemplo de efeito de ambiente, que raças bovinas com a maior produção de leite nas regiões temperadas apresentam menor probabilidade de apresentarem o mesmo desempenho produtivo em regiões tropicais. Isso se deve provavelmente ao fato de genes responsáveis pela variação na característica produção de leite em determinado ambiente, serem diferentes dos responsáveis pela expressão da característica em outros. Assim, a expressão da característica se torna distinta nos diferentes ambientes em que os animais serão criados.

Alem disso, os mesmos autores relatam que alguns genótipos apresentam maior efeito das diferenças ambientais do que outros, o que foi descrito como sensibilidade ambiental, que é particular de cada genótipo. Em uma população genética uniforme, cada genótipo responde de forma diferente às mudanças ambientais, como se a variância ambiental fosse própria de cada genótipo, mas a origem da variação em razão do efeito de ambiente. A utilização de material genético de um reprodutor em um ambiente onde a variância genética é menor do que o local onde ele ou seus parentes foram avaliados limita o desempenho de seus filhos e o retorno econômico que estes podem oferecer (Stanton et al., 1991).

2.2.2 - Efeitos e implicações

Avaliações genéticas bem modeladas devem considerar os efeitos dos ambientes sobre as magnitudes dos valores genéticos e os ganhos genéticos nos diferentes ambientes, que, se apresentarem diferenças significativas indicam a existência da IGA. Quando a interação é significativa, há necessidade de sua inclusão nos modelos de avaliação genética, para aumentar a acurácia das estimativas do valor genético dos touros e garantir o desempenho de suas filhas nas diferentes condições em que irão produzir (Sirol et al., 2005). Se a IGA for incluída no modelo de avaliação genética, a influência das observações provenientes de poucos rebanhos será mais limitada na avaliação dos reprodutores, podendo não influir consideravelmente na avaliação de animais com progênie em muitos rebanhos. No entanto, se não for levada em consideração pode aumentar as estimativas de variância genética aditiva, o que levaria à subestimação dos valores genéticos dos reprodutores e de sua acurácia. O aumento das estimativas da variância genética é mais prejudicial para avaliação de vacas ou de touros com filhas distribuídas em poucos rebanhos, pois correlação de meio entre filhas em poucos rebanhos é maior do que aquelas que apresentam desempenho produtivo em mais ambientes, o que permitiria uma avaliação baseada mais em ambiente do que em valores genéticos (Bueno et al., 2005).

Alencar et al. (2005) afirmam que a IGA pode provocar alterações nas variações genéticas, fenotípicas e ambientais e, portanto, pode resultar em mudanças nas estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos, o que implica na possibilidade de mudanças nos critérios de seleção, dependendo do ambiente. Diferenças entre parâmetros genéticos (herdabilidade e correlação genética) para populações criadas em ambientes diversos foram identificadas por diversos autores e, esses parâmetros influenciam diretamente o progresso genético e os métodos de seleção utilizados. Com a ampla utilização da inseminação artificial, as possíveis perdas no progresso genético justificam a preocupação quanto a inclusão da IGA nas avaliações genéticas, visando evitar diferentes desempenhos produtivos dos indivíduos testados.

Quando há interação entre genótipo e ambiente, pode haver mudanças relativas no mérito genético em cada ambiente de análise, com ou sem alteração da classificação dos indivíduos (fig. 1). A presença de IGA pode, ou não, ser acompanhada de alteração da variância genética. Caso exista, a alteração proporciona diferentes dispersões entre os valores genéticos preditos em cada ambiente (efeito de escala).

Como forma de avaliar a interação genótipo-ambiente, Falconer e Makay (1996) sugerem a correlação genética. Para isso, uma característica medida em dois ambientes diferentes seria considerada como um par de características diferentes. Os mecanismos fisiológicos que definem o alto desempenho de uma característica em cada ambiente seriam diferentes entre si, e o mesmo ocorreria com o conjunto de genes que determinam este desempenho. Se a correlação genética for alta, o desempenho nos dois ambientes é determinado praticamente pelo mesmo conjunto de genes, já se a correlação for baixa, o desempenho em cada ambiente é determinado por um grupo diferente (Falconer e Makay, 1996). A utilização de um modelo que considera diferentes expressões fenotípicas em diferentes ambientes, como características diferentes, permite considerar com facilidade as alterações nas variâncias e/ou herdabilidades.

Assim pode-se definir inúmeras características em função do ambiente visto de forma contínua (gradientes). Esse modelo utiliza funções de covariância entre gradientes ambientais (Kolmodin et al., 2003). O fenótipo é considerado como uma função polinomial do valor ambiental, em que os coeficientes dos polinômios sofrem influência genética, representando mudanças graduais e contínuas dos fenótipos em diferentes ambientes (de Jong, 1995). O parâmetro ambiental reflete as características de ambiente (características do rebanho, clima, ano, entre outras) em que o animal se encontra, e o uso desse parâmetro em funções de covariância tem a vantagem de tratar o ambiente como contínuo. Assim o valor genético dos indivíduos é dividido em parte dependente e independente do ambiente, definindo assim a norma de reação (Falconer e Mackay, 1996) e, a primeira derivada desta norma determina a sensibilidade ambiental, ou seja, o quanto um genótipo é influenciado pela variação no gradiente ambiental.

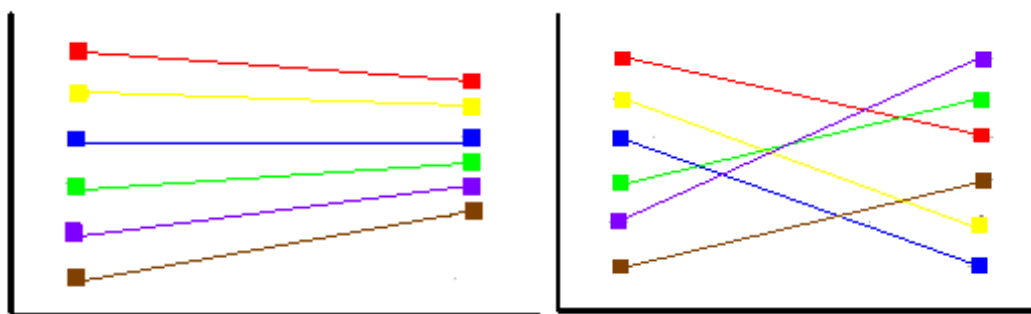


Figura 1 – À esquerda presença de interação genótipo-ambiente (IGA) sem alteração da ordem de classificação dos indivíduos com alteração na variância genética, à direita presença de IGA com alteração da ordem de classificação dos indivíduos, mas sem alteração na variância genética.

Tradicionalmente os programas de melhoramento animal se preocupam apenas com efeitos que levam ao reordenamento dos indivíduos e não com os efeitos de escala nos diferentes ambientes, mas esse efeito pode resultar em menor vantagem no desempenho do primeiro animal da classificação em relação aos demais em ambientes desfavoráveis (Kearney et al., 2004), o que poderia reduzir ganhos econômicos. Além disso, se o efeito de escala for diferente para várias características que compõe um índice com ponderações econômicas, pode resultar em reordenamento dos indivíduos avaliados. Com isso, o mais apropriado seria considerar a sensibilidade ambiental nas avaliações genéticas (Calus et al., 2005).

Torres (1998), em estudo da heterogeneidade de variância para três níveis de produção de leite de vacas Holandesas, concluiu que em um processo de seleção intenso seria falho desconsiderar a variabilidade dentro dos níveis avaliados, pois níveis com maior variabilidade teriam maior número de indivíduos selecionados. Desta forma a seleção genética seria mais em função do ambiente do que do potencial genético. Avaliação genética que ignora heterogeneidade de variância pode ser mais influenciada pelo ambiente no qual são criados os animais do que pelo seu potencial genético (Falcão et al., 2006). A seleção de touros baseada em avaliações de progênies criadas em ambientes diferentes de onde o material genético será

utilizado sem considerar o efeito dos ambientes, pode não resultar em desempenho diferente do esperado em razão da IGA (Nobre et al., 1987).

2.2.3 - Contexto mundial

O Serviço de Avaliação Internacional de touros (INTERBULL) utiliza o procedimento de avaliação entre países por análise multi-característica. Essa avaliação é, para cada país membro, função do número de progênies em cada país e das correlações genéticas entre os países (Zwald et al., 2003).

As correlações genéticas entre os países são estimadas a partir de filhas dos touros e de filhas de colaterais nos diferentes países. Essas correlações são menores do que a unidade por causa da IGA, das diferentes definições das características, e das diferenças na coleta de dados e procedimentos de análise (Zwald et al., 2003). Muitas pesquisas são dedicadas à otimização das avaliações do INTERBULL, como citado por Mulder e Bijma (2006), para melhorar as estimativas de correlações genéticas entre os países. No entanto, os efeitos de correlações genéticas sobre as possibilidades de cooperação entre programas de melhoramento de gado leite, tanto a curto quanto a longo prazo, têm recebido pouca atenção, e os efeitos dos parâmetros que embasam os programas de melhoramento (herdabilidade, intensidade de seleção, o tamanho dos programas de melhoramento) são, em grande parte, desconhecidos. Togashi et al. (2001), em estudo da correlação genética para as estimativas de produção de leite nos diferentes países testados pelo INTERBULL, em vacas Holandesas, encontraram valores que variam de 0,76 a 0,90, mas se esta correlação for menor do que 0,80 pode haver alteração da classificação dos touros testados pelo efeito da IGA. Os autores concluíram que se existe um ambiente com maior variância que outros, a seleção pode ser feita baseada na maior variância, visando a aumentar a resposta global de seleção. Além disso, relatam que quando há maior herdabilidade, a resposta à seleção é maior, o que não influi na eficiência dos métodos de seleção na presença da IGA. Calus et al. (2002), em estudo da IGA para produção de proteína em gado Holandês, encontraram correlações entre efeito de rebanhos que variavam de 0,79 a 0,91 em diferentes modelos, e concluíram que o modelo de norma de reação foi capaz de estimar valores genéticos mais confiáveis, permitindo calcular um valor genético para cada ambiente de produção.

Em estudo na Nova Zelândia, em busca de reordenamento dos touros de acordo com o ambiente produtivo, Bryant et al. (2007) encontraram heterogeneidade de variância genética, mas concluíram que não foi significativa para que o efeito da IGA fosse incluído nas avaliações genéticas, por não causar reordenamento dos indivíduos. O que corrobora com os resultados de Wiggans e VanRaden (1991) que afirmam que, apesar de aumentar a acurácia das avaliações, a heterogeneidade de variância pode causar apenas pequeno efeito na classificação dos indivíduos. Ao incluírem a heterogeneidade de variâncias na análise genética, Fahey et al. (2007) não observaram alterações significativas nas variâncias, herdabilidades e correlações entre as características de produção de leite, gordura e proteína em ambiente de pastejo e confinamento com altos valores de variância genética para a produção de leite, já os com baixa variância, as correlações foram baixas quando se incluiu a

heterogeneidade, o que sugere a existência de IGA para esses tipos de ambiente, justificando análises específicas para indivíduos que irão produzir sob estas condições.

Hayes et al. (2003), em estudo da IGA para produção de leite na Austrália, observaram que os índices de temperatura e umidade influenciaram de forma significativa a produção de leite e que, o efeito da IGA foi maior para produção de gordura e rendimento de proteína do que para a produção de leite. Além disso, concluíram que os efeitos da IGA encontrados não são artefatos da análise, pois encontraram alta correlação entre valores genéticos de touro em cada ambiente, seja utilizando apenas comparação entre-vaca ou dentro de vaca; e que a resposta individual dos touros para cada ambiente poderia ser usada para aumentar a acurácia da predição do desempenho das filhas de cada reprodutor em outro país.

Zwald et al. (2003), com objetivo de identificarem os fatores que indicam a IGA entre rebanhos, para diminuir os equívocos que ocorrem na diferenciação de países muito pequenos e próximos em diferentes ambientes para avaliação internacional de touros, compararam as produções de leite em diversos países que participam da avaliação internacional e concluíram que as filhas de touros podem ter diferentes performances se em um grande ou pequeno rebanho (correlação de 0,79), se em clima quente ou frio (correlação de 0,84) dentro do mesmo país, e que a avaliação atual só considera diferença entre países e não dentro de país. Se houvesse um agrupamento por sistema de produção e não por país, poderia aumentar o ganho genético por aumentar a acurácia da avaliação genética internacional. Ainda com a preocupação de identificar e quantificar a IGA em países Nórdicos Europeus, Kolmodin et al. (2003) utilizaram o modelo de norma de reação para características de produção de leite e fertilidade dos animais. Os autores relatam que modelos de norma de reação podem auxiliar nas avaliações entre países, pois o ambiente é medido em uma escala contínua de ambiente, evitando a formação de grupos ambientais apenas entre países, problema gerado pela ausência de laços genéticos entre os países. Como resultados, obtiveram o reordenamento dos touros entre ambientes médios e extremos quando os valores genéticos foram preditos pelo desempenho da progênie em cada ambiente, além disso concluíram que a IGA tem maior influência em características funcionais do que em características de produção.

Boettcher et al. (2003) compararam características produtivas, reprodutivas e de conformação para vacas leiteiras em diferentes sistemas de manejo alimentar no Canadá, e encontraram maior herdabilidade para as características de produção de leite em ambientes de pastejo tradicional comparado ao confinado, isso provavelmente é consequência de um efeito de escala nessas características, que foi de 20 a 40% maiores do que se esperava, para valor genético dos indivíduos testados em confinamento. Mas as correlações genéticas entre esses ambientes foram altas o que não indicaria efeitos da IGA. Provavelmente, pelo fato de que o período de confinamento avaliado ser curto, menos de um ano, e o restante do tempo os animais serem mantidos em sistemas produtivos similares. Já nos Estados Unidos, ao compararem características de produção de leite, em ambiente de pastejo e de confinamento, Kearney et al. (2004) encontraram valores próximos a 0,80 de correlações entre os ambientes, o que indica que há pelo menos um efeito de escala entre os touros nos dois sistemas, ou seja, a vantagem de touros nos rebanhos confinados é menor quando suas filhas estão produzindo

sob condições de pastejo. Além disso, houve correlação de 0,82 para produção de leite e 0,85 para produção de proteína entre os níveis mais alto e mais baixo de pastejo, assim, os autores sugerem que os genes para produção de leite e proteína podem ser expressos de forma diferente em ambientes diferentes de pastagem.

Avaliações genéticas separadas para determinados ambientes são desnecessárias, quando as correlações genéticas são elevadas. Mas existe a possibilidade de formação de agrupamentos (clusters) com características de manejo e climáticas semelhantes, em que um touro pode ter progênie em vários clusters, e a classificação dos touros poderá ser realizada dentro de cada um, embora isso possa necessitar de maior quantidade de dados observados e grande desgaste computacional (Boettcher et al., 2003). König et al. (2005) estudaram a correlação genética na Alemanha (oriental e ocidental) sob uma análise de cluster para pequenos e grandes rebanhos e concluíram que a correlação entre os ambientes foi alta, não necessitando incluir o efeito da IGA na avaliação genética, mas ressaltam que foram observadas importantes diferenças entre as variâncias residuais e de ambiente permanente para os dois ambientes estudados o que reforça a necessidade de formação de clusters (agrupamentos com características de sistema semelhantes) e não separação por regiões (ou países) na avaliação genética.

Estudo do efeito da sensibilidade ambiental em um índice de ponderação econômica da Holanda que considera produção de leite, proteína e gordura, realizado por Calus e Verkamp (2003), identificou efeito de escala semelhante para as características estudadas, necessitando apenas de um ajuste nas ponderações econômicas, apesar dos autores relatarem que o índice pode ter diferentes respostas a seleção dependendo do efeito de escala de cada característica em cada ambiente, o que leva ao reordenamento dos indivíduos. Assim, constata-se a importância no efeito de escala nos programas de melhoramento. Em estudo semelhante para características de fertilidade, Calus et al. (2003) observaram modificações na variância genética em sentido oposto ao das médias das características produtivas, o que proporcionou um aumento da importância relativa de características de fertilidade em relação às produtivas, e gerou uma reclassificação dos indivíduos selecionados com base em um índice em diferentes ambientes.

Os efeitos da cooperação entre dois países com utilização da IGA, foram estudados por Mulder e Bijma (2006), que verificaram efeitos desiguais para programas de seleção de tamanhos diferentes, os maiores ganhos genéticos foram observados nos programas menores, mas se a correlação genética for maior que 0,80 entre ambientes com tamanhos iguais de programa os ganhos chegam a ser 15% superiores. Já herdabilidade e número de filhos por touro não influenciam os resultados, se forem semelhantes nos dois ambientes. Mulder et al. (2006), com objetivo de otimização dos programas de seleção em gado de leite entre países, com a presença da IGA, concluíram que existe mesmo um ganho se as correlações genéticas são altas, mas existe sensibilidade deste ganho relacionada à intensidade de seleção praticada nos diferentes ambientes.

Com o avançar dos programas de melhoramento e a preocupação mundial em saúde e bem-estar dos animais, os efeitos da IGA nas diferentes características envolvidas com o sistema

produtivo começaram a ser estudadas. Quando se comparam as respostas à seleção para as características produção de leite, fertilidade e CCS em diferentes ambientes e, a relação entre elas, observam-se correlações genéticas muito diferentes entre os ambientes (Windig et al., 2006). Consequentemente, a resposta de uma característica à seleção comparada à outra difere entre ambientes. Além disso, se existe correlação entre as características estudadas e a seleção ocorre em um ambiente e/ou característica, mas a verificação do desempenho dos indivíduos é realizada em outro ambiente, as respostas observadas podem diferir.

O ambiente em que os valores genéticos e correlações genéticas são determinados devem ser levados em consideração quando o efeito da produção de leite sobre as características de saúde e fertilidade são avaliados para seleção (Windig et al., 2006), objetivando-se otimizar ganhos em todas as características. Para Calus et al. (2006), existe além da diferença entre os ambientes, uma ação do período de lactação influenciando nas características de saúde, como a CCS no leite. Assim o reordenamento dos animais de acordo com o ambiente é maior no início da lactação do que no final, de onde conclui-se que o efeito da IGA, para características de saúde, é mais importante no início da lactação, provavelmente pela maior incidência de mastite.

Su et al. (2006), propuseram uma metodologia em que os parâmetros genéticos e as covariáveis ambientais, consideradas desconhecidas, são estimados simultaneamente, o que possibilita isenção do conhecimento prévio sobre os efeitos ambientais. Assim, Shariati et al. (2007) utilizaram esta metodologia para identificar IGA para características de produção de leite na Dinamarca e obtiveram como resultado, mesmo em um país pequeno e com sistema produtivo padronizado, a identificação da interação para produção de leite, proteína e gordura, sendo para essa última característica com maior intensidade. Além disso, identificaram aumento nas herdabilidades e variâncias genéticas com a modificação do ambiente para as três características, concluindo que a heterogeneidade de variâncias deve ser levada em consideração com objetivo de se evitar a confusão entre as variações nos efeitos das variâncias genéticas e ambientais com os sistemas de produção.

A Austrália apresenta aumento da produtividade leiteira ao longo dos anos em razão da grande utilização de material genético de origem norte-americana, mas isto está associado a baixos desempenhos reprodutivos dos animais. Diante desta situação, Fulkerson et al. (2008) estudaram os efeitos de pastejo, sistema de produção tradicional no país, e alimentação com suplementação concentrada para produção de leite e reprodução. Os autores concluíram que houve efeito significativo da interação e que mesmo nas melhores condições de alimentação concentrada, as vacas não conseguiam expressar todo o potencial genético, apresentando perda de escore corporal, para alta produtividade e consequente baixa fertilidade. Assim se o sistema de avaliação genética realizado no país não for modificado para incluir efeito do ambiente, ou for realizado com o ambiente específico de pastejo, os produtores continuarão a ter perdas reprodutivas e gastos com concentrado, o que gera aumento no custo de produção do leite, perdendo-se a competitividade do produto no mercado. Haile-Mariam et al. (2008) ressaltam que mesmo que a correlação genética entre ambientes para uma característica seja muito baixa, a avaliação genética separada por característica deve ser extremamente

ponderada por gerar maior número de valores genéticos por touro, pois os resultados na Austrália são liberados com base em índice com ponderações econômicas. Assim, a melhor alternativa seria a inclusão da IGA nas avaliações, mas com conscientização do produtor, pois a rentabilidade final é mais importante do que bons resultados de um único componente.

Melhores alternativas para identificar a interação genótipo-ambiente e a sua utilização nas avaliações genéticas ainda têm sido muito estudadas. Lillehamm et al. (2009) buscaram a identificação de genes que poderiam ser utilizados como marcadores moleculares na identificação desta interação, por meio de suas associações com a curva de sensibilidade ambiental. Em torno de um terço das associações detectadas apresentaram correlação negativa entre o intercepto e a inclinação e, alguns deles, de acordo com o padrão efeito, são bons candidatos para acelerar a seleção de características de produção. As associações restantes tiveram correlação positiva entre o intercepto e a inclinação da curva, o que pode ser utilizado para aumentar a sensibilidade do ambiente e aumentar produção global.

2.2.4 - América-Latina

Os grandes programas de avaliação genética mundiais para produção de leite estão situados, em sua maioria, nos países desenvolvidos, que acabam por deter grande parte do material genético distribuído ao mundo. Assim, avaliações que consideram os efeitos da interação genótipo-ambiente se tornam mais pertinentes para os países latino-americanos por terem, em grande parte, condições climáticas diferentes e até mesmo de manejo. A importação de sêmen de reprodutor testado nos países desenvolvidos é uma prática corriqueira entre os produtores latinos e poucos são os países que possuem avaliações próprias ou mesmo utilizam raças adaptadas com avaliações no próprio país.

Os estudos de IGA são poucos, mas chegaram a resultados significativos para conscientização dos produtores sobre o uso adequado de material genético importado. O que foi sugerido por Vargas e Van Arendonk (2004) que compararam o ganho genético de testes de progênie realizados na Costa Rica com o ganho genético de importação de sêmen dos Estados Unidos e, concluíram que, dada a correlação genética entre os dois países em torno de 0,60, um programa de melhoramento do próprio país com base em um núcleo de seleção pode ser mais rentável do que uma estratégia baseada na importação contínua de sêmen.

Céron-Muñoz et al. (2004a), em estudo de identificação da IGA para produção de leite em vacas Holandesas no Brasil e na Colômbia, encontraram correlação genética de 0,74, o que indica que haveria reclassificação dos touros nos dois países, e assim sêmen importado nestes países levaria a filhas com diferentes desempenhos produtivos. Os autores concluem que os países devem estruturar seus próprios programas de seleção com base nos objetivos produtivos nacionais. Com a ressalva do quanto seria importante para o posicionamento dos países latino-americanos no mercado internacional de material genético, se houvesse a união destes países em uma única avaliação, mas com identificação da IGA existente.

Bueno et al. (2005), em estudo da IGA entre rebanhos Pardo-Suíço no Brasil, não observaram alteração dos componentes de covariância genética aditiva e residual quando o modelo foi ajustado para os efeitos de interação. Sendo assim, as herdabilidades para as características estudadas, produção de leite e de gordura, não se alteraram em modelos sem a inclusão dos efeitos da IGA. Os autores obtiveram maior significância para o modelo que inclui a interação em detrimento daquele que desconsidera, apesar das correlações entre valores genéticos dos indivíduos testados serem todas acima de 0,89. Assim, concluíram que o efeito da IGA poderia ser desconsiderado nas avaliações genéticas para esta raça.

Com objetivo de identificar a existência da IGA para raça Holandesa entre os Estados Unidos e o Brasil, Costa et al. (2000) compararam as correlações genéticas entre os ambientes de produção (alto e baixo desvio-padrão de produção de leite), nos EUA e o Brasil, e encontraram altas correlações genéticas (0,85), o que indica que o desempenho das filhas dos touros testados nos EUA seria o mesmo nos dois ambientes, apesar de encontrarem heterogeneidade de variâncias. Desta forma, concluíram que avaliações nacionais deveriam incorporar informações estrangeiras, visando integrar um sistema de avaliação genética. Em contra partida Rorato et al. (2000), ao visarem identificar a IGA no Brasil, dividiram os rebanhos em alto, médio e baixo nível de produção e obtiveram baixas correlações genéticas entre os níveis baixo e alto, baixo e médio, o que os fizeram concluir que a aquisição de sêmen deve ser ponderada pelo efeito do ambiente, para se obterem desempenhos desejados. Entretanto, esses mesmos autores salientam que estudos sobre IGA no Brasil são contraditórios, e necessitam mais pesquisas com base nas condições do país. Assim, no mesmo sentido de pesquisa, Falcão et al. (2006) encontraram heterogeneidade de variâncias entre os estados das regiões sul e sudeste do Brasil para a produção de leite na mesma raça, tendo como principal fator desencadeador o ambiente; e discutem que os efeitos da heterogeneidade de variância sobre a resposta à seleção dependem das magnitudes das diferenças na variância genética para produção de leite entre os estados e de suas relações com as variâncias fenotípicas. Além disso, encontraram baixas correlações genéticas entre estados.

Nas avaliações genéticas do Gir leiteiro no Brasil, observam-se variações nas médias de produção e variâncias fenotípicas elevadas para as filhas dos touros testados, isso provavelmente se deveu às grandes diferenças nas condições de clima e manejo das propriedades onde estas filhas são mantidas durante a lactação. Este resultado, dentre outros aspectos, pode ser decorrente da interação genótipo-ambiente (IGA) que influi no desempenho produtivo esperado destes animais (Norman et al., 2005).

2.3 - Características de importância econômica

Os programas de melhoramento genético se baseiam na seleção dos melhores indivíduos que serão os pais da próxima geração, assim há o aumento da frequência de alelos favoráveis à expressão da característica de interesse. Mas existem duas diferentes visões na realização da seleção, uma na qual os animais devem ser selecionados no melhor ambiente possível para que possam expressar todo seu potencial genético e outra que afirma que a seleção deve ser

realizada no ambiente onde o animal irá expressar seu potencial produtivo, pois segundo Falconer e Makay (1996), o conjunto de genes responsáveis pela expressão da característica de interesse pode variar de acordo com o ambiente em que o animal é submetido, podendo assim considerar características diferentes a expressão fenotípica do indivíduo em ambientes distintos.

Diante da grande difusão de material genético em todo mundo e da busca incessante por aumentos da produtividade a preocupação com os ganhos advindos da utilização de animais geneticamente testados, surge a preocupação com o efeito dos diferentes ambientes produtivos sobre o desempenho animal, ou seja, se o ambiente em que o animal está produzindo é capaz de influir na expressão esperada da característica, com base nos resultados preditos das avaliações genéticas. Assim, a magnitude da influencia do ambiente sobre a produção animal, se torna importante linha de estudos visando a aumentar a acurácia das avaliações e melhorar os ganhos genéticos ao longo dos anos.

A influência do meio na expressão dos genes, com conseqüente variação na expressão fenotípica esperada para uma característica em diferentes ambientes, é conhecida como interação genótipo-ambiente (IGA).

As avaliações genéticas utilizam, em sua maioria, dados observados de indivíduos submetidos a grandes variações ambientais como clima e manejo, e isso pode proporcionar modificações nas variâncias genéticas, fenotípicas e ambientais. Essas modificações influenciam diretamente as estimativas dos parâmetros essenciais à seleção, o que traz conseqüências econômicas, nem sempre favoráveis. Pois os indivíduos classificados como os melhores para certa característica em um ambiente podem não ser os mesmos em outro ambiente. Nos últimos 50 anos o potencial produtivo das vacas leiteiras teve substancial aumento e, segundo Flukerson et al. (2008), este aumento se deveu à ampla utilização de material genético da raça holandesa, que foi submetida a longo processo de seleção com as estimativas de valores genéticos baseado no BLUP e, à utilização de manejo alimentar de maior qualidade. Mas os autores ressaltam que essa mudança genética também tem conseqüências indesejáveis como a correlação negativa entre volume de leite e constituintes como gordura e proteína e a grande mobilização de reservas corporais que levam os animais a necessitarem de nutrição mais adequada ou há perdas no desempenho reprodutivo. O que além de questionar a seleção com base em apenas uma característica, enfatiza a discussão da interação genótipo-ambiente para todas as características de importância econômica. Será que os ganhos genéticos proporcionados pela utilização de material genético importado traz ganhos econômicos em qualquer sistema de manejo, ou são específicos para o ambiente testado em razão de todo o envolvimento produtivo do animal?

Com vistas a discutir os resultados obtidos em estudos da interação genótipo-ambiente, esta revisão teve como objetivo compilar alguns trabalhos sobre efeito da IGA e avaliar a justificativa da sua utilização nos programas de melhoramento animal.

2.3.1 - Implicações da interação em características produtivas

A intensificação da utilização de touros por meio da inseminação artificial para maior otimização do ganho genético, leva o reprodutor a ter progênes espalhadas em vários ambientes com clima e manejo de rebanho diferentes, o que pode atrapalhar a comparação de touros entre rebanhos e mascarar a estimativa do mérito genético de cada animal (Buchanan e Nielsen, 1979).

Diferenças nas expressões fenotípicas de genótipos distintos podem ser identificadas em ambientes diferentes, mas sem alterar a ordem de classificação dos melhores valores genéticos e, neste caso, apenas a variância genética se altera. Ambientes menos favoráveis apresentam menor variância fenotípica e, conseqüentemente, genética. A utilização de material genético de um reprodutor em um ambiente onde a variância genética é menor do que o local onde ele ou seus parentes foram avaliados limita o desempenho de seus filhos e o retorno econômico que estes podem oferecer (Blake et. al., 1988, Stanton et al., 1991). Segundo Van Vleck (1987), se as variâncias genéticas e residuais e as covariâncias fossem conhecidas em cada ambiente, a seleção, com base nos resultados obtidos das análises de características múltiplas em modelos mistos, proporcionaria uma avaliação acurada que poderia ser usada para selecionar otimamente os animais para produzirem ambientes específicos.

Mulder e Bijma (2005) testaram, por meio de simulações, os efeitos da IGA sobre os ganhos genéticos obtidos em vários tipos de programas de seleção. Considerando dois ambientes diferentes, demonstraram que quanto menor a proporção de animais testados no ambiente de produção, menor é o ganho genético obtido no programa de seleção. Mas se existem parentes de um reprodutor testado em um determinado ambiente diferente do que se encontra este reprodutor, as características com menor herdabilidade e/ou cuja avaliação é baseada exclusivamente em dados provenientes da avaliação de parentes apresentam menor perda de ganho genético relativo. Sendo que a perda de acurácia na identificação dos melhores reprodutores foi a que gerou os piores desempenhos em ganhos genéticos. Em estudo semelhante com dados simulados, Garrick e Van Vleck (1987) observaram redução no ganho genético de até 3,4% quando o efeito da heterogeneidade de variâncias foi ignorado em esquemas de teste de progênie. O que gerou seleção de ambientes com baixa herdabilidade, pois apresentavam maior variabilidade. Se a herdabilidade aumenta, com alta variabilidade, a redução do ganho é menor, em torno de 0,1%. As altas estimativas de herdabilidade, à medida que as variabilidades das produções dentro do ambiente aumentam, têm sido consideradas como resultado do melhor ambiente, o que possibilita a melhor expressão do verdadeiro potencial genético. Desconsiderando-se a heterogeneidade de variâncias entre ambientes resulta em redução na resposta à seleção e implica em desigual progresso genético entre ambientes classificados pelo desvio-padrão de rebanho (Vinson, 1987).

A avaliação do efeito da IGA sobre determinada característica pode ser feita com diferentes metodologias, mas há necessidade de se comparar o desempenho de indivíduos aparentados em diferentes tipos de ambientes. Ao analisar dados experimentais ou de campo, a significância da IGA pode ser detectada em uma análise de variância, onde o genótipo e meio ambiente são os dois fatores de classe, sendo que os ambientes devem ser agrupados de acordo com características semelhantes (Kolmodim, 2003). Outra forma de avaliar seria por

intermédio da correlação genética (Falconer e Makay, 1996). Valores muito diferentes da unidade, explicariam a razão das filhas de um touro, criadas em um ambiente alternativo não conseguirem o desempenho predito a partir do valor genético deste reprodutor (Stanton et. al., 1991). Porém, este tipo de metodologia pode não considerar a IGA, se ela modifica apenas a dispersão dos valores genéticos, e não a ordem de classificação (Strandberg, 2006).

Ao considerar que a IGA ocorre em razão dos diferentes genótipos poderem apresentar diferentes sensibilidades à modificação de ambiente (Falconer e Makay, 1996), a IGA também pode ser analisada por regressões aleatórias, que permite avaliar a sensibilidade de cada indivíduo a mudanças de ambientes e investigar a existência de heterogeneidade de sensibilidades.

Se a mesma variável é considerada como variáveis diferentes em ambientes distintos, há necessidade de separar os ambientes em grupos. Esta abordagem pode ser modificada para descrever, por intermédio de uma função de covariância (Kirkpatrick e Heckman, 1989), uma quantidade infinita de diferentes variáveis seguindo um gradiente de ambiente. Funções de covariância nos permitem incluir tanto variâncias genéticas e correlações genéticas heterogêneas em função de uma medida contínua do meio ambiente, evitando o agrupamento arbitrário de ambientes. A descrição mudança gradual e contínua do valor genético de cada genótipo em função de um gradiente de ambiente pode ser realizada por um modelo de regressão aleatória linear que prediz as normas de reação dos valores genéticos em função do ambiente.

O Serviço Internacional de Avaliação de Touros (INTERBULL), que realiza avaliação genética para vários países em seis diferentes raças e seis grupos de característica com importância econômica em bovinos (produção de leite, saúde do úbere, longevidade, parto e fertilidade das fêmeas), considera o efeito de ambiente para obtenção dos valores genéticos. O método utilizado na avaliação é multi-característica entre países (MACE), proposto por Schaeffer (1994) que ressalta a vantagem do método permitir a possibilidade de reclassificação dos animais entre países, que ocorre quando os indivíduos têm melhor desempenho em determinados ambientes do que em outros, ou quando os métodos de avaliação genética diferem entre os países. Este método incorpora informações sobre as filhas de touros de diferentes países membros. Então, as correlações genéticas entre os países são estimadas a partir de filhas de touros ou de descendentes de irmão e colaterais em vários países. O valor genético internacional do touro pode ser convertido para a escala nacional. Assim, por meio da avaliação internacional, touros estrangeiros podem ser confiavelmente selecionado para uso nacional (Hammami et al., 2009).

2.3.2 - Metodologia atual de avaliação

As avaliações da IGA, por meio da introdução deste efeito em um modelo linear, são realizadas pela detecção de componentes de variância significativos associados à distribuição dos efeitos de interação. Nos modelos multi-características, uma característica medida em vários ambientes é considerada diferente em cada ambiente. A identificação de altas

correlações genéticas entre as características indicam que o mesmo conjunto de genes atua em diferentes ambientes e nenhuma interação genótipo-ambiente é detectada. Baixas correlações genéticas implicam que genes diferentes, em parte, controlam a característica em ambientes diferentes, indicando a presença da IGA. Esta é uma abordagem difícil de aplicar, se existe um gradiente de efeitos ao longo de grande número de ambientes. O modelo da norma de reação é uma alternativa interessante para a abordagem de características múltiplas, porque pode acomodar grande número de níveis ambientais com poucos parâmetros. Ele assume que a variável resposta é linearmente relacionada à covariável que representa a variável ambiental. A inclinação associada à determinado indivíduo é medida de sua sensibilidade ambiental e, a variação na inclinação na população indica o grau da IGA que existe para a característica considerada. Então, as normas de reação linear têm sido amplamente utilizadas para detectar IGA por possuírem fácil interpretação (Shariati et al., 2007). A utilização da norma de reação nas avaliações genéticas possibilita a identificação da IGA, além de permitir levar em consideração a sensibilidade de cada indivíduo à mudança de ambiente para estimar e comparar os valores genéticos de cada animal, avaliado nos diferentes ambientes. Desta forma, a avaliação genética de características de interesse econômico por normas de reação é de interesse, principalmente em países com grande extensão territorial e grande heterogeneidade de ambiente.

Essa avaliação também permite utilizar observações no dia do controle ao invés dos registros de lactação completas, pois possibilitam a inclusão de variações dentro de vacas, com obtenção mais precisa de valores genéticos para sensibilidade ambiental de touros (Hayes et al., 2003). Considerar a sensibilidade individual à mudança de ambiente no modelo de avaliação permitiria evitar o uso de reprodutores muito sensíveis em propriedades com sistema de produção mais rústico, ou o uso de reprodutores pouco sensíveis em propriedades que favorecem maiores produções. Desta forma, a melhor predição do valor genético em cada ambiente evitaria a seleção equivocada de reprodutores e, conseqüentemente, perdas econômicas.

2.3.3 - Interação genótipo-ambiente para a característica produção de leite

A seleção durante muitos anos foi conduzida com vistas a aumentar o volume da produção de leite, independente das demais características produtivas. Assim, os estudos que envolviam a IGA eram destinados à apenas ao efeito de ambiente sobre essa característica.

Na tabela 1, que mostra os efeitos de diferentes ambientes sobre a produção de leite, pode-se observar que os valores das correlações estão em torno de 0,8 para maioria dos ambientes, e que valores menores do que este são entre países muito distintos em condições climáticas e de manejo (Köning et al., 2005). Isto poderia ser utilizado para ilustrar o exemplo de IGA, mencionado por Falconer e Makay (1996), no qual raças com maior produção de leite em regiões temperadas provavelmente, não terão o mesmo desempenho em regiões tropicais.

Nos países da América Latina os estudos da IGA estão, até a presente data, voltados a característica de produção de leite. Cienfuegos-Rivas et al. (1999), ao compararem o

desempenho produtivo de vacas holandesas no México e nos Estados Unidos, com base no desvio-padrão da produção por rebanho-ano, observaram diferença produtiva daquela esperada nos dois ambientes. Isto sugere que para melhor predizer a produtividade no México, as avaliações devem ser baseadas em ambientes de baixo desvio nos Estados Unidos. Assim, concluíram os autores que a IGA evidenciada tanto pela heterogeneidade de variância, quanto pelos coeficientes de correlação genética, não somente impede ganhos genéticos, mas contribui severamente para reduzir o ganho econômico esperado pelo produtor que importa sêmen americano para os países da América Latina. Já Costa et al. (2000), para verificarem se esses prejuízos atingiriam também o Brasil, utilizaram observações de produção de leite e gordura, para estudar a heterogeneidade de variâncias entre ambientes de baixo e alto desvio-padrão fenotípico da produção de leite por rebanho-ano em vacas holandesas. Os componentes de variâncias para produção de leite e gordura nos ambientes de baixo desvio-padrão foram menores que nos ambientes de alto desvio-padrão fenotípico. A correlação genética entre produção de leite e gordura nos dois grupos de ambientes foi 0,85. Os autores, concluíram que as avaliações genéticas no Brasil devem considerar a heterogeneidade de variâncias entre países para aumentar a precisão das avaliações e a eficiência de seleção para a produção de leite e gordura na raça Holandesa, mas o desempenho das filhas dos touros testados fora do país seria o mesmo no Brasil.

Rorato et al. (2000) investigaram o efeito da IGA sobre o desempenho produtivo de vacas Holandesas no Brasil ao dividirem os rebanhos em alto, médio e baixo nível de produção. Os autores observaram heterogeneidade de variâncias e diferenças entre as herdabilidades para cada nível. Isto sugere que a IGA deve ser considerada na avaliação genética, para que haja progresso genético específico em cada nível de ambiente em que os animais estão produzindo. Além disso, os autores também observaram baixas correlações genéticas entre os níveis baixo e alto, baixo e médio, o que também indica que a aquisição de sêmen deve ser ponderada pelo efeito do ambiente, para se obterem desempenhos desejados. Entretanto, esses mesmos autores salientam que estudos sobre IGA no Brasil são contraditórios, e que há necessidade de mais pesquisas, com base nas diversas condições do país. Da mesma forma Céron-Muñoz et al. (2004a), em estudo de identificação da IGA para produção de leite em vacas Holandesas no Brasil e na Colômbia, encontraram correlação genética de 0,74, o que indica que haveria reclassificação dos touros nos dois países, e assim sêmen importado entre estes dois países resultariam em diferentes desempenhos produtivo das filhas, concluindo que os países devem estruturar seus próprios programas de seleção com base nos objetivos produtivos nacionais. Mas fazem a ressalva do quanto seria importante para o posicionamento dos países latino-americanos no mercado internacional de material genético, se houvesse a união destes países em uma única avaliação, mas com identificação da IGA. Corroborando com estes resultados, Falcão et al. 2006 encontraram heterogeneidade de variâncias entre os estados das regiões sul e sudeste do Brasil para a produção de leite na mesma raça, tendo como principal fator desencadeador o ambiente. Os autores sugerem que os efeitos da heterogeneidade de variância sobre a resposta à seleção dependem das magnitudes das diferenças na variância genética para produção de leite entre os estados e de suas relações com as variâncias fenotípicas. Além

disso, encontraram baixas correlações genéticas entre estados, indicando que o desempenho observado em cada ambiente seria diferente do esperado.

Tabela 1 – Correlações genéticas para a característica de produção total de leite aos 305 dias de lactação entre diferentes países para gado Holandês

Referências	Região		Correlação genética
	A	B	
Staton et al., 2001	USA	América Latina *	0,82
	USA	América Latina	0,91
	USA	América Latina **	0,89
	USA	Colômbia	0,78
	USA	México	0,90
Cienfuegos-Rivas et al., 1999	USA	México *	0,60
	USA	México	0,63
	USA	México**	0,71
	USA **	México *	0,72
	USA **	México	0,69
	USA **	México **	0,93
Costa et al., 2000	USA	Brasil *	0,79
	USA	Brasil	0,85
	USA	Brasil **	0,87
	USA *	Brasil *	0,72
	USA *	Brasil **	0,86
Rekaya et al., 2001	USA **	Brasil **	0,88
	Estônia	Israel	0,74
	Áustria	Israel	0,74
	Áustria	Estônia	0,79
	Estônia	Finlândia	0,84
	Suíça	Israel	0,83
	República Tcheca	Finlândia	0,82
	Suíça	Estônia	0,83
	República Tcheca	Estônia	0,75
	República Tcheca	Estônia	0,75
Cerón-Muñoz et al., 2004b	Brasil *	Colômbia *	0,72
	Brasil *	Colômbia **	0,81
	Brasil *	Colômbia **	0,77
	Brasil **	Colômbia *	0,73

Adaptado de Köning et al. (2005)

* em rebanhos de baixo desvio-padrão

** em rebanhos de alto desvio padrão

Freitas et al. (2010), com objetivo de identificar a IGA para produção de leite na raça Gir Leiteiro no Brasil, separaram os rebanhos participantes do programa nacional de avaliação genética, em níveis de produção (alto, médio e baixo) e obtiveram baixas correlações genéticas entre estes níveis, mesmo para esta raça originada da Índia, país com condições

ambientais semelhantes a do Brasil, porém com condições de manejo e climáticas diferentes. Esses resultados implicam que os melhores reprodutores em um ambiente não serão, necessariamente, em outros. Isto corrobora os estudos acima citados que se referem à existência de efeito ambiental para característica de produção de leite no Brasil, provavelmente por ser um país com extensão continental e diversidades de sistemas de produção.

2.3.4 - Interação genótipo-ambiente para outras características de importância econômica

Após muitos anos de seleção apenas para produção de leite, os programas de melhoramento genético hoje também consideram a qualidade do leite, saúde e fertilidade. As gratificações de leite de boa qualidade, as perdas financeiras associadas à mastite, e os custos de reposição de vacas levam a concluir que é importante considerar a saúde e a fertilidade em programas de melhoramento (Keraney et al., 2004b). Em um ensaio experimental Beerda et al. (2007) testaram os efeitos da IGA nos riscos à saúde associados ao alto e baixo mérito genético para produção de leite. Os resultados sugeriram que elevado mérito genético para produção de leite está intrinsecamente ligado ao aumento da riscos para doenças relacionadas ao balanço energético negativo, apesar de frequência de uso de alimentos calóricos, densidade animal e número de ordenhas também impactarem no balanço de energia e proteína do animal. Esses resultados sugerem que juntamente com o ambiente, o genótipo para determinada característica pode propiciar diferentes desempenhos em características diversas.

Ao avaliarem possíveis riscos das mudanças na produção de leite e balanço energético negativo na saúde do úbere, Ouweltjes et al. (2007) verificaram que os efeitos da frequência de ordenha e alimentação na saúde do úbere foram similares para vacas com alto e baixo mérito genético. No entanto, vacas com elevado mérito genético se mostraram ligeiramente mais sensíveis à baixa oferta de energia do que as de baixo mérito. A seleção genética na produção de leite sem levar em consideração a saúde do úbere causará aumento da sensibilidade à esses problemas.

A seleção para aumento da produção de leite trouxe problemas não só associados às características de saúde mas também às de qualidade do leite e fertilidade dos animais. Uma forma de solucionar isto é inseri-las em índices de seleção, com ponderações suficientes para que se mantenham em níveis desejados ao longo dos anos (Calus et al., 2005). Se existe efeito da IGA, há uma dificuldade em se atingirem os valores desejados em qualquer ambiente. Assim, a mesma característica pode ter ponderações diferentes em ambientes diferentes e mesmo quando na formação do índice específico para casa ambiente (Namkong, 1985).

Modelos de norma de reação, incluindo uma função que descreve covariância em toda a gama de ambientes (Kirkpatrick e Heckman, 1989) foram aplicados às características de fertilidade, cujas herdabilidades em ambientes heterogêneos foram também relatadas por Kolmodin et al. (2002). Estes últimos autores investigaram a presença da IGA em desempenhos de produção total de proteína e período de serviço de bovinos leiteiros nos países do norte da Europa (Suécia, Finlândia, Noruega e Dinamarca) sob o nível de produção

do rebanho. A classificação de cada subclasse de ambiente do melhor ao pior foi obtida facilmente por intermédio da estimativa da média de desempenho em cada grupo contemporâneo. Se os valores da regressão aleatória para o valor genético do animal são heterogêneos, há presença de IGA. Neste caso, uma representação gráfica de normas de reação dos indivíduos avaliados demonstrou retas com diferentes inclinações e, conseqüentemente, heterogeneidade de variância e reclassificação dos indivíduos nos pontos extremos do gradiente ambiental. Além disso, a função de correlação genética entre proteína e dias em aberto, nos diferentes gradientes de produção, sugere que a correlação genética entre a fertilidade e a produção é desfavorável, mas pode ser controlada se a vaca for mantida em ambiente de boa produção, e que as características de fertilidade são mais influenciadas pelo ambiente do que as produtivas.

Análises de normas de reação também foram utilizadas por Calus et. al. (2002) para avaliar a IGA na produção de proteína total de bovinos leiteiros da raça Holandesa na Holanda. Estes autores, porém, não regrediram os valores genéticos em relação às médias simples dos grupos contemporâneos, mas em relação aos efeitos fixos de cada um deles. Estes efeitos foram calculados ao ser aplicado, em um primeiro momento, o modelo reprodutor para estimar os efeitos fixos de cada grupo contemporâneo e, deste modo, corrigir as influências genéticas em cada grupo contemporâneo. Posteriormente, os efeitos fixos de cada subclasse foram ordenados e utilizados na predição dos coeficientes de regressões aleatórias que descrevem as normas de reação. Calus et al. (2003), ao darem continuidade ao estudo do efeito da IGA por meio da sensibilidade ambiental rebanho-ano, estendem seu estudo para produção de leite, gordura e proteína, visando incluí-las em um índice. As correlações encontradas para os valores ponderados pelo peso econômico foram altas, mesmo, com efeito de escala, que influi diretamente no valor econômico da característica no ambiente e na classificação dos indivíduos. O que indica que o índice foi pouco sensível à modificação dos pesos econômicos, pois os efeitos de escala foram semelhantes entre os diferentes ambientes. Os autores sugerem que se este efeito for diferente para cada característica que compõe o índice, haveria reclassificação dos indivíduos.

Boettcher et al. (2003) realizaram estudo da IGA em rebanhos de leite no Canadá, considerando diferenças entre animais confinados e sob regime de pastejo, e encontraram correlações em torno de 0,9 para características de produção de leite (gordura e proteína) e conformação (sistema mamário, pernas e pés, frame e capacidade), já para intervalo de parto a correlação foi de 0,64. Mas somente para proteína foi observado efeito de escala na classificação dos indivíduos nos diferentes ambientes. Os coeficientes de regressão não diferiram significativamente, mas as herdabilidades foram mais altas para o ambiente confinado. Diante dos resultados observados os autores concluíram que é pequeno o efeito da IGA, de forma que não se justifica a realização de avaliações genéticas separadas para cada ambiente. Nos Estados Unidos, Kearney et al. (2004a e 2004b) realizaram estudo semelhante em bovinos da raça Holandês sob pastejo e confinamento, uma vez que as avaliações são baseadas principalmente em observação de animais em sistemas de alta produção. Os autores observaram correlação também em torno de 0,9 para as características de produção de

gordura, proteína e células somáticas no leite e, em torno de 1,0 para características dias em aberto, dias em serviço e serviço por concepção. Concluíram que as correlações abaixo de 1,0 indicam que existe efeito de ambiente nos resultados observados, mas não o suficiente para causar o reordenamento dos indivíduos. Também foram observados os coeficientes de regressão, que não diferiram do esperado entre ambientes. Com base nesses resultados, há indícios de diferenças nas dispersões dos valores genéticos, mas que a seleção com base nas avaliações atuais não impede o progresso genético.

Fahey et al. (2007), com objetivo de identificar a heterocedasticidade entre ambientes de pastejo e confinamento nos Estados Unidos e se este efeito é capaz de mascarar a presença da IGA para produção de leite, gordura e proteína na formas tradicional de avaliação genética, utilizaram coeficientes de regressão para verificar a adequação da habilidade da transmissão do potencial genético (PTA) do touro na predição do desempenho das filhas; e verificaram que em ambientes de maior produção de leite em pastejo e todos os níveis de produção em confinamento, a predição foi satisfatória. Já para ambientes de baixa produção em pastejo os resultados não foram satisfatórios nem com a incorporação da heterocedasticidade. Além de terem correlação genética abaixo de 0,8, o que indica que genes diferentes atuam na produção das características estudadas entre ambientes de baixa produção em pastejo e os demais.

Em estudo da IGA, em agrupamentos de ambientes com condições semelhantes (clusters), para a produção de proteína no dia do controle leiteiro, Köning et al. (2003) observaram importantes alterações na variância residual e nos componentes de variância de ambiente permanente que podem ser considerados indícios da IGA, mas as correlações entre os ambientes foram altas (acima de 0,8). Por isso, sugerem que a metodologia de agrupamentos seria opção mais conscienciosa para avaliações genéticas do que a forma tradicionalmente realizada com a separação dos ambientes em regiões geográficas distintas.

Ao separarem o ambiente de acordo com o número de células somáticas por volume de leite, Calus et al. (2006) encontraram grande efeito do ambiente na contagem de células somáticas principalmente no período inicial da lactação. A correlação genética encontrada foi 0,42, entre os ambientes de mais alto e mais baixo volume, além de ter triplicado a variância genética, o que proporcionou reordenamento dos animais. Assim, a seleção para indivíduos em diferentes períodos da lactação nos diferentes ambientes tiveram baixos resultados de desempenho dos indivíduos.

Fatehi et al. (2003) compararam diferenças entre escores para características de conformação de pernas e pés dos indivíduos criados em Tie-stall e Free-stall no Canadá. Observaram maiores escores em animais alojados em Free-stall, sendo que nesses ambientes as herdabilidades foram maiores, apesar das correlações genéticas apresentadas serem em torno de 0,8. Os autores concluíram que não são necessárias modificações no sistema de avaliação para os diferentes ambientes, pois a seleção para essas características em um ambiente proporciona os mesmos resultados no outro. Em estudo similar, Lassen et al. (2009) observaram características de conformação e de facilidade de ordenha dos indivíduos criados nos mesmos tipos de ambientes do estudo anterior na Dinamarca e verificaram as correlações

genéticas foram maiores do que 0,9, apesar de se observarem heretogeneidades de variâncias genéticas para todas as características, elas não foram suficientes para serem consideradas características diferentes na avaliação genética.

Em um estudo para avaliar a magnitude da IGA sobre as características de sobrevivência considerando diferentes ambientes: tamanho do rebanho, média de produção de leite do rebanho, índice de temperatura e humidade, sistema de parto e região geográfica; e para características de produção de leite com ambiente de sistema de parto e região geográfica na Austrália, Haile-Mariam et al. (2008) observaram que para os ambientes região e sistema de parto as correlações genéticas foram superiores a 0,8 em todas as características. Para os descritores contínuos de tamanho de rebanho e produção do rebanho somente as correlações para fertilidade foram baixas (0,6). Com isso, discutem que a avaliações separadas para cada ambiente podem ter como desvantagem um grande número de valores genéticos que dificultaria a escolha dos melhores indivíduos pelos produtores. Na Austrália o valor genético dos animais é baseado em um índice com ponderações econômicas, e como as características podem ter pesos diferentes dependendo do ambiente e/ou época, o índice poderia não proporcionar os rendimentos financeiros desejados.

Em busca da melhor estratégia para avaliar a IGA em diferentes ambientes, Mulder et al. (2006) identificaram estratégias diferentes para otimizar o ganho genético para os ambientes de igual importância: para correlações genéticas maiores do que 0,61, o maior ganho genético médio anual foi obtido por um programa único para todos os ambientes, com aplicação de um índice de seleção ao mesmo tempo. Com correlação menor do que 0,61 o melhor foi um programa para cada ambiente, com o mesmo número de touros testados. Isto demonstra que se as correlações entre ambientes forem altas não há justificativa de se incluírem os efeitos da IGA ou separar as avaliações genéticas. Mas Mulder e Bijma (2006) citam que a correlação genética entre os países que se envolvem nas avaliações genéticas tem diminuído, pois tem se enfatizado a inclusão de características funcionais nos índices de seleção.

A existência da IGA pode gerar o reordenamento dos indivíduos ou apenas modificar a dispersão dos valores genéticos, o que pode resultar em prejuízos econômicos, pela obtenção de desempenho diferente do esperado para os indivíduos. 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 critérios de seleção, dependendo do ambiente (Alencar et al., 2005). Mas estimar componentes de variâncias para os reprodutores em ambientes diferentes pode ser alternativa impraticável, em decorrência de poucas observações em muitos ambientes. Além disso, as estimativas de componentes de variâncias dentro dos rebanhos, de acordo com Winkelman e Schaeffer (1988), podem influenciar a efetividade da avaliação para a heterogeneidade de variâncias, uma vez que amostras de tamanhos pequenos poderiam conduzir a grandes erros de amostragens sobre as estimativas por terem baixa acurácia.

A IGA não apresenta somente desvantagem nas avaliações genéticas, pois ela pode ser considerada como uma forma de manter a variação genética nas características quantitativas

em populações naturais. Isso se deve provavelmente à presença de herança poligênica aditiva em que as contribuições de alelos aditivos variam de acordo com o meio ambiente. Assim, as variações dos fenótipos produzidas por um genótipo multi-locos em ambientes distintos, diminuem à medida que o número de locos heterozigotos aumenta (Gillespie et al., 1989). O que pode permitir a inclusão e/ou retorno na expressão fenotípica de características desejadas, como forma natural de manutenção de material genético distinto.

3-Considerações

A interação genótipo-ambiente vem sendo estudada ao longo dos anos para a identificação do efeito de ambiente na expressão de diversas características produtivas. Este estudo se baseia na identificação dos diferentes ambientes que podem provocar as alterações, e cada um apresenta efeito diverso sobre cada característica. Por esse motivo, a resposta de cada característica de importância econômica na produção leiteira, em cada ambiente, pode ser diferente e isso leva a perdas econômicas principalmente se considerar o sistema produtivo como um todo e não apenas a produção de leite.

No Brasil a gratificação por qualidade de leite torna-se a cada dia uma realidade, o que faz com que os produtores não se preocupem apenas com aumento de volume de leite, mas também com suas componentes. Já as características de saúde e fertilidade não são ainda consideradas relevantes para produtores de gado de leite.

A preocupação com o efeito da IGA deve ser meramente econômica, pois a utilização de material genético testado tem alto custo no sistema produtivo e pode resultar em perdas econômicas, em decorrência de desempenhos não desejados. Por outro lado, se as avaliações em ambientes específicos resultarem em perda de acurácia em razão do pequeno número de observações por indivíduo, os prejuízos serão também danosos para o sistema produtivo.

4 – Referências Bibliográficas

- ALENCAR, M.M.; MASCIOLI, A.S.; FREITAS, A.R. Evidências de interação genótipo x ambiente sobre características de crescimento em bovinos de corte. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.34, n.2, p.489-495, 2005.
- BEERDA B. OUWELTJES, W.; SEBEK, L.B.J. et al. Effects of genotype by environment interactions on milk yield, energy balance, and protein balance. *Journal of Dairy Science*, v.90, p.219-228, 2007.
- BLAKE, R. W.; HOLMANN, F. J.; GUTIERREZ, J.; CEVALLOS, G. F.; Comparative profitability of United States Holstein artificial insemination on sires in Mexico. *Journal of Dairy Science*, v. 71, n. 5, p. 1378, 1988.

- BOETTCHER, P. J.; FATEHI, J.; SHUTZ, M. M. Genotype \times Environment Interactions in Conventional versus Pasture-Based Dairies in Canada. *Journal of Dairy Science*, v. 86, n.1, p. 383 – 389, 2003.
- BOWMAN, J.C. Genotype x environment interactions. *Ann. Genet. Sel. Anim.*, Paris, v. 4, n. 1, p. 117-123, 1972.
- BRADSHAW, A.D. Evolutionary significance of phenotypic plasticity in plants. *Advances in genetics* 13, p.115-155. 1965.
- BRYANT, .J. R.; LOPEZ-VILLALOBOS, N.; PRYCE, J. E. et al. Environmental Sensitivity in New Zealand Dairy Cattle. *Journal of Dairy Science*, v.90, p.1538–1547, 2007.
- BUCHANAN, D.S.; NIELSEN, M.K.. Sire by environment interactions in beef cattle field data. *Journal of Animal Science*, v.48, n. 2, p.307-312, 1979.
- BUENO, R.S.; TORRES, R.A.; RENNÓ,F.P. et al. Efeito da Interação Reprodutor x Rebanho sobre os Valores Genéticos de Reprodutores para Produção de Leite e Gordura na Raça Pardo-Suíça. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, v.34, n.4, p.1156-1164, 2005.
- CALUS, M. P. L.; GROEN, A. F.; de JONG, G. Genotype \times Environment Interaction for Protein Yield in Dutch Dairy Cattle as Quantified by Different Models. *Journal of Dairy Science*, v. 85, n. 11, p. 3115 – 3123, 2002.
- 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.
- CALUS, M. P. L., WINDIG, J. J.; VEERKAMP, R. F. Associations among descriptors of herd management and phenotypic and genetic levels of health and fertility. *Journal of Dairy Science*, v.88, p.2178–2189, 2005.
- CALUS, M.P.L.; JANSS, L.L.G.; VEERKAMP, R.F. Genotype by Environment Interaction for Somatic Cell Score Across Bulk Milk Somatic Cell Count and Days in Milk. *Journal of Dairy Science*, v. 89, p.4846–4857, 2006.
- CÉRON-MUÑOZ, M. F., TONHATI, H. ; COSTA, C. N. et al Interação genótipo-ambiente em bovinos da raça holandesa brasileiros e colombianos. *Arch. Zootec.* V.53, p.239-248. 2004a.
- CÉRON-MUÑOZ, M. F., TONHATI, H.; COSTA, C. N. et al. Variance heterogeneity for milk yield in Brazilian and Colombian Holstein herds. *Livest. Research for Rural Development*, v.16, n.4, 2004b.

- CIENFUEGOS-RIVAS, E. G., OLTENACU, P. A.; BLAKE, R. W. et al. Interaction between milk yield of Holstein cows in Mexico and the United States. *Journal of Dairy Science*, v.82, p.2218–2223, 1999.
- CORRÊA, G. S. S.; SILVA, M. A.; DIONELLO, N. J. L. et al. Genotype by environment interaction for production traits of meat type quail during the Growing phase, 8th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, 2006, Belo Horizonte, *Proceedings...* 10-01.
- COSTA, C. N. Interação genótipo e ambiente em gado de leite. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE GENÉTICA E MELHORAMENTO ANIMAL. 1999, Viçosa. *Anais...* Viçosa: UFV, 1999. p. 161.
- COSTA, C. N., BLAKE, R. W.; POLLAK, E. J. et al. Genetic analysis of Holstein Cattle populations in Brazil and the United States. *Journal of Dairy Science*. v.83, p.2963–2974, 2000.
- DE JONG, G. Phenotypic plasticity as a product of selection in a variable environment. *The American naturalist* 145, p.493-512. 1995.
- DE VEER, J. C., VAN VLECK, L.D. Genetic parameters for first lactation milk yields at three levels of herd production. *Journal of Dairy Science*, v.70, p.1434–1441, 1987.
- FAHEY, A. G., SCHUTZ, M. M.; LOFGREN, D. L. et al. Genotype by environment interaction for production traits while accounting for heteroscedasticity. *Journal of Dairy Science*, v.90, p.3889–3899, 2007.
- FALCÃO, A.J.S.; MARTINS, E.N; COSTA, C.N. et al. Heterocedasticidade entre estados para produção de leite em vacas da raça Holandesa, usando métodos bayesianos via amostrador de Gibbs. *R. Bras. Zootec.*, v.35, n.2, p.405-414, 2006.
- FALCONER, D.S. The problem of environment and selection. *The American naturalist* 86, p.293-298. 1952.
- FALCONER, D. S.; MAKAY, T. F. C. *Introduction to Quantitative Genetics*. Essex: Longman Scientific & Technical, 1996. 464p.
- FATEHI J., STELLA A., SHANNON J.J. et al. Genetic parameters for feet and leg traits evaluated in different environments. *Journal of Dairy Science*, v.86, p.661-666, 2003.
- FREITAS, L.S.; VERNEQUE, R.S.; PEIXOTO, M.G.C.D et al. Genotype-Environment Interaction For Milk Production In The Gyr (*Bos Indicus*) Dairy Cattle In Brazil. 9th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, 2010, Leipzig, *Proceedings...*

- FIKSE, W. F.; REKAYA,R.; WEIGEL, K.A. Genotype \times environment interaction for milk production in Guernsey cattle. *Journal of Dairy Science*, v.86, p.1821–1827, 2003.
- FULKERSON, W. J.; DAVISON, T. M. X.; GARCIA, S. C. et al. Holstein-Friesian Dairy Cows Under a Predominantly Grazing System: Interaction Between Genotype and Environment. *Journal of Dairy Science*. v.91, p.826–839. 2008.
- GARRICK, D. J; VAN VLECK, L. D. Aspects of selection for performance in several environments with heterogeneous variances. *Journal of Animal Science*, v.65, p.409, 1987.
- GILLESPIE, J.H.; TURELLU, M. Genotype-Environment Interactions and the Maintenance of Polygenic Variation. *Genetics*. v.121, p.129-138, 1989.
- HAMMAMI, H.; REKIK, B.; BASTIN C. ET AL. Environmental sensitivity for milk yield in Luxembourg and Tunisian Holsteins by herd management level. *Journal of Dairy Science*, V.92, p.4604–4612, 2009.
- HAYES, B. J., M. CARRICK, P. BOWMAN, et al. Genotype \times environment interaction for milk production of daughters of Australian dairy sires from test-day records. *Journal of Dairy Science*. v.86, p.3736–3744, 2003.
- HAILE-MARIAM, M.; CARRICK, M. J.; GODDARD, M. E. Genotype by Environment Interaction for Fertility, Survival, and Milk Production Traits in Australian Dairy Cattle. *Journal of Dairy Science*.v.91, p.4840–4853. 2008.
- HENDERSON, C. R. *Application of linear models in animal breeding*. Ithaca: University of Guelph, 1984. 462 p.
- INTERBULL **Interbull evaluations.** Disponível em <
http://www.interbull.org/index.php?option=com_content&view=article&id=26&Itemid=35> Acesso em 27 de março de 2010.
- JAMROZIK, J.; SCHAEFFER, L.R.; DEKKERS, J.C.M. Genetic evaluation of dairy cattle using test day yields and random regression model. *Journal of Dairy Science* 80, p.1217-1226. 1997.
- KEARNEY, J. F., SCHUTZ, M. M., BOETTCHER, P. J.et al. Genotype \times environment interaction for grazing versus confinement. I. Production traits. *Journal of Dairy Science*. v.87, p.501-509, 2004a.
- KEARNEY, J. F., SCHUTZ, M. M.; BOETTCHER, P. J., Genotype \times environment interaction for grazing vs. confinement. II. Health and reproduction traits. *Journal of Dairy Science*. v.87, p.510-516, 2004b.

- KIRKPATRICK, M.; HECKMAN, N. A quantitative genetic model for growth, shape, reaction norms, and other infinite-dimensional characters. *J. Math. Biol.* V. 27, n. 4, p. 429–450, 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* 64, p.57-69. 1994.
- KOLMODIN, R.; STRANDBERG, E.; MADSEN, P.; JENSEN, J.; JORJANI, H. Genotype by Environment Interaction in Nordic Dairy Cattle Studied Using Reaction Norms. *Acta Agric. Scand. Sect A, Animal Sci.* V. 52, p11-24, 2002.
- KOLMODIN, R. *Reaction Norms for the Study of Genotype by Environment Interaction in Animal Breeding*. 2003. 36f. Tese (Doutorado) - Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden.
- KOLMODIN, R.; STRANDBERG, E.; JORJANI, H. et al. Selection in the presence of a genotype by environment interaction: Response in environmental sensitivity. *Animal Science*, v.76, p.375–385, 2003.
- KÖNIG, S., DIETL, G.; RAEDER, I. et al. Genetic relationships for dairy performance between large-scale and small-scale farm conditions. *Journal of Dairy Science*. v.88, p.4087–4096, 2005.
- LASSEN, J.; MARK, T. *Short Communication: Genotype by Housing Interaction for Conformation and Workability Traits in Danish Holsteins*. *Journal Dairy Science*, v. 91, p.4424–4428, 2008.
- LILLEHAMMER, M.; HAYES, B. J.; MEUWISSEN, T. H. E. ET al. Gene by environment interactions for production traits in Australian dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. v.92, p.4008–4017. 2009.
- MULDER, H. A.; BIJMA, P. Effects of genotype x environment interaction on genetic gain in breeding programs. *Journal of Animal Science*, v. 83, n. 1, p 49 – 61, 2005.
- MULDER, H. A.; BIJMA P. Benefits of cooperation between breeding programs in the presence of genotype by environment interaction. *Journal of Dairy Science*, V.89, p.1727–1739, 2006.
- MULDER, H. A.; VEERKAMP, R. F.; DUCRO, B. J. E. et al. Optimization of dairy cattle breeding programs for different environments with genotype by environment interactions. *Journal of Dairy Science*, V.89, p.1740–1752, 2006.
- NAMKOONG, G. The influence of composite traits on genotype by environment relations. *Theor. Appl. Genet.* V.70, p.315–317, 1985.

- NOBRE, P.R.C.; EUCLIDES FILHO, K.; ROSA, A. N. Repetibilidade e herdabilidade do peso ao nascer do gado Nelore por estação de nascimento. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.16, n.4, p.352-363, 1987.
- NORMAN, H. D., VANRADEN, P. M. ; POWELL, R. et al. Effectiveness of national and regional sire evaluations in predicting future-daughter milk yield. *Journal of Dairy Science*. V.88, p.812-826, 2005.
- OLSON, T. A.; EUCLIDES FILHO, K.; CUNDIFF, L. V.; KOGER, M.; BUTTS JR, W. T.; GREGORY, K. E. Effects of breed group by location interaction on crossbred cattle in Nebraska and Florida. *Journal of Animal Science*, v. 69, n. 1, p. 104 – 114, 1991.
- Ouweltjes, W.; Beerda, B.; Windig, J. J. et al. Effects of Management and Genetics on Udder Health and Milk Composition in Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, v.90, p.229–238, 2007.
- PERKINS, J.M.; JINKS, J.L. The assessment and specificity of environmental and genotype-environmental components of variability. *Heredity* 30, p.111-126. 1973.
- REKAYA, R., WEIGEL, K. A.; GIANOLA, D. Application of a structural model for genetic covariances in international dairy sire evaluations. *Journal of Dairy Science*, v.84, p.1525–1530, 2001.
- RORATO, P. R. N.; VERNEQUE, R. S.; MARTINEZ, M. L.; FERREIRA, G. B.; VALENTE, J. Interação genótipo-ambiente para produção de leite em rebanhos da raça Holandesa no Brasil. (I) Modelo touro. *Ciência Rural*. V. 29, n.4, 1999.
- RORATO, P.R.N.; VAN VLECK, D.; VERNEQUE, R.S. et al. Interação genótipo-ambiente para a produção de leite em rebanhos da raça Holandesa no Brasil. 2.Uso de um modelo animal. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.29, n.6, p.2030-2035, 2000 (Suplemento 1).
- SCHAEFFER L.R. Multiple-country comparison of dairy sires. *Journal of Dairy Science*, v.77,p. 2671-2678, 1994.
- 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, Guelph, ON, Canada, 18, p.443-446. 1994.
- SHARIATI, M. M.; SU, G.; MADSEN, P. et al. Analysis of Milk Production Traits in Early Lactation Using a Reaction Norm Model with Unknown Covariates. *Journal of Dairy Science*. v.90, p.5759–5766, 2007.
- SIROL, M.L.F.G.; EUCLYDES, R.F.; TORRES, R.A. et al. Efeito da interação reprodutor x rebanho sobre as produções de leite e de gordura na raça pardo-suíça. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.34 , n.5, p. 1573-1580, 2005.

- STANTON, T. L.; BLAKE, R. W.; QUAAS, R. L.; VAN VLECK, L. D.; CARABAÑO, M. J. Genotype by Environment interaction for Holstein Milk Yield in Colombia, Mexico and Puerto Rico. *Journal of Dairy Science*, v. 74, n. 5, p. 1700 – 1714, 1991.
- STRANDBERG, E. Analysis of genotype by environment interaction using random regression models, 8th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, 2006, Belo Horizonte, *Proceedings...* 25-05.
- 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.
- TOGASHI, K., LIN, C.Y.; MORIBE, K. Construction of Optimum Index to Maximize Overall Response Across Countries in the Presence of Genotype x Environment Interaction. *Journal of Dairy Science*. v.84, p.1872–1883, 2001.
- TORRES, R.A. Efeito da heterogeneidade de variância na avaliação genética de bovinos da raça Holandesa no Brasil. Belo Horizonte, MG: UFMG, 1998. 123p. Tese (Doutorado em Ciência Animal) - Universidade Federal de Minas Gerais, 1998.
- VAN DER WERF, J.H.J.; GODDARD, M.E.; MEYER, K. The use of covariance functions and random regressions for genetic evaluation of milk production based on test day records. *Journal of Dairy Science* 81, p.3300-3308. 1998.
- VAN DER WERF, J. H. J., MEUWISSEN, T. H. E.; DE JONG, G. Effects of correction for heterogeneity of variance on bias and accuracy of breeding values estimation for Dutch dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. v.77, p.3174–3184, 1994.
- VAN VLECK, L.D. Contemporary groups for genetic evaluation. *Journal of Dairy Science*, v. 70, n.11, p. 2456-2464, 1987.
- VARGAS, B., VAN ARENDONK. J. A. M. Genetic comparison of breeding schemes based on semen importation and local breeding schemes: Framework and application to Costa Rica. *Journal of Dairy Science*. v.87, p.1496–1505.
- VIA, S.; GOMULKIEWICS, R.; DE JONG, G.; SCHEINER, S.M.; VAN TIENDEREN, P.H. Adaptive phenotypic plasticity: consensus and controversy. *Trends in ecology and evolution* 10, p.212-217. 1995.
- VINSON, W. E. Potential bias in genetic evaluations from difference in variation within-herds. *Journal of Dairy Science*. v.70, p.2450–2455, 1987.
- WIGGANS G.R.; VAN RADEN P.M. Method and effect of adjustment for heterogeneous variance. *Journal of Dairy Science*., v.74, p.4350-4357,1991..

WINDIG, J. J.; CALUS, M. P. L.; BEERDA, B. et al. Genetic Correlations Between Milk Production and Health and Fertility Depending on Herd Environment. *Journal of Dairy Science*. v.89, p.1765–1775, 2006.

WINKELMAN, A.; SCHAEFFER, S.R. Effect of heterogeneity of variance on dairy sire evaluation. *Journal of Dairy Science*, v.71, p.3033-3039, 1988.

ZWALD, N. R., WEIGEL, K. A.; FIKSE, W. F. et al. Identification of factors that cause genotype by environment interaction between herds of Holstein cattle in seventeen countries. *Journal of Dairy Science*. v.86, p.1009–1018, 2003.

CAPÍTULO 2

ESTABELECIMENTO DE INDICADOR PRÉVIO DA OCORRÊNCIA DA INTERAÇÃO GENÓTIPO-AMBIENTE NO DESEMPENHO PRODUTIVO DE FILHAS DE TOUROS PROVADOS DA RAÇA GIR LEITEIRO

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho produtivo de filhas de touros provados para leite nos rebanhos parceiros do programa de melhoramento da raça Gir Leiteiro, com vistas ao estudo futuro da interação genótipo-ambiente (IGA). Somente touros que apresentavam PTA leite acima de 100 kg foram utilizados na análise. As produções de leite das filhas destes touros foram agrupadas em quatro categorias de produção (até 1.970 kg, de 1.970 a 2.770 kg, de 2.770 a 3.710 kg e acima de 3.710 kg). Para verificar a contribuição do touro sobre a média do rebanho, foi calculado o desvio da média de produção das filhas em relação à média das companheiras de rebanho-ano de parto. A partir destes cálculos, foi obtido o percentual de rebanhos em que as filhas do touro apresentavam desvios alto (> 30 kg de leite), nulo (entre 30 e -30 kg de leite) e baixo (< -30 kg de leite). Os resultados obtidos sugeriram a existência de IGA evidenciada pela grande dispersão de categorias de produção das filhas de touros nos rebanhos, uma vez que filhas de reprodutores com mais altos PTA apresentaram produção abaixo da média em alguns rebanhos, além de não haver correspondência entre as curvas de tendências das médias de valor genético e produção de leite em um mesmo rebanho para as filhas de um mesmo touro.

Palavras-chave: Acurácia, bovino de leite, PTA, teste de progênie

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the performance of daughters of proven sires from the purebred herds of the program for the improvement of Gyr dairy cattle, into the perspective of future studies on genotype x environment interaction (GxE). Only bulls with PTA milk above 100 kg were used in the analysis. The milk productions of these bulls' daughters were grouped into four categories of production (up to 1,970 kg, from 1,970 to 2,770 kg, from 2,770 to 3,710 kg and over 3,710 kilograms). In order to check the contribution of the bull for the herds' average, the deviation of the average milk production between daughters and herdmates grouped by herd-year of calving was calculated. From these results, the percentages of herds in which the daughters deviations were high (> 30 kg of milk), zero (between 30 and -30 kg of milk) and low (< -30 kg of milk) were obtained. Its results suggest the existence of GxE interaction stood out by the large dispersion of production categories in herds, since daughters of high PTA sires had low average production in some herds and there was no correlation between the trends of mean breeding value and average milk production in the same herd for the daughters of the same bull.

Keywords: Accuracy, dairy cattle, PTA, progeny test

1. Introdução

O Brasil, como grande importador de sêmen de raças de origem temperada, deve considerar sempre o típico exemplo de interação genótipo-ambiente (IGA), citado por Falconer e Mackay (1996), em que vacas de alta produção em países de clima temperado poderiam apresentar pior desempenho em climas tropicais. Por outro lado, a difusão do material genético, em diferentes regiões que apresentam diferentes climas e sistemas de produção, por meio de utilização de touros de elevado valor genético advindos do programa de melhoramento da raça Gir, também indica a necessidade do estudo da inclusão da IGA nas avaliações genéticas desses animais.

As diferentes variâncias fenotípicas nos diferentes ambientes, dentre outros aspectos, podem ser decorrentes da IGA que influi no desempenho produtivo dos animais (Norman et al., 2005). Quando a IGA é significativa, há necessidade de sua inclusão nos modelos de avaliação genética, para aumentar a acurácia das estimativas do valor genético dos touros e garantir o desempenho de suas filhas nas diferentes condições em que irão produzir (Sirol et al., 2005).

A interação pode interferir nas variações genéticas, fenotípicas e ambientais, o que pode levar a mudança nos critérios de seleção dependendo do ambiente (Henderson, 1984). É possível que entre dois ambientes distintos sejam notadas modificações apenas na diferença entre expressões fenotípicas de diferentes genótipos, mantendo-se a ordem da classificação dos melhores valores genéticos. Neste caso, apenas a variância genética se altera. Ambientes menos favoráveis apresentam menor variância fenotípica e, conseqüentemente, genética. A utilização de material genético de um reprodutor em um ambiente onde a variância genética é menor do que o local onde ele ou seus parentes foram avaliados limita o desempenho de seus filhos e o retorno econômico que estes podem oferecer (Blake et al., 1988, Stanton et al., 1991). Por outro lado, é possível que a variância genética seja a mesma em dois ambientes distintos, mas que a ordem da classificação dos melhores genótipos seja diferente. Quando ocorre alguma das duas situações citadas (ou ambas, com alteração de ordem de classificação e variância), existe IGA para a característica considerada (Bowman, 1972).

A intensificação da utilização de touros por meio da inseminação artificial para otimização do ganho genético leva o reprodutor a ter progênes distribuídos em diferentes regiões com manejo de rebanho diferentes, o que pode influir na comparação de touros entre rebanhos e mascarar a estimativa do mérito genético de cada animal (Buchanan e Nielsen, 1979) se não se considera o efeito da IGA.

Calus e Verkamp. (2003) afirmaram que a inclusão dos efeitos da IGA nas avaliações genéticas multicaracterísticas pode ser necessária para permitir seleção genética específica em uma ampla gama de ambientes.

Bueno et al. (2007) afirmaram que se não for levada em consideração a interação reprodutor x rebanho, quando significativa, haveria superestimação do componente reprodutor, o que comprometeria o progresso genético esperado com a seleção realizada nos rebanhos.

Diante destas informações, o presente estudo teve por objetivo avaliar o desempenho produtivo de filhas de touros Gir provados para leite nos rebanhos parceiros do teste de progênie da raça Gir leiteiro, para estabelecimento de indicador prévio da ocorrência da interação genótipo-ambiente.

2. Material e métodos

As informações de produção total de leite utilizadas neste estudo são provenientes do banco de dados do Programa Nacional de Melhoramento do Gir Leiteiro, coordenado pela Embrapa Gado de Leite em parceria com a Associação Brasileira de Criadores de Gir Leiteiro.

O estudo teve início com uma busca de influência do ambiente na expressão dos genótipos para produção de leite e, para tanto, foram utilizados os touros que apresentavam PTA (Capacidade Predita de Transmissão) leite acima de 100 kg ($217,75 \pm 101$ kg) no Sumário Brasileiro de Touros Gir de 2008, o que proporcionou um total de 51 reprodutores. Para avaliar o desempenho produtivo das filhas de cada touro, utilizou-se a produção de leite ajustada para idade adulta, para retirar o efeito de idade nas diferenças produtivas.

As vacas de todos os graus de sangue foram separadas em quatro classes de produção de leite, conforme consta na tabela 1.

Tabela 1 – Categoria de produção de leite em kg.

Categoria	Faixa de produção de leite (kg)	Nº de observações
1	abaixo de 1970	12610
2	de 1970 a 2770	12658
3	de 2770 a 3710	12610
4	acima de 3710	12861

Para verificar o impacto do mérito genético dos touros dentro dos rebanhos, utilizaram-se produções de filhas de nove touros escolhidos com base na PTA da seguinte forma: três com valores mais baixos ($113 \pm 1,75$ kg), três com valores intermediários ($222 \pm 5,14$ kg) e três com maiores valores ($428 \pm 83,95$ kg), dentro dos 51 touros geneticamente superiores. O impacto foi calculado como o desvio da média de produção das filhas em relação à média das companheiras de rebanho-ano de parto, em determinado rebanho. A partir destes cálculos, verificou-se o percentual de impacto nos rebanhos que as filhas do touro apresentavam considerando mais que 30 kg de leite acima da média do rebanho (superior), até 30 kg de leite acima ou abaixo da média do rebanho (nulo) e abaixo de 30 kg de leite da média do rebanho. Para demonstrar o efeito de ambiente na variância fenotípica dos animais comparou-se a média dos valores genéticos de algumas filhas de um dos touros com a média da expressão fenotípica de produção de leite dessas filhas dentro de rebanho.

3. Resultados e Discussão

A média de produção de leite das filhas dos 51 melhores touros foi 3.865,08 com desvio-padrão 2281,62 kg. Este valor foi maior do que o observado para a média de produção de leite considerando a média de produção de leite das filhas de todos os touros avaliados no sumário ($3.009,18 \pm 1692,88$ kg). Este resultado demonstra a superioridade genética desses indivíduos, pois mesmo em diversos ambientes a expressão fenotípica foi maior, independente do desvio-padrão. O resultado também indica que ocorreram ganhos de produção de leite no programa de seleção e que não seria esperada superioridade das filhas desses melhores touros nos vários rebanhos com manejos bem diferentes por que, de acordo com Stanton et al. (1991), a utilização de material genético de um reprodutor em um ambiente onde a variância genética é menor do que o local onde ele ou seus parentes foram avaliados limita o desempenho de seus filhos e o retorno econômico que estes podem oferecer.

A dispersão das filhas dos nove touros considerados no estudo, dentro de cada categoria de produção de leite (fig. 1), demonstra que touros de maior valor genético têm maior número de filhas em categorias de maior produção, mas esses touros ainda geraram filhas abaixo da média de produção do rebanho, ou seja, de baixa produção. Isto pode ser atribuído também aos diferentes ambientes do sistema produtivo. Essa variação no fenótipo das filhas se deveu provavelmente à heterogeneidade tanto das variâncias genéticas como das variâncias residuais entre ambientes, o que fornece indícios da existência de IGA.

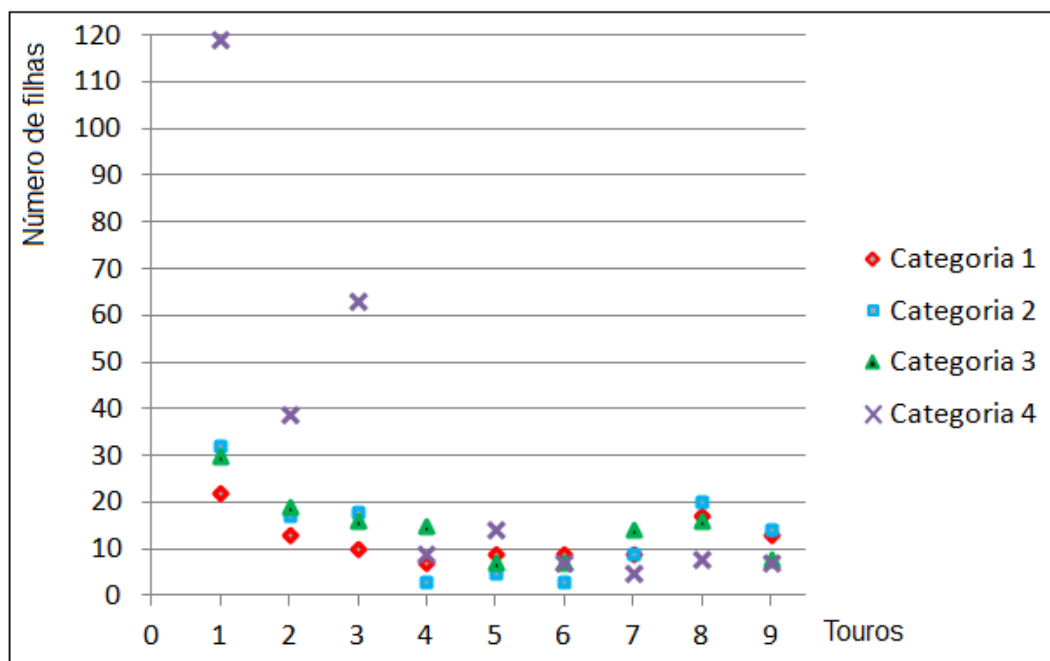


Figura 1 Dispersão das filhas dos touros em diferentes rebanhos dentro de quatro categorias distintas de produção de leite total.

Segundo Vinson (1987), a observação de indivíduos em um ambiente com maior variância genética influenciará com maior impacto a avaliação genética do que a daqueles indivíduos

criados em ambientes com menores variâncias, pois a ponderação da característica observada será proporcional ao seu desvio-padrão, o que poderá influenciar o resultado das avaliações se não se considera as heterogeneidades de variâncias nas análises. Ao estudar a heterogeneidade de variância para três níveis de produção de leite em vacas Holandesas, Torres (1998) concluiu que um processo de seleção intenso seria falho se desconsiderasse a variabilidade dentro dos níveis avaliados, pois níveis com maior variabilidade teriam maior número de indivíduos selecionados, assim a seleção genética seria mais em função do ambiente do que do potencial genético. Portanto, no presente estudo ainda pode-se verificar que filhas de touros de maior PTA apresentaram maior dispersão entre categorias de produção. Provavelmente por serem mais exigentes, as filhas destes touros poderiam estar mais sujeitas aos efeitos da interação genótipo-ambiente. Segundo Norman et al. (2005), desde que o touro possua grande número de filhas em muitos rebanhos, a inclusão do efeito da IGA no modelo de avaliação trará pouca repercussão sobre a acurácia das estimativas. Por sua vez, a avaliação genética de touros com filhas em poucos rebanhos pode ser viesada se este efeito não for considerado no modelo de avaliação (Sirol et al., 2005).

A tabela 2 apresenta os valores de PTAs para os touros e as suas respectivas acurácias. Observa-se que touros com maior PTA tenderam a apresentar maior impacto positivo que touros de menor valor e, que todos os touros apresentam altas acurácias das estimativas de PTAs (acima de 0,7). É bem provável que isto não permitiu a visualização da associação entre as acurácias e as classes de superioridade.

Tabela 2- Méritos genéticos (PTA) dos touros e respectiva acurácia, superioridade de suas filhas em relação à média dos rebanhos e número de filhas em cada rebanho por categoria de produção

Touro	PTA	Acurácia	Superioridade %			Nº de filhas (rebanho)/categoria				Filhas (rebanho)
			alto	nulo	baixo	1	2	3	4	
1	546,9	0,92	63,89	1,85	34,26	22(17)	32(19)	30(23)	119(41)	203(100)
2	377,3	0,88	67,57	0	32,43	13(8)	17(9)	19(12)	39(14)	88(43)
3	361,4	0,91	60,71	5,36	33,93	10(9)	18(12)	16(14)	63(32)	107(67)
4	229,0	0,86	61,90	4,76	33,33	7(5)	3(3)	16(11)	9(8)	34(27)
5	219,3	0,74	65,22	4,35	30,43	9(3)	5(3)	7(5)	14(8)	35(19)
6	217,2	0,77	58,82	5,88	35,29	9(8)	3(3)	7(2)	7(5)	26(18)
7	114,4	0,81	65,00	0	35,00	9(7)	9(8)	14(6)	5(4)	37(25)
8	114,2	0,84	56,76	5,41	37,84	17(7)	20(10)	16(7)	8(4)	61(28)
9	110,6	0,84	51,85	3,70	44,44	13(7)	14(8)	8(7)	7(4)	42(26)

Os resultados de impacto das filhas nos rebanhos são apresentados como o percentual de filhas de cada um dos nove touros, classificados como: alto (>30 kg de leite), nulo (entre 30 e -30 kg de leite) e baixo (<-30 kg de leite) e, segundo Norman et al., (2005), apesar das elevadas acurácias das estimativas de PTAs, atribuídas principalmente ao número de filhas por rebanho e as informações presentes na matriz de parentesco, a variação no desempenho produtivo das filhas pode revelar a ocorrência de interação. Portanto, pode-se observar que todos os touros tiveram no mínimo 30% de suas filhas com produção abaixo de 30 kg de leite

da média do rebanho, inclusive o touro com PTA acima de 500 kg, o que reafirma a existência de heterogeneidade de variâncias entre ambientes.

A figura 2 mostra as médias das produções de leite das filhas de um dos touros considerados na análise e respectivos valores genéticos em cada rebanho. Observa-se que, apesar da dispersão de valor genético e de produção total das filhas deste touro seguirem a mesma tendência, nos rebanhos dois e oito, cujas filhas possuíam médias de valor genético semelhante, tiveram diferentes médias de produções de leite, evidenciadas pela distância da média de produção de leite em relação às médias de valor genético. Em outros rebanhos (e.g. seis e onze), embora as médias de valor genético fossem semelhantes, pode-se perceber a diferença entre as médias de produção de leite pela mudança de sentido na curva de tendência. Isto demonstra a importância do efeito de rebanho sobre a variância fenotípica na característica, ou seja, a expressão do potencial produtivo das vacas é influenciada pelas condições ambiente (Van Tassell e Berger, 1994).

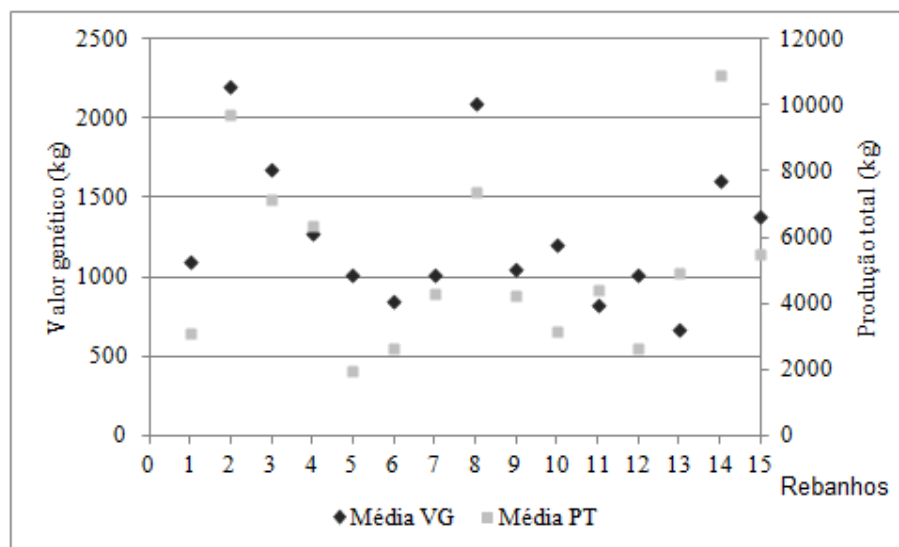


Figura 2 – Valores médios para valor genético (Vg em kg) e produção total de leite (PT em kg) das filhas do touro 1 em 15 rebanhos.

4. Conclusões

Os resultados sugerem a existência de efeito de interação genótipo-ambiente (IGA) de rebanho sobre a produção de leite das filhas dos touros testados no Programa Nacional de Melhoramento Genético da Raça Gir, o que justificaria busca pela melhor metodologia de avaliação da IGA e inclusão no modelo de avaliação genética

5. Referências Bibliográficas

- BLAKE, R. W.; HOLMANN, F. J.; GUTIERREZ, J. et al. Comparative profitability of United States Holstein artificial insemination on sires in Mexico. *Journal of Dairy Science*, v. 71, n. 5, p. 1378, 1988.
- BOWMAN, J.C. Genotype x environment interactions. *Ann. Genet. Sel. Anim.*, Paris, v. 4, n. 1, p. 117-123, 1972.
- BUCHANAN, D.S.; NIELSEN, M.K. Sire by environment interactions in beef cattle field data. *Journal of Dairy Science.*, v.48, n. 2, p.307-312, 1979.
- BUENO, R.S.; TORRES, R.A.; RENNÓ, F.P. et al. Ajustamento para heterogeneidade de variâncias para produção de leite e gordura entre rebanhos da raça Pardo-Suíça no Brasil. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, v.59, n.2, p.481-487, 2007.
- 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.
- FALCONER, D. S.; MAKAY, T. F. C. *Introduction to Quantitative Genetics*. Essex: Longman Scientific & Technical, 1996. 464p.
- HENDERSON, C. R. *Application of linear models in animal breeding*. Ithaca: University of Guelph, 1984. 462 p.
- NORMAN, H. D., VANRADEN, P. M. ; POWELL, R. et al. Effectiveness of national and regional sire evaluations in predicting future-daughter milk yield. *Journal of dairy science*. V.88, p.812-826, 2005.
- SIROL, M.L.F.G.; EUCLYDES, R.F.; TORRES, R.A. et al. Efeito da interação reprodutor x rebanho sobre as produções de leite e de gordura na raça pardo-suíça. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.34 , n.5, p. 1573-1580, 2005.
- STANTON, T. L.; BLAKE, R. W.; QUAAS, R. L. et al. Genotype by environment interaction for Holstein milk yield in Colombia, Mexico and Puerto Rico. *Journal of Dairy Science*, v. 74, n. 5, p. 1700 – 1714, 1991.
- TORRES, R.A. Efeito da heterogeneidade de variância na avaliação genética de bovinos da raça Holandesa no Brasil. Belo Horizonte, MG: UFMG, 1998. 123p. Tese (Doutorado em Ciência Animal) - Universidade Federal de Minas Gerais, 1998.
- VAN TASSELL, C. P.; BERGER, P. J. Consideration of sire relationships for estimation of variance components with interaction of herd and sire. *Journal of Dairy Science*, v.77, p.313-324, 1994.

VINSON, W. E. Potential bias in genetic evaluations from difference in variation within-herds. *Journal of Dairy Science*. v.70, p.2450–2455, 1987.

CAPÍTULO 3

INTERAÇÃO GENÓTIPO-AMBIENTE PARA A CARACTERÍSTICA DE PRODUÇÃO DE LEITE NA RAÇA GIR LEITEIRO NO BRASIL

RESUMO

Observações de produção de leite das três primeiras lactações de vacas da raça Gir foram utilizadas para avaliar o efeito da interação genótipo-ambiente sobre a produção de leite. Foram realizadas duas análises diferentes considerando ambientes distintos, na primeira os rebanhos foram classificados em três níveis de acordo com a média de produção de leite: baixo (<2.580 litros), médio (de 2.581 a 3.670 litros) e alto (>3.671 litros), na segunda foram considerados os biomas Caatinga e Mata atlântica como diferentes ambientes. Análise multicaracterística foi realizada para estimar a correlação genética entre os diferentes ambientes. Correlações de Spearman e de Pearson foram utilizadas para avaliar mudanças entre o valor genético e entre a classificação dos 10% melhores animais. As correlações genéticas encontradas foram de baixas a moderadas magnitudes (variaram de 0,39 a 0,53 para níveis de produção e 0,58 para biomas), as correlações de Spearman e de Pearson foram moderadas (variaram, respectivamente, de 0,48 a 0,60 e 0,48 a 0,61 para níveis, 0,53 e 0,56 para biomas), o que sugere ocorrência de interação genótipo ambiente para produção de leite em Gir Leiteiro, com a necessidade da inclusão desta interação na avaliação genética da raça.

Palavras-chave: Correlação genética, correlação de Pearson, correlação de Spearman, produção de leite

ABSTRACT

Data on total milk production of three first lactations of Gyr cattle were used in the evaluation of genotype by environment interaction effect (GxE) on milk production. Two approaches were considered. In the first, herds were classified according to average milk production into three levels: low (<2,580 liters), medium (2,581 to 2,670 liters) and high (>3,671 liters), in the second approach, herds were grouped according to Brazilian biomes (Atlantic Forest and Savanna-like). Multiple trait analyses were carried out to estimate genetic correlations. Spearman and Pearson correlations were used to evaluate changes in genetic merit rankings of the 10% top animals. The estimated genetic correlations varied from low to moderate magnitude (from 0.39 to 0.53 to average milk production and 0.58 to biomes). Spearman correlation were moderate (varying from 0.48 to 0.60 to average milk production and 0.53 to biomas), and Pearson correlation were moderate (varying from 0.48 to 0.61 to average milk production and 0.56 to biomes), suggesting the occurrence of GxE interaction for milk production Gyr cattle, with the need to include this interactions in the genetic evaluation of the breed.

Keywords: Genetic correlation, milk production, Pearson correlation, Spearman correlation

1. Introdução

De acordo com Falconer e Mackay (1996), interação genótipo-ambiente (IGA) significa que o melhor genótipo em um ambiente não é o melhor em outro, em outras palavras, uma característica medida em dois ambientes diferentes, deve ser considerada como duas características distintas. Assim, correlações genéticas entre as produções de leite de progênie de um mesmo touro em ambientes diferentes podem revelar a existência da IGA, bem como sua importância, com base em sua magnitude. Diferenças específicas do ambiente podem ter um efeito maior em alguns genótipos do que em outros e causar mudanças na ordem de classificação dos animais com melhores valores genéticos nos diferentes ambientes.

Apesar dos estudos de IGA em bovinos leiteiros no Brasil serem poucos, eles são importantes para auxiliar na conscientização dos produtores sobre o uso adequado de material genético importado. Os resultados observados por Vargas e Van Arendonk (2004), ao compararem o ganho genético de testes de progênie realizados na Costa Rica com o ganho genético de importação de sêmen dos Estados Unidos, com base na magnitude da correlação genética entre os dois países (em torno de 0,60), sugerem que um programa de melhoramento genético do próprio país, com base em um núcleo de seleção, pode ser mais rentável do que uma estratégia baseada na importação contínua de sêmen.

Céron-Muñoz et al. (2004), em estudo de identificação da IGA para produção de leite em vacas Holandesas no Brasil e na Colômbia, encontraram correlação genética de 0,74, o que indica que haveria reclassificação dos touros nos dois países, e assim sêmen importado nestes países levaria a filhas com diferentes desempenhos produtivo. Desta forma, os países devem estruturar seus próprios programas de seleção com base nos objetivos produtivos nacionais. Ressalta-se, no entanto, que seria importante para o posicionamento dos países latino-americanos no mercado internacional de material genético, se houvesse uma avaliação única com informações destes países com identificação da IGA existente, pois a utilização de material genético de um reprodutor em um ambiente onde a variância genética é menor do que o local em que ele ou seus parentes foram avaliados limitaria o desempenho de seus filhos e o retorno econômico que estes poderiam oferecer (Stanton et al., 1991).

Grande parte dos estudos relacionados à IGA para a característica de produção de leite esta voltada para o efeito entre países, poucos são os estudos que visam diferenças entre estados ou ambientes produtivos.

O Programa Nacional de Melhoramento do Gir Leiteiro, realizado há mais de 20 anos, apresenta significativa contribuição e destaque para a pecuária Brasileira. Apesar de se observarem ganhos genéticos com a utilização do material genético advindo deste programa, deve-se agir com cautela na disseminação de sêmen, no país que tem dimensões continentais com variadas condições ambientais e de manejo.

A inclusão da IGA nas avaliações genéticas do Gir Leiteiro poderia resultar em melhores retornos econômicos para o produtor, uma vez que estudo preliminar realizado por Freitas et

al. (2009), indica efeito de rebanho na produção de leite das filhas de touros com valores genéticos diferentes, apontando a possibilidade da existência da IGA.

A falta de trabalhos sobre IGA para zebu leiteiro e sua importância econômica nortearam a realização deste trabalho que visa identificar a presença da interação genótipo-ambiente para produção de leite em rebanhos da raça Gir no Brasil.

2. Material e Métodos

Neste estudo foram utilizadas informações extraídas da base de dados do Programa Nacional de Melhoramento do Gir leiteiro, executado pela Embrapa Gado de Leite, em parceria com a Associação Brasileira de Criadores de Gir Leiteiro. Na busca da IGA foram consideradas duas diferentes avaliações para ambientes distintos.

A base de dados original continha 50739 registros de produção de leite em toda a lactação, de 25019 vacas puras e mestiças Gir. Para maior consistência dos dados, foram selecionadas observações das três primeiras lactações de vacas puras, com pais conhecidos e puros. Produções de vacas que se iniciaram em ano e época com menos de quatro observações foram descartadas, mantendo-se grupos contemporâneos: 49 classes para ano e duas classes para época do parto (abril a setembro e outubro a março). Foram considerados intervalos entre os partos de 350 a 1100 dias de modo que fossem mantidas apenas lactações seqüenciadas e somente de três partos da mesma vaca. Após a edição dos dados restaram 28406 observações de 16456 vacas. O arquivo de pedigree continha 25107 animais.

Nesta primeira avaliação, o nível médio de produção do rebanho foi considerado como ambiente produtivo. Assim considerou-se que rebanhos com baixas produções apresentavam condições precárias de manejo. Para se determinar os ambientes, calcularam-se médias de produção por rebanhos entre os anos de 1995 a 2008, com o objetivo de não se criarem grupos produtivos que não tivessem acompanhado as melhorias zootécnicas iniciadas com o Programa Nacional de Melhoramento do Gir leiteiro. Com isso os rebanhos foram divididos em três níveis em relação à média de produção de leite, considerados diferentes ambientes para análise: baixo (<2580 litros), médio (de 2580 a 3670 litros) e alto (>3671 litros).

Os dados de produção total de leite das três primeiras lactações de vacas Gir entre 1960 a 2008, foram agrupados em duas estações de parto (de outubro a março e de abril a setembro) e editados de forma a manter apenas filhas de pais com no mínimo três filhas e com produção em rebanhos que apresentavam quatro grupos contemporâneos resultando em 27517 observações de 16456 vacas que foram incluídas neste estudo. Os rebanhos foram então, agrupados nos três níveis produtivos mencionados anteriormente. Dentro de cada nível de produção do rebanho, os animais foram separados em três categorias de produção individual, o que caracterizava a produção real da vaca dentro do rebanho (tabela 1).

Assim, a produção de leite em diferentes ambientes foi considerada como característica diferente e a determinação da interação genótipo-ambiente se baseou nas correlações entre a produção de leite nos diferentes ambientes.

Tabela 1 – Separação dos indivíduos em nível do rebanho e faixa de produção

Nível	Média de produção do rebanho (kg)	Categoria	Faixa de produção individual (kg)
1	<2580	1	<1451
		2	1450 a 2151
		3	>2151
2	de 2580 a 3670	1	<2051
		2	2050 a 2801
		3	>2800
3	>3671	1	<3001
		2	3000 a 4301
		3	>4300

O seguinte modelo foi utilizado nas análises:

$$y_{ijklmn} = AP_i + EP_j + CAT_{klm} + bI_m + bI2_m + u_n + p_o + e_{ijklmn} ,$$

em que y_{ijklmn} é a observação no ano de parto i , na época j dentro da categoria de produção k no nível de produção de leite, AP é o ano de parto i , EP é a época de parto j ; CAT é a categoria de produção kl em que a vaca se enquadra dentro do nível médio de produção do rebanho m . p_o é o efeito de ambiente permanente. Como covariáveis foram consideradas a idade da vaca ao parto (I) e idade da vaca ao parto ao quadrado ($I2$) e, como efeito aleatório o valor genético u_n e o residual e_{ijklmn} .

Os dados foram avaliados no programa MTDFREML (Boldman et al., 1995) em análise multicaracterística, considerando duas a duas as características. Os resultados obtidos de (co)variâncias genéticas foram utilizados para calcular as correlações genéticas para produção de leite nos diferentes ambientes. O critério de convergência da variância dos valores do 'simplex' adotado foi de 10^{-9} . Para avaliar a ocorrência de reclassificação de acordo com os valores genéticos dos animais, foram calculadas correlações Pearson e de Spearman entre valores genéticos apenas para 10% dos touros superiores em cada ambiente produtivo.

A segunda avaliação foi realizada considerando a mesma base de dados. Após a edição dos dados restaram 27319 observações de 16361 vacas. Os biomas brasileiros foram considerados como diferentes ambientes. Assim, a localização de cada rebanho foi identificada (fig. 1) e incluída em cada bioma (fig. 1). Segundo o IBGE (2004), um bioma é uma grande área territorial contínua, definida por aspectos climáticos, geográficos e litológicos similares, o que permite diversidade biológica própria.



Fonte Embrapa Gado de Leite e IBGE

Figura 1 – Mapa de identificação dos rebanhos Gir leiteiro participantes do Programa Nacional de Melhoramento do Gir Leiteiro (acima) e mapa dos biomas brasileiros (abaixo).

Foram utilizadas as três primeiras lactações das vacas Gir entre os anos de 1960 a 2008 e apenas rebanhos que estivessem nos biomas cerrado e mata atlântica. Os demais biomas por apresentarem baixo número de rebanhos foram eliminados. A utilização destes filtros resultou em 26779 observações de 16008 vacas que foram utilizadas na análise. O arquivo de pedigree continha 25107 indivíduos.

O modelo utilizado para descrever a produção de leite em cada ambiente foi:

$$y_{ijkl} = AP_i + EP_j + bI_k + u_l + p_m + e_{ijkl} ;$$

em que y_{ijkl} é a observação de produção de leite no ano de parto i , na época j ; AP_i é o ano de parto i , EP_j é a época de parto j . I_k é a idade da vaca ao parto k , considerada como covariável com efeito linear, p_m como efeito de ambiente permanente, u_l efeito genético l e e_{ijkl} efeito residual, ambos considerados aleatórios.

Os dados também foram avaliados no programa MTDFREML (Boldman et. al. 1995) em análise multicaracterística e os resultados obtidos de (co)variâncias genéticas foram utilizados para calcular as correlações genéticas para produção de leite nos diferentes biomas. O critério de convergência da variância dos valores do ‘simplex’ adotado foi de, no mínimo, 10^{-9} . Para avaliar se ocorreu reclassificação dos valores genéticos dos indivíduos nos dois ambientes, correlações Pearson e Spearman foram estimadas entre valores genéticos dos 10% melhores touros em cada ambiente produtivo.

3. Resultados e Discussão

Na tabela 2 está registrado o número de observações em cada ambiente e a média de produção de cada nível. Para o nível alto de produção o número de observações foi menor, por apresentar menor número de rebanhos com alta produção de leite. As variações fenotípicas são altas em todos os níveis, mas os rebanhos de menor produção de leite apresentaram menor desvio padrão, provavelmente por ser uma raça que apresenta média de produção moderada, de 2.873 ± 1.394 kg (Verneque et al., 2010).

A tabela 3 contém os valores de correlações genéticas entre os três níveis de produção avaliados. Observa-se que as correlações variaram de moderada a baixa entre todas as categorias, o que indica que há IGA para produção de leite. Falcão et. al. (2006) também encontraram evidências da interação genótipo-ambiente para produção de leite de bovinos da raça holandesa, por observarem diferenças significativas entre os componentes de variância genética e residual para alguns estados brasileiros avaliados.

Tabela 2 – Número de observações, média de produção (kg) e desvio padrão (kg) para cada nível de classificação dos rebanhos

Itens	Nível de produção do rebanho		
	Baixo	Médio	Alto
Nº observações	10904	12900	4602
Média de produção	2016,97	2753,24	4079,11
Desvio padrão	955,84	1156,76	2044,98

Rorato et. al. (2000) avaliaram a interação genótipo-ambiente para produção de leite em vacas da raça holandesa, separadas em três níveis de produção, conforme o presente trabalho e encontraram correlações genéticas entre os níveis baixo e médio de 0,42, entre baixo e alto de 0,26 havendo forte indício da presença da interação, ou seja, os genes responsáveis pela expressão da característica em um dos ambientes seriam diferentes daqueles responsáveis pela expressão da característica nos demais ambientes comparados. Portanto, os melhores

reprodutores em um dos níveis não serão, necessariamente, os melhores nos demais. Houri Neto (1996) sugere que valores de correlação abaixo de 0,75 seriam significativos para IGA, pois em seu estudo de interação genótipo-ambiente para produção de leite em bovinos Holandês entre o Brasil e os Estados Unidos o valor foi de 0,60, o que proporcionou alta reclassificação dos indivíduos, onde 24% de animais de PTA negativa nos Estados Unidos tiveram correspondência positiva no Brasil. Apesar dos dados de avaliações comparativas serem em uma raça com características adaptativas diferentes, pode-se observar que a ação do ambiente produtivo para raça Gir também influencia a expressão do genótipo.

Tabela 3 Correlações genéticas para produção de leite entre os diferentes ambientes

Ambiente	médio	alto
baixo	0,53	0,46
médio		0,39

Foram calculadas as correlações Pearson e Spearman entre os 110 indivíduos superiores para o nível de mais alta produção de leite. Na tabela 4 constam os valores das correlações que foram moderadas. Isto indica que mudanças na variância genética levariam as mudanças nos valores genéticos e na classificação dos indivíduos; uma vez que o melhor animal em um ambiente pode não ser o melhor em outro. Falcão et al. (2008), em estudo da existência da IGA em vacas holandesas, verificaram, por meio da correlação Spearman, que houve classificações distintas e seleção de diferentes touros entre os cinco Estados considerados no estudo. Portanto, a IGA é importante e deve ser considerada nas avaliações genéticas, com o objetivo de se obterem estimativas mais precisas do valor genético dos animais da raça Gir, o que minimizaria perdas econômicas com a utilização de reprodutores considerados melhores em certos ambientes, mas que não seriam em ambientes diferentes. A análise dos dois resultados das correlações, indica que há alterações nos valores genéticos para cada ambiente e também alteração na classificação dos indivíduos. Assim, se um touro é classificado de acordo com a produção de leite de suas filhas em um ambiente produtivo, provavelmente não terá a mesma classificação em outro ambiente. Desta forma a capacidade predita de transmissão poderá ser diferente para os ambientes.

O programa de melhoramento do Gir Leiteiro tem resultado, ao longo dos anos, em grandes ganhos genéticos na produção de leite em decorrência do avanço tanto na melhoria das condições de condução do teste de progênie quanto nas metodologias de análises. Os resultados obtidos na presente pesquisa de correlações genéticas e correlações de posto indicam a necessidade de se considerar a heterogeneidade de variâncias entre os níveis produtivos, provavelmente em razão do incremento no desvio-padrão fenotípico das características associadas à produtividade, à semelhança das observações de Van Der Werf et al. (1994), nas avaliações genéticas. Ao desconsiderar a heterogeneidade de variância há um risco da seleção se basear na variabilidade fenotípicas dos animais e não nos indivíduos de mais potencial genético.

Tabela 4 Correlações Pearson (abaixo da diagonal) e Spearman (acima da diagonal) entre os 10% melhores animais para os diferentes níveis de produção

	baixo	médio	alto
baixo	-	0,48	0,58
médio	0,61	-	0,60
alto	0,53	0,48	-

A distribuição dos dados para IGA entre biomas consta da tabela 5. O bioma cerrado concentra maior número de observações, mas as variações fenotípicas em cada bioma são semelhantes. O que poderia ser um indício de não haver influência ambiental nas manifestações do genótipo. Mas o resultado obtido de correlação genética entre ambientes foi de 0,58. Valor considerado moderado, mas que indica, segundo Falconer e Makay (1996), que diferentes genes poderiam estar influenciando a característica produção de leite nos diferentes biomas avaliados. Este é um indicativo de que em cada um dos ambientes haveria diferentes classificações dos valores genéticos dos indivíduos. Não é do conhecimento qualquer estudo que avalia os efeitos climáticos e regionais sobre a produção de leite no Brasil, mas Mattar (2009), em estudo sobre os efeitos da IGA sobre o peso ao sobreano na raça Canchim, identificou a significância desta interação tanto para estados da federação quanto para regiões do estado de São Paulo, o que aponta para a necessidade de se escolherem reprodutores adaptados a região específica de produção.

Tabela 5 – Distribuição dos dados produtivos em cada bioma

	Biomas	
	Cerrado	Mata Atlântica
Nº observações	19505	8103
Média de produção (kg)	2554,18	3016,28
Desvio-padrão	1336,42	1690,15

De um total de 1609 pais, foram selecionados os 160 melhores genótipos, e calculadas as correlações genéticas para produção de leite em diferentes biomas, Pearson (0,56) e Spearman (0,53). A magnitude das correlações encontradas enfatiza que a ação do ambiente geoclimático influiria na classificação dos genótipos nos ambientes estudados.

No Brasil, país de ampla extensão territorial e grande diversidade climática e sócio-econômica, a manifestação do genótipo dos indivíduos fica condicionada à variedade de ambiente, como demonstram os resultados da presente pesquisa, com nítida indicação da existência de IGA para produção de leite de animais Gir Leiteiro. A acurácia dos valores genéticos dos animais avaliados em diversos ambientes será reduzida quando houver interação genótipo-ambiente detectável, o que influencia diretamente nos ganhos genéticos obtidos com a utilização de animais selecionados (Bertrand et al., 1985).

4. Conclusões

As correlações genéticas para produção de leite em diferentes níveis de produção e em diferentes biomas variaram de moderadas a baixas e as correlações Pearson e Spearman (posto), respectivamente, entre os valores genéticos dos 10% melhores animais foram moderadas, clara evidência da interação genótipo-ambiente para produção de leite na raça Gir no Brasil. Estes resultados mostram a importância de se considerar a interação genótipo-ambiente nas avaliações genéticas da raça.

5. Referencias Bibliográficas:

BERTRAND, J.K. BERGER, P.J.; WILHAM, R.L. Sire x environment interactions in beef cattle weaning weight field data. *J. Anim. Sci.*, v. 60, n. 6, p. 1396-1402, 1985.

BOLDMAN, K.G., KRIESE, L. A., VAN VLECK, L.D. et al. “A manual for use of *MTDFREML*” USDA-ARS, Clay Center. 114p. 1995.

CERÓN-MUÑOZ, M.F.; TONHATI, H.; COSTA, C.N. et al. Interação genótipo-ambiente em bovinos da raça holandesa brasileiros e colombianos. *Arch. Zootec. V.53*, p. 239-248. 2004.

FALCÃO, A. J. S.; MARTINS, E. N.; COSTA, C. N. et al. Interação genótipo-ambiente na produção de leite de vacas da raça ambiente na produção de leite de vacas da Holandesa. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, v. 30, n. 2, p. 225-231, 2008.

FALCONER, D. S.; MAKAY, T. F. C. *Introduction to Quantitative Genetics*. Essex: Longman Scientific & Technical, 1996. 464p.

FREITAS, L.S.; PEIXOTO, M.G.C.D.; SILVA, M.A. et al. Avaliação do desempenho produtivo de filhas de touros provados da raça Gir leiteiro. In: *Anais 46ª Reunião Soc. Bras. Zootec. SBZ*, Maringá, p. 1-3, 2009.

HOURI NETO, M. **Interação genótipo-ambiente e avaliação genética de reprodutores da raça Holandesa, usados no Brasil e nos Estados Unidos da América**. Belo Horizonte, MG. Escola de Veterinária-UFMG, 1996. 204 p. Tese (Doutorado em Ciência Animal) – Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.

IBGE (2004) Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. www.ibge.gov.br

MATAR, M. **Interação Genótipo–Ambiente para Peso ao Sobreano na Raça Canchim**. Jaboticabal, SP. Unesp, 2009. 105p. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Estadual Paulista “JULIO DE MESQUITA FILHO”, 2009.

RORATO, P.R.N.; VAN VLECK, D.; VERNEQUE, R.S. et al. Interação genótipo-ambiente para a produção de leite em rebanhos da raça Holandesa no Brasil. 2.Uso de um modelo animal. *Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, v.29, n.6, 2000, p.2030-2035 (Suplemento 1).

- STANTON, T. L.; BLAKE, R. W.; QUAAS, R. L. et al. Genotype by Environment interaction for Holstein Milk Yield in Colombia, Mexico and Puerto Rico. *Journal of dairy science*. v. 74, n. 5, p. 1700 – 1714, 1991.
- VAN DER WERF, J. H. J., MEUWISSEN, T. H. E.; DE JONG, G. Effects of correction for heterogeneity of variance on bias and accuracy of breeding values estimation for Dutch dairy cattle. *Journal of dairy science*. v.77, p.3174–3184, 1994.
- VARGAS, B., VAN ARENDONK. J. A. M. Genetic comparison of breeding schemes based on semen importation and local breeding schemes: Framework and application to Costa Rica. *Journal of dairy science*. v.87, p.1496–1505,
- VERNEQUE, R.S., PEIXOTO, M.G.C.D., VERCESI FILHO, A.E. et al. Programa Nacional de Melhoramento do Gir Leiteiro – Sumário Brasileiro de Touros – Resultado do Teste de Progênie – Maio de 2010. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2010. 56 p. (Embrapa Gado de Leite. Documentos, 137)

CAPITULO 4

SENSIBILIDADE DOS VALORES GENÉTICOS DE BOVINOS DA RAÇA GIR LEITEIRO ÀS MODIFICAÇÕES DOS NÍVEIS MÉDIOS DE PRODUÇÃO DE LEITE DO REBANHO

RESUMO

Este trabalho objetivou investigar a presença de interação genótipo-ambiente para produção de leite, gordura e proteína de vacas da raça Gir Leiteiro por modelos de regressão aleatória. Para produção de leite foram avaliadas 9.190 observações de primeiras lactações de vacas Gir utilizadas no Programa Nacional de Melhoramento do Gir Leiteiro, pela Embrapa Gado de Leite. Os rebanhos foram divididos em três níveis de produção de leite: baixo (média de 1.728 litros), médio (média de 2.823 litros) e alto (média de 4.863 litros), sendo estes considerados níveis diferentes de rebanho. Para produção de gordura e proteína foram avaliadas 1.190 observações de primeiras lactações de vacas Gir e, os rebanhos foram divididos em três níveis de produção de leite: baixo (média 1.832 litros), médio (média 3.146 litros) e alto (média 4.821 litros), também considerados níveis diferentes de rebanho. Assim, estimaram-se componentes de covariância. As variâncias encontradas para o intercepto foram maiores do que as dos coeficientes lineares do efeito genético aditivo direto, com correlações de 0,57, 0,90, 0,86 entre eles, respectivamente para leite, proteína e gordura. A estrutura de covariância encontrada demonstra acentuada inclinação, com aumento em direção aos níveis de produção mais altos. As normas de reação para os melhores touros no ambiente de baixa produção mostram alta dispersão e alteração no ordenamento dos indivíduos em níveis mais altos de produção, o que indica efeito de interação genótipo-ambiente nos valores genéticos dos indivíduos. Assim, avaliações genéticas realizadas sob determinado nível de produção não permitiriam a predição de valores genéticos válidos para outros níveis para as três características.

Palavras-chave: Regressão aleatória, norma de reação, produção de leite, produção de gordura, produção de proteína

ABSTRACT

This paper aims to evaluate the effect of genotype x environment interaction on milk production, fat and protein of dairy Gyr cows by random regression models. A total of 9,190 records of milk production of first lactation cows from Gyr National Program for Improvement of dairy Gyr, by Embrapa dairy cattle were evaluated. The herds were divided into three levels of milk production, lower (average of 1,728 liters), medium (average of 2,823 liters) and high (mean of 4,863 liters), which were considered different levels of herd. A total of 1,190 records of first lactation of Gyr cows were divided into three levels of milk production, lower (average of 1,832 liters), medium (average of 3,146 liters) and high (mean of 4,821 liters), considered as different levels of herd, were used in the fat production and

protein content analyses. The covariance components were also estimated. The variances of the intercept coefficient was larger than that of the linear coefficient of direct additive genetic effect for all traits, with a correlation of 0.57, 0.90 and 0.86 for milk production, protein and fat production, respectively. The covariance structure showed a marked inclination toward higher production levels, with an increase towards higher production levels. The reaction norms for the best sires in the environment of low production show high dispersion and change in the ranking of individuals at higher levels of production. This suggests a genotype x environment interaction effect on genetic values of individuals, and that the genetic evaluations under certain level of production, do not allow a valid prediction of genetic values of milk production, protein and fat in milk, for other levels of production.

Keywords: Fat yield, milk production, protein yield, random regression, reaction norm

1. Introdução

A seleção de indivíduos com genética superior visa a aumentar a frequência de alelos favoráveis para expressão da característica de interesse. Mas Falconer e Makay (1996) afirmam que o conjunto de genes responsáveis pela expressão da característica de interesse pode variar de acordo com o ambiente em que o animal é submetido e assim, alterar a manifestação fenotípica da característica, de acordo com o ambiente sendo essa modificação chamada de sensibilidade ambiental.

A sensibilidade ambiental é um bom representante da interação genótipo-ambiente (IGA), pois a diferença fenotípica de dois genótipos distintos pode não ser a mesma em diferentes ambientes, o que poderia causar mudança na distribuição dos animais classificados por efeito de escala ou mesmo reclassificação. Essa sensibilidade ambiental, também chamada de plasticidade fenotípica, foi estudada durante muitos anos apenas na busca do conhecimento de características adaptativas, por meio de normas de reação (Ebert et al., 1991). As normas de reação são modelos que expressam o fenótipo como função polinomial do valor do ambiente, onde os coeficientes da função sofrem ação do genótipo (De Jong, 1995). Assim, um número infinito de ambientes pode ser definido como gradiente contínuo e modelado como função de covariância para dados longitudinais, como desenvolvido por Kirkpatrick e Heckman (1989). Nesta metodologia, os ambientes não precisam ser agrupados e o desempenho do genótipo é regredido em função do gradiente ambiental, assim é possível classificar um ambiente como mais ou menos favorável para determinado genótipo (Kolmodin et al., 2002).

Os modelos de norma de reação foram utilizados por Kolmodin et al. (2002) para identificar e quantificar a IGA em características de produção de leite e fertilidade de bovinos em países do Norte Europeu. Os autores concluíram que os modelos de norma de reação podem auxiliar nas avaliações genéticas entre países, pois ao medir o ambiente em uma escala contínua, evita-se a formação de grupos ambientais com ausência de laços genéticos. Como resultados, obtiveram o reordenamento dos touros entre ambientes médios e extremos quando os valores genéticos foram preditos pelo desempenho da progênie em cada ambiente. Assim, a representação gráfica de normas de reação dos indivíduos avaliados demonstrou retas com

diferentes inclinações e, conseqüentemente, heterogeneidade de variância e reclassificação dos indivíduos nos pontos extremos do gradiente ambiental.

Análises de normas de reação também foram utilizadas por Calus et. al. (2002) na análise de IGA na produção de proteína total de bovinos leiteiros da raça Holandesa na Holanda. Estes autores, porém, não regrediram os valores genéticos em relação às médias simples dos grupos contemporâneos, mas em relação aos efeitos fixos de cada um deles. Estes efeitos foram calculados ao ser aplicado, em um primeiro momento, o modelo reprodutor para estimar os efeitos fixos de cada grupo contemporâneo e, deste modo, corrigir as influências genéticas em cada grupo contemporâneo. Posteriormente, os efeitos fixos de cada subclasse foram ordenados e utilizados na predição dos coeficientes das regressões aleatórias que descrevem as normas de reação. Além disso, compararam os modelos de norma de reação com outros modelos e concluíram que por usar todos os dados juntos os modelos de regressão aleatória são capazes de fornecer o valor genético dos indivíduos de forma mais confiável.

Calus e Veerkamp (2003), ao darem continuidade ao estudo anterior do efeito da IGA, pela sensibilidade ambiental considerada rebanho-ano de produção para características de produção de leite, gordura e proteína, encontraram efeito de escala semelhante nessas características e ponderaram que se este efeito for diferente para cada característica que compõe um índice de seleção, haverá reclassificação dos indivíduos. Assim, as normas de reação se tornam alternativa para identificação precisa da IGA, pois os parâmetros genéticos são estimados em função de um gradiente ambiental (Pégolo, 2009).

A grande extensão territorial do Brasil associada à crescente utilização de material genético, salienta a importância do efeito da IGA, pois a utilização de material genético de um reprodutor em um ambiente onde a variância genética é menor do que o local onde ele ou seus parentes foram avaliados limita o desempenho de seus filhos e o retorno econômico que estes podem oferecer. As normas de reação permitem estimar valores genéticos para os animais avaliados em função do ambiente, o que possibilita a comparação destes valores e a estimação da variância genética para qualquer ambiente dentro de um intervalo definido, mesmo na presença de heterogeneidade de variância e de sensibilidades de valores genéticos à modificação do ambiente. Assim, quando houver variação genética para os coeficientes de regressão aleatórios, é possível mudar com seleção não somente o desempenho do animal em um ponto específico, mas também o padrão deste desempenho (Kolmodin et al., 2002).

Diante das novas políticas de gratificações por qualidade do leite e presença de certos constituintes, surge a preocupação com estudos dos efeitos de ambiente sobre as características de produção e sólidos no leite. Assim, o objetivo deste trabalho foi investigar a presença de interação genótipo-ambiente para produção de leite, gordura e proteína de vacas da raça Gir leiteiro por meio de modelos de regressão aleatória e normas de reação.

2. Material e Métodos

Para estudo da IGA na raça Gir, foram utilizadas informações extraídas da base de dados do Programa Nacional de Melhoramento do Gir Leiteiro, executado pela Embrapa Gado de Leite, em parceria com a Associação Brasileira de Criadores de Gir Leiteiro.

Na avaliação da interação sobre a produção de leite, os dados de produção total de leite das primeiras lactações de vacas Gir que ocorreram entre os anos de 1960 a 2010 foram divididos em duas estações de parto (de outubro a março e de abril a setembro). Para formação dos grupos contemporâneos adotou-se como filtro o mínimo de quatro vacas por ano e época de parto. Após a edição do banco de dados, foram utilizadas 9190 observações. Os rebanhos foram divididos em três níveis de produção de leite: baixo (média de 1.728 litros), médio (média de 2.823 litros) e alto (média de 4.863 litros). Considerou-se que rebanhos com baixas produções apresentaram condições precárias de manejo e, portanto diferença ambiental significativa para expressão da característica.

Os dados de produção de gordura e proteína do leite das primeiras lactações de vacas Gir que ocorreram entre os anos de 1960 a 2010 foram divididos em duas estações de parto (de outubro a março e de abril a setembro). A edição do banco de dados foi realizada de forma semelhante, mantendo-se no mínimo quatro indivíduos por grupo contemporâneo. Após a edição, foram utilizadas 1.190 observações, pois nem todas as vacas tinham os dados de gordura e proteína no leite. Assim, os rebanhos foram divididos em três níveis de produção de leite: baixo (média 1.832 litros), médio (média 3.146 litros) e alto (média 4.821 litros), que se caracterizaram como ambientes distintos.

O modelo utilizado para análise de todos os dados, onde as normas foram determinadas por regressões aleatórias em polinômios de Legendre, foi o seguinte:

$$y_{hijlm} = ANO_i + EP_j + \sum_{k=0}^1 \beta_{lk} Z_k(m) + \sum_{k=0}^1 a_{hk} Z_k(m) + e_{hijlm}, \text{ em que:}$$

y_{hijlm} é a observação h , do animal na idade l , produzindo no ambiente m ; ANO_i corresponde ao efeito fixo de ano de parto i , EP_j ao efeito de época de parto j , β_{lk} é o coeficiente de regressão fixo k , atribuído ao ambiente de produção m ; a_{hk} é o coeficiente de regressão aleatório k de efeito genético aditivo atribuído ao animal h ; $Z_k(m)$ é o polinômio de Legendre k , atribuído ao ambiente m ; e_{hijlm} é o resíduo atribuído a cada observação, em função do ambiente.

Assumindo-se em notação matricial:

A média dos efeitos:

$$E \begin{bmatrix} y \\ a \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Xb \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Variâncias e covariâncias:

$$G = \begin{bmatrix} \sigma_{b_0}^2 & \sigma_{b_0b_1} \\ \sigma_{b_0b_1} & \sigma_{b_1}^2 \end{bmatrix} \quad V(y) = Z(A \otimes G)Z' + R$$

$$V \begin{bmatrix} a \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G \otimes A & 0 \\ 0 & R \end{bmatrix}, \text{ e } R = \begin{bmatrix} \sigma_{e_1}^2 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{e_2}^2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{e_3}^2 \end{bmatrix} e,$$

$\sigma_{b_0}^2$ e $\sigma_{b_1}^2$ são os componentes de variância dos coeficientes de regressão do polinômio de Legendre relacionados ao intercepto e à inclinação da reta atribuída ao efeito genético aditivo direto, respectivamente, $\sigma_{b_0b_1}$ é o componente de covariância entre esses coeficientes, R é o componente de variância residual heterogêneo, dividido em três classes de acordo com o ambiente e, A é a matriz de numeradores dos coeficientes de Wrigt. O arquivo de pedigree utilizado nas análises foi o mesmo, contendo 11033 indivíduos com registros de pai ou mãe. Os componentes de covariância atribuídos aos efeitos aleatórios foram estimados pelo programa Wombat (Mayer, 2006), que utiliza Máxima Verossimilhança Restrita (REML). Funções de covariância foram utilizadas para estimar a estrutura de covariância genética aditiva em função dos níveis ambientais de produção média do rebanho e classe residual. O critério de convergência adotado foi de 1×10^{-9} , que é definido pelo valor do quadrado das diferenças entre as estimativas. As normas de reação para os touros superiores no ambiente de menor nível médio de produção foram traçadas para demonstrar a sensibilidade dos indivíduos aos diferentes ambientes.

3. Resultados e Discussão

A distribuição dos dados consta na tabela 1. Observa-se que os desvios-padrão aumentam com a média da produção de leite do rebanho, o que permite concluir que os rebanhos com maiores produções apresentam maior dispersão dos dados.

Os componentes de covariância estimados para os coeficientes de regressão aleatória e as variâncias residuais, constam da Tabela 2. A variância encontrada para o intercepto foi maior do que a do coeficiente linear do efeito genético aditivo direto para as três características estudadas. Como os resultados são valores genéticos para os coeficientes da norma de reação (Kolmodin, 2003), as covariâncias indicam como está o comportamento genético para as características. A alta variância é desejada para seleção de indivíduos com diferentes sensibilidades ambientais.

As correlações entre os coeficientes para cada característica constam da tabela 3. Verifica-se associação positiva entre os coeficientes da norma de reação para todas características, sendo distante de um para produção de leite, o que de acordo com Su et al. (2006), proporciona

modificações evidentes na ordem de classificação dos valores genéticos, pois há alteração na disposição da reta traçada entre ambientes.

Tabela 1- Dispersão dos dados em cada nível médio de produção do rebanho e desvio-padrão de produção de leite para cada nível

	Dados de gordura e proteína			Dados de produção de leite		
	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Médio	Alto
Nº de observações	327	371	492	3035	3087	3068
Desvio de produção de leite (kg)	848,18	1005,52	1691,74	813,85	1010,38	1777,93
Média de produção de proteína (g)	50,78	76,47	130,43			
Desvio de produção de proteína (g)	27,03	32,47	59,8			
Média de produção de gordura (g)	58,58	91,99	181,31			
Desvio de produção de gordura (g)	35,08	46,49	88,15			

Os resultados de variâncias residuais heterogêneas constam na tabela 4. Como esperado, houve grande variação entre ambientes. Observa-se aumento da variância residual para maiores níveis de produção com valores acima de cinco vezes a variância do ambiente de baixa produção, o que também foi observado por Bueno et al. (2007), em estudo do ajuste da heterogeneidade de variâncias entre rebanhos leiteiros da raça Pardo-Suíço no Brasil. Ao considerar diferentes ambientes que atuam sobre o genótipo, fica implícita a existência de heterogeneidade de variâncias. Se o modelo utilizado não considerar esta interação, os resultados obtidos para cada ambiente serão inflacionados.

Tabela 2 Componentes de variância atribuídos aos coeficientes de regressão do intercepto (b_0) e linear (b_1) do efeito genético aditivo direto em função dos níveis de produção leite dos rebanhos

	Produção de leite		Produção de Proteína		Produção de Gordura	
	b_0	b_1	b_0	b_1	b_0	b_1
b_0	597856	141765	164,63	141,63	351,962	271,793
b_1	141765	102438	141,63	150,55	271,793	280,407

Em estudos da IGA em bovinos leiteiros, Kolmodin (2003) concluíram que o modelo que considerou variância residual heterogênea apresentou melhor ajuste, além de verificar que as herdabilidades para produção de proteína e dias em aberto apresentaram menores variações ao longo do gradiente ambiental.

Tabela 3 - Correlações entre os coeficientes de regressão aleatória para as normas de reação

	Leite	Proteína	Gordura
	b_1		
b_0	0,57	0,90	0,86

As normas de reação de produção de leite para os 20 reprodutores com maiores valores genéticos no ambiente de baixa produção, e a estrutura de covariâncias genéticas aditivas estão apresentadas na figura 1. Observa-se que há aumento da dispersão dos valores genéticos, e até mesmo alteração da ordem destes valores com a mudança do gradiente ambiental. Esse comportamento indica heterogeneidade de sensibilidades de valores genéticos aditivos à mudança ambiental, o que caracteriza a existência de interação genótipo-ambiente.

Tabela 4 - Variâncias residuais para cada ambiente médio de produção em cada característica

Produção de leite			Produção de Proteína			Produção de Gordura		
Baixo	Médio	Alto	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Médio	Alto
365,579	764,160	1.688,980	328,882	648,699	1.699,77	497,234	1.401,90	3.220,68

Kolmodin et al. (2002), em estudo da IGA para produção de leite em países nórdicos, encontraram alteração no ordenamento dos reprodutores entre os ambientes extremos, quando estes foram ordenados pelos desempenhos das progênie, concluindo que a classificação dos animais teria benefício se fosse feita no ambiente específico onde este reprodutor seria usado.

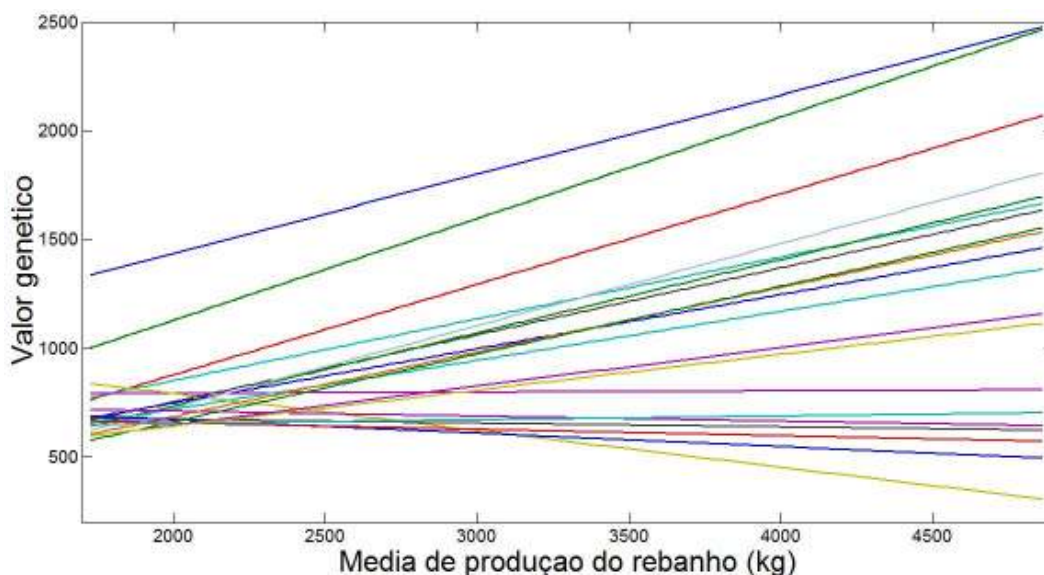


Figura 1 Normas de reação de valores genéticos aditivos dos 20 reprodutores superiores para produção de leite

A superfície de covariância estimada (fig. 2) apresenta inclinação em direção aos menores valores dos eixos x e y, indicando maiores valores de covariância para as combinações entre os menores níveis de produção de leite.

As estruturas de covariâncias genéticas aditivas para produção de gordura e proteína estão apresentadas na figura 3. Observa-se comportamento semelhante para as duas características, com maiores covariâncias para os níveis de mais alta produção de leite e decréscimo em direção aos rebanhos menos produtivos, o que indica que a seleção para os indivíduos em ambientes de maior produção levariam a maiores ganhos genéticos.

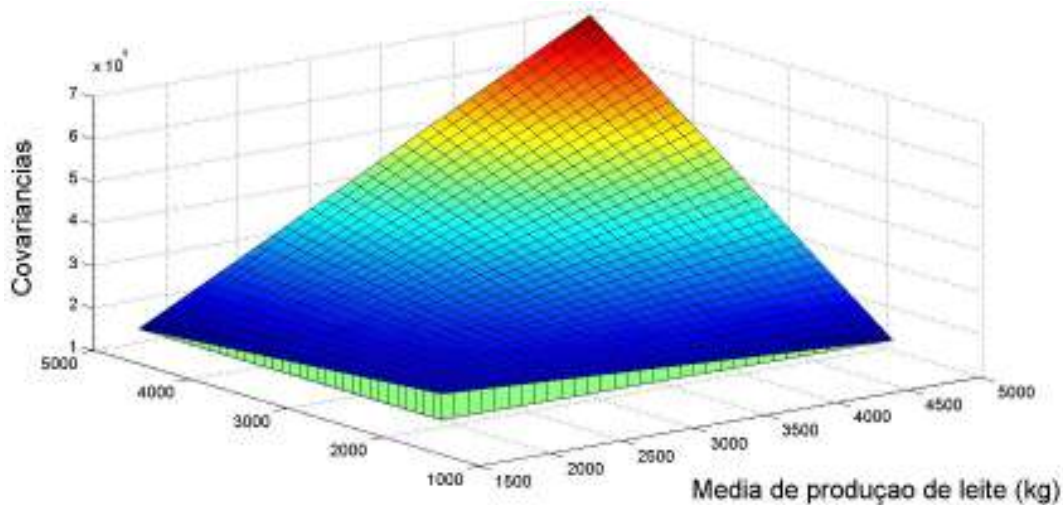


Figura 2 - Estrutura de covariância (kg^2) do efeito genético aditivo direto em função do nível de produção do rebanho

As normas de reação para proteína e gordura foram calculadas para os 10 reprodutores com maiores valores genéticos no ambiente de baixa produção (fig. 4). Observa-se que há aumento da dispersão dos valores genéticos, e até mesmo alteração da ordem destes valores, de forma mais acentuada para produção de gordura, com a mudança do gradiente ambiental. Esse comportamento indica heterogeneidade de sensibilidades de valores genéticos aditivos à mudança ambiental, o que caracteriza a existência de interação genótipo-ambiente também para essas características. Estes resultados assemelham-se àqueles já apresentados da sensibilidade ambiental para produção de leite, indicando que haverá reordenamento dos reprodutores entre níveis de produção.

A ocorrência de reordenamento dos indivíduos indica existência da IGA. Deve ser salientado também que se fosse encontrado somente o efeito de escala, isto já seria preocupante em avaliações genéticas que não consideram a IGA. Efeitos de escala nas normas de reação para produção de leite, gordura e proteína foram encontrados por Calus e Verkamp (2003) para vacas da raça Holandês, ao considerarem rebanho-ano-época como diferentes ambientes. Os autores discutem que este efeito pode prejudicar o desempenho esperado dos indivíduos e reduzir o retorno econômico esperado com a utilização de material genético testado em ambiente diferente do de produção.

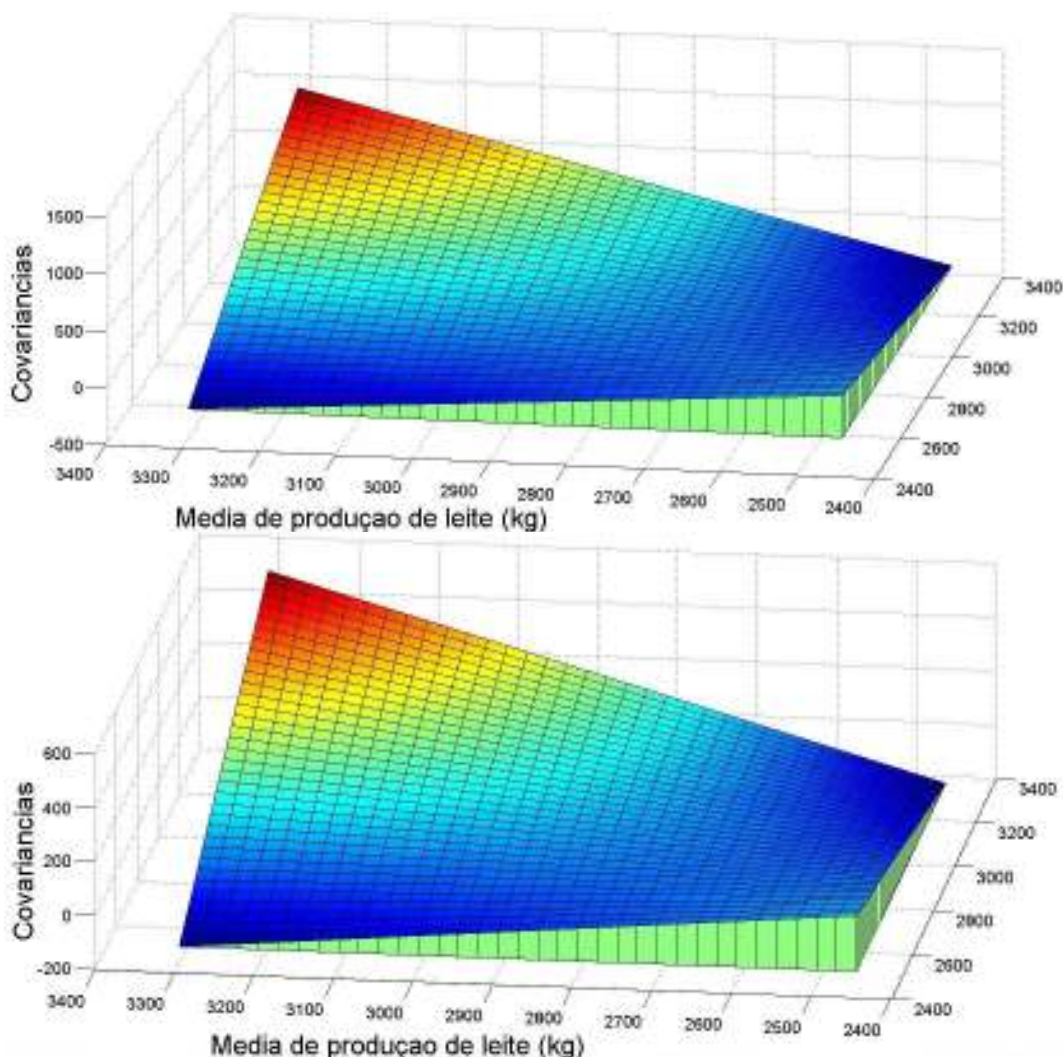


Figura 3 - Estrutura de covariância (kg^2) do efeito genético aditivo direto em função do nível de produção do rebanho para produção de gordura (acima) e proteína (abaixo).

A superfície de covariância estimada apresenta inclinação em direção aos menores valores dos eixos x e y, o que indica maiores valores de covariância para as combinações entre os menores níveis de produção de leite, para as duas características estudadas.

Diante das estruturas de covariâncias para as três características, pode-se dizer que valores genéticos aditivos diretos preditos para diferentes indivíduos apresentam diferentes sensibilidades à modificação do nível de produção do rebanho. Avaliações genéticas realizadas para reprodutores com filhas produzindo apenas em rebanhos de mesmo nível de produtividade podem gerar predições que não são válidas para outros ambientes.

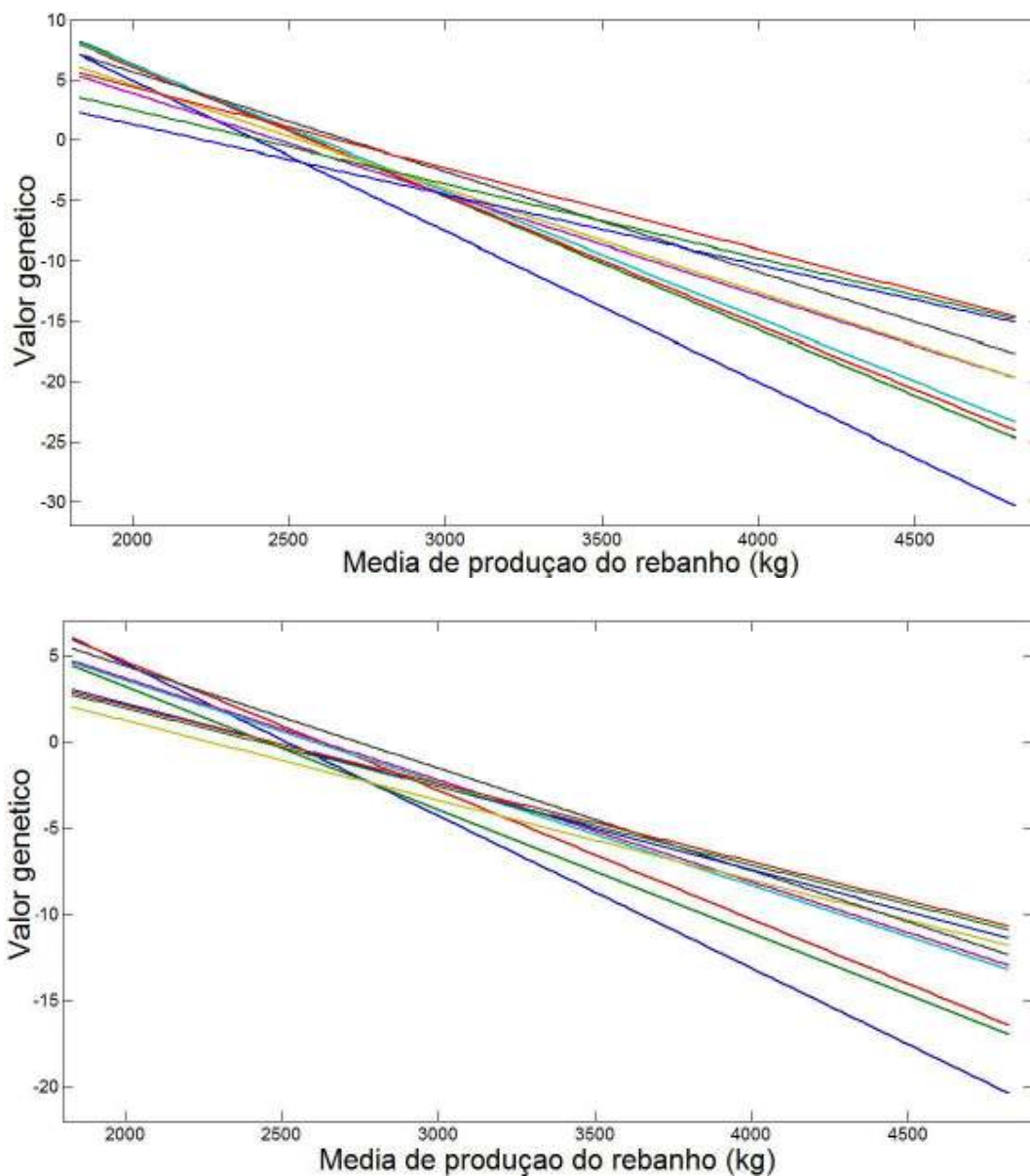


Figura 4 - Normas de reação de valores genéticos aditivos dos 10 reprodutores superiores para produção de gordura (acima) e para produção de proteína (abaixo).

4. Conclusões

Os resultados indicam que há interação genótipo x níveis para produção de leite do rebanho para as três características avaliadas. Assim, avaliações genéticas realizadas sob determinado nível de produção, não permitiriam a predição de valores genéticos para características de produção de leite, de gordura e proteína no leite, válidos para outros níveis de produção. Assim, há possibilidade de animais de maiores valores genéticos no ambiente de seleção não apresentarem as mesmas superioridades em outros ambientes do intervalo considerado.

5. Referências Bibliográficas

- BUENO, R.S.; TORRES, R.A.; RENNÓ, F.P. et al. Ajustamento para heterogeneidade de variâncias para produção de leite e gordura entre rebanhos da raça Pardo-Suíça no Brasil. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, v.59, n.2, p.481-487, 2007.
- CALUS, M. P. L.; GROEN, A. F.; de JONG, G. Genotype \times Environment Interaction for Protein Yield in Dutch Dairy Cattle as Quantified by Different Models. *J. Dairy. Sci.* V. 85, n. 11, p. 3115 – 3123, 2002.
- 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* 86, p.3756-3764. 2003.
- DE JONG, G. Phenotypic plasticity as a product of selection in a variable environment. *The American naturalist* 145, p.493-512. 1995.
- EBERT, D.; YAMPOLSKY, L. e VAN NOORDWIJK, A.J. Genetics of life history in *Daphnia magna*. II. Phenotypic plasticity. *Heredity*, v.70 , p. 344-352, 1993.
- FALCONER, D. S.; MAKAY, T. F. C. **Introduction to Quantitative Genetics**. Essex: Longman Scientific & Technical, 1996. 464p.
- KIRKPATRICK, M.; HECKMAN, N. A quantitative genetic model for growth, shape, reaction norms, and other infinite-dimensional characters. *J. Math. Biol.* V. 27, n. 4, p. 429–450, 1989.
- KOLMODIN, R.; STRANDBERG, E.; MADSEN, P. et al. Genotype by environment interaction in nordic dairy cattle studied using reaction norms. *Acta Agric. Scand., Sec A, Anim. Sci.*, v.52, p.11-24, 2002.
- KOLMODIN, R. *Reaction Norms for the Study of Genotype by Environment Interaction in Animal Breeding*. 2003. 36f. Tese (Doutorado) - Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden, 2003.
- MEYER, K. Wombat **Manual**. 2006. Disponível em: <http://agbu.une.edu.au/~kmeyer/wombat.php>. Acesso em março de 2010.
- PEGOLO, N. T. Interação genótipo-ambiente e sensibilidade ambiental em bovinos de corte. Ribeirão Preto, SP. USP, 2009. 115p. Tese (Doutorado em Genética) - Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, 2009.
- SU, G.; MADSEN P.; LUND M. S. et al. Bayesian analysis of the linear reaction norm model with unknown covariates. *J. Anim. Sci.*, v.84, p.1651-1657, 2006.

CONCLUSÕES GERAIS

Os estudos indicam que há efeito dos sistemas produtivos, caracterizados como níveis médios da produção de leite do rebanho, sobre o genótipo dos indivíduos. Portanto, o potencial genético para produção de leite, gordura e proteína dos indivíduos testados em determinado ambiente pode não corresponder ao desempenho esperado em diferentes ambientes produtivos.

A interação genótipo ambiente deve ser considerada na avaliação genética da raça Gir Leiteiro, visando a aumentar a acurácia na predição dos valores genéticos para características produtivas.

A utilização de modelos de regressão aleatória para determinação das normas de reação individuais é metodologia eficiente para determinar o efeito da mudança do gradiente ambiental no genótipo, o que permite identificação da sensibilidade de cada indivíduo, para seleção de reprodutores capazes de expressar todo o potencial genético em um ambiente específico.

CONSIDERAÇÕES E IMPLICAÇÕES

O Brasil é um grande produtor de leite, mas hoje é dependente da importação de sêmen de touros Holandês, animais pouco adaptados as condições climáticas do nosso país. Isso aumenta as despesas do sistema de produção com estruturas de manejo e sanidade, que poderiam ser reduzidas com a utilização de animais mais adaptados e de alta produção. A raça Gir é adaptada às condições climáticas do Brasil e tem sido selecionada para produção de leite ao longo dos anos, sendo alternativa para produção menos dispendiosa no sistema pecuário leiteiro, quer para utilização de animais puros ou para obtenção de animais cruzados.

O Programa Nacional de Melhoramento do Gir Leiteiro completou no ano de 2011, 26 anos, com o total de 221 touros testados. Os ganhos obtidos foram representativos em produção de leite que se difundiu por todo o país, o que gerou grande impacto no mercado de sêmen tanto interno como para exportação, direcionada a países com condições climáticas semelhantes ao nosso (Verneque et al. 2011).

Com vistas a manter o crescente progresso genético na raça Gir Leiteiro e firmar a raça como exportadora de sêmen para países de clima tropical, a preocupação com o impacto da interação genótipo-ambiente se torna pertinente para Programa Nacional de Melhoramento do Gir Leiteiro. Os resultados apresentados mostraram que existe efeito de ambiente produtivo, representado neste estudo por média de produção de rebanho, no desempenho dos indivíduos testados.

A determinação de quais são os ambientes pré-determinados que influenciariam o desempenho de cada genótipo, sempre será um impasse na introdução da interação genótipo-ambiente nas avaliações genéticas. Pois vários são os possíveis efeitos de ambiente que

podem influenciar no desempenho produtivo individual. A escolha de níveis médios de produção dos rebanhos foi uma determinação mais precisa de grupos contemporâneos que podem influenciar neste desempenho e, que permitem que os animais sejam criados e selecionados. Mas observa-se que a escolha do ambiente na avaliação do efeito na interação é de fundamental importância tanto quanto a escolha da melhor metodologia na identificação da interação genótipo-ambiente.

A metodologia com predição de norma de reação permite a determinação da sensibilidade ambiental de cada indivíduo, o que permite traçar valores genéticos para cada gradiente ambiental. Isso possibilita a identificação de animais com normas mais robustas, ou seja, que sofram menor influência do ambiente; esses indivíduos seriam preferencialmente escolhidos para ambientes menos favoráveis, pois o desempenho produtivo de suas filhas não seria influenciado pelos efeitos ambientais. A identificação de animais mais sensíveis, a escolha indicada para ambientes mais favoráveis, ou com condições melhores para a expressão de todo o potencial genético.

A determinação das normas individuais seria, diante dos resultados obtidos, a melhor metodologia para inclusão da interação genótipo-ambiente nas avaliações genéticas, pois de acordo com a proposta do programa, ela permitiria a determinação de valores genéticos específicos para cada ambiente com maior progresso genético e maiores lucros para os investidores da pecuária leiteira. Além de possibilitar a utilização de sêmen do mesmo indivíduo em diferentes ambientes de acordo com a necessidade e o interesse do produtor.

O maior empecilho para essa inclusão seria a necessidade de incorporação de valores genéticos diferentes para um mesmo indivíduo o que dificultaria a escolha do reprodutor por parte dos produtores, o que ressalta a importância da definição precisa do ambiente, pois o valor genético estaria vinculado ao ambiente de produção. Além disso, também existe o possível impasse que os detentores de material genético considerados hoje superiores poderiam causar, pois os indivíduos podem ser superiores em um ambiente e não em outro, o que reduziria a venda de sêmen de alguns reprodutores, mas aumentaria a de outros.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

VERNEQUE, R.S., PANETTO, J.C.C.; BRUNELI, F.A.T. et al. Programa Nacional de Melhoramento do Gir Leiteiro – Sumário Brasileiro de Touros – Resultado do Teste de Progênie – Maio de 2011. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2011. 58 p. (Embrapa Gado de Leite. Documentos, 145).