

Espacialização climática e análise de dados longitudinais de bovinos Nelore criados nos Estados do Maranhão, Pará e Tocantins por meio de técnicas univariadas e multivariadas

Climatic spatialization and analyses of longitudinal data of beef cattle Nelore raising Maranhão, Pará and Tocantins using univariate and multivariate approach

Jorge Luís Ferreira^{1*}; Fernando Brito Lopes²;
Alliny Souza de Assis³; Raysildo Barbosa Lôbo⁴

Resumo

Objetivou-se com este estudo espacializar os fatores climáticos que melhor discriminam os Estados do Maranhão, Pará e Tocantins, e analisar a estrutura de correlação fenotípica entre as variáveis fenotípicas pesos padronizados aos 120, 210, 365, 450 e 550 dias de idade e propor índice fenotípico para seleção dos animais nestes Estados. As variáveis climáticas analisadas foram: temperatura máxima; temperatura mínima; temperatura média; precipitação; índice normalizado de diferença vegetativa; umidade relativa do ar; altitude; e, índice de temperatura e umidade. Técnicas univariada e multivariadas foram utilizadas, por meio do programa *Statistical Analysis System*, SAS, para tentar explicar as relações intra-variáveis, variação ambiental e fenotípica. As diferenças esperadas nas progênies (DEPs) foram preditos por meio do software MTDFREML. Todas as variáveis climáticas e fenotípicas foram eficazes em discriminar os Estados do Maranhão, Pará e Tocantins. Assim, sugere-se a utilização de índices fenotípicos para classificação e seleção dos animais dentro de cada Estado.

Palavras-chave: Ambiente, correlação, seleção

Abstract

This study was carried out to spatialize climatic factors that best discriminate the states of Maranhão, Pará and Tocantins, to analyze the structure of phenotypic correlation between phenotypic variables weights standardized at 120, 210, 365, 450 and 550 days old and propose phenotypic indices for animals selection in these States. The climate variables analyzed were maximum temperature, minimum temperature, average temperature, precipitation, normalized difference vegetative index, humidity, altitude and temperature and humidity index. Univariate and multivariate approach were used by procedures program *Statistical Analysis System*, SAS, to explain the relationship intra-variables, phenotypic and environmental variation. The expected differences in the progenies (EDPs) were predicted using the software MTDFREML. All climatic and phenotypic variables were effective in discriminating the Maranhão, Pará and Tocantins States. Thus, we suggest the use of phenotypic indices for classification and animals' selection within each State.

Key words: Correlation, environment, selection

¹ Prof., Adjunto da Universidade Federal do Tocantins, UFT, Araguaína, TO. E-mail: jorgeuft@gmail.com

² Pesquisador e Bolsista de Pós-doutorado Embrapa Cerrados, Goiânia, GO. E-mail: camult@gmail.com

³ Médica Veterinária Autônoma, Goiânia, GO. E-mail: linyasa@hotmail.com

⁴ Prof. Associado, Diretor Presidente da Associação Nacional de Criadores e Pesquisadores, Ribeirão Preto, SP. E-mail: raysildo@gmail.com

* Autor para correspondência

Introdução

A produção animal é influenciada por fatores como vegetação local (SKONHOFT; AUSTRHEIM; MYSTERUD, 2010), temperatura média do ar (McMANUS; PAIVA; ARAÚJO, 2010) e altitude (CAMPBELL; FREEMAN; EMLLEN, 2010). Estes fatores refletem na produção como um todo, devido à suas influências sobre características de produção e adaptação dos animais (HERRERO et al., 2009; HERRERO et al., 2010; JOOST; COLLI; BARET, 2010).

O Brasil por ser um país de extensões continentais, apresenta sistemas heterogêneos de exploração de bovinos, determinados, em grande parte, pelas diferenças climáticas e econômicas e pela disponibilidade de recursos naturais relacionados à produção animal. Esta diversidade de ambientes acarreta oportunidades diferentes de expressão para um mesmo genótipo, o que dificulta a identificação de indivíduos geneticamente superiores para reprodução (LOPES et al., 2008).

Segundo Pégolo et al. (2009), o fenótipo é dependente do potencial genético do indivíduo e do ambiente no qual o mesmo se expressa. O que significa dizer, que, na ausência de interação genótipo x ambiente significativa, a genética e o ambiente influenciam de forma aditiva e independente o fenótipo dos animais. O efeito de um genótipo sobre seu desempenho depende das condições ambientais a que está sujeito, redundando em ações de sensibilidade ambiental e interação genótipo-ambiente.

Falconer (1990), definiu sensibilidade ambiental como a extensão das modificações no fenótipo causadas pelos distintos ambientes, ou de outra forma, a reação dos indivíduos aos diferentes ambientes. Os diferentes graus de sensibilidade ambiental definem genótipos com maior ou menor estabilidade. Na produção animal, este conceito vem sendo discutido e considerado através das “normas de reação”, definidas como sendo a variação dos fenótipos produzidos por um genótipo como uma

função contínua da variação ambiental (BRITO et al., 2007).

O conhecimento do efeito dos fatores ambientais sobre os caracteres avaliados é necessário para o ajuste correto dos dados, diminuindo o viés nas informações para se obter resultados mais precisos (BRITO et al., 2007). Para incrementar a acurácia do processo seletivo, os critérios de seleção devem ser adequadamente ajustados aos efeitos de ambiente (DAL-FARRA; ROSO; SCHENKEL, 2002). Portanto, após determinação e conhecimento dos fatores ambientais que afetam as características produtivas, é preciso delinear programas de melhoramento genético condizentes com a realidade local e assim identificar e selecionar os animais com genótipo superior (BRITO et al., 2011).

Os Estados do Maranhão, Pará e Tocantins, localizados na região do Trópico Úmido, são privilegiados, tanto pela incidência de raios solares, quanto pelas condições vegetativas, climáticas e de temperatura, características que contribuem positivamente para produção de bovinos de corte, especialmente de animais da raça Nelore criados em pastagens, assim como se diferenciam das demais regiões do Brasil.

No Brasil, a região do Trópico Úmido praticamente se confunde com a Amazônia Legal, representada pelos estados do Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima, Tocantins e parte do Maranhão (oeste do Meridiano de 44°), correspondendo, aproximadamente 61% do território brasileiro (5,2 milhões de km²). Nos últimos anos, a atividade pecuária nos estados que compõe a Amazônia Legal vem se expandindo, em termos de evolução do rebanho bovino, sendo que grande parte desse crescimento está relacionado à migração de produtores de outras regiões do país (DIAS FILHO; ANDRADE, 2006).

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) no período 1997/2007, houve um aumento de 78% do efetivo bovino nos municípios que compõem a região da

Amazônia Legal (IBGE, 2010). Neste cenário, os Estados do Maranhão, Mato Grosso, Pará, Rondônia e Tocantins sobressaem, em termos de efetivo e evolução de rebanho, entre os demais. Entretanto, esse crescimento nem sempre tem sido acompanhado de um conhecimento sobre o desempenho produtivo e reprodutivo desses rebanhos, bem como do progresso genético da população e seleção de genótipos superiores.

De maneira geral, as avaliações genéticas em bovinos de corte são realizadas em âmbito nacional e abrangem registros de produção obtidos de rebanhos que apresentam variação entre e dentro numa mesma região geográfica, por estas razões, os rebanhos chegam a diferir muito na média de produção e na variância fenotípica das principais características de importância econômica (CAMPELO et al., 2003). Assim, é preciso conhecer os fatores ambientais de uma dada região sobre a produção de bovinos de corte, para que as diretrizes de seleção e progresso genético sejam conhecidas e redirecionadas na tentativa de maximizar a produção daquela região de estudo.

Diante do exposto, objetivou-se espacializar os fatores climáticos que melhor discriminam os Estados do Maranhão, Pará e Tocantins, e assim, analisar a estrutura de correlação fenotípica entre pesos calculados aos 120, 210, 365, 450 e 550 dias de idade nos diferentes estados, e propor índice linear de classificação para comparação e seleção de animais nestas Unidades Federativas.

Material e Métodos

As análises dos componentes ambientais foram realizadas levando-se em consideração variáveis climáticas provenientes de 498 municípios brasileiros, sendo 217 do Estado do Maranhão, 143 do Pará e 138 do Tocantins.

As variáveis ambientais analisadas foram: temperatura máxima (TMAX); temperatura mínima (TMIN); temperatura média (TM); precipitação

(PR); índice normalizado de diferença vegetativa (NDVI, o qual apresenta informações sobre a cobertura vegetal de determinada região); umidade relativa do ar (UR); altitude (AL); e, índice de temperatura e umidade (ITU).

Todas as variáveis analisadas foram obtidas por meio do banco de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e do United States Geological Survey (USGS). Estas foram padronizadas por meio do procedimento STANDARD, assumindo-se média zero (0) e variância um (1). As análises foram realizadas, utilizando-se o programa computacional Statistical Analysis System (SAS, 2002).

Após discriminação dos Estados do Maranhão, Pará e Tocantins por meio das variáveis climáticas, também foram realizadas análises multivariadas por meio do banco de dados fenotípicos, que conteve registros de 22.104, 22.092, 19.724, 16.836 e 7.363 bovinos da raça Nelore que apresentaram pesos padronizados aos 120, 210, 365, 450 e 550 dias de idade, respectivamente. Foram mantidos no banco de dados fenotípico apenas animais manejados em sistema extensivo de criação a pasto. Os dados foram cedidos pela Associação Nacional de Criadores e Pesquisadores (ANCP), coletados entre os anos de 1993 e 2010.

Para verificar e informar o poder discriminatório das variáveis em diferenciar a região e unidades da federação, foram realizadas análises discriminantes por meio do procedimento DISCRIM. Na determinação dos subconjuntos de variáveis quantitativas utilizadas na discriminação dos estados brasileiros utilizou-se o procedimento STEPDISC ($P < 0,05$). (SAS, 2002)

As informações sobre as unidades da federação foram organizadas, para que grupos similares fossem formados, através dos procedimentos CLUSTER e CANDISC. O método adotado para a definição dos clusters foi o método da mínima variância (*do*

Ward), no qual um grupo é reunido a outro grupo se essa união proporcionar o menor aumento da variância intragrupo. Com a adoção desse método, a variância intragrupo é calculada para todas as possibilidades de aglomeração, optando-se pelo arranjo que proporcione a menor variância (SAS, 2002).

Foram também realizadas análises discriminantes por meio do procedimento DISCRIM, com o intuito de discriminar os Estados com base nos valores observados/medidos fenotípicos dos animais para pesos calculados aos 120, 210, 365, 450 e 550 dias de idade.

Para melhor entender a estrutura de correlação fenotípica, foi realizada a análise fatorial, via matriz de correlação, utilizando-se o procedimento PROC FACTOR. Nesta análise, a suposição de ortogonalidade foi testada pelo critério KMO (KAISER, 1970). A opção *smc* (*squared multiple correlations*) foi utilizada para melhorar a explicação de cada fator sobre a variância total.

As predições dos valores genéticos dos animais foram realizadas segundo o modelo animal: $y = X\beta + Z_1a + Z_2m + Z_3p + e$, em que, y é o vetor de observações (P120, P210, P365, P450 e P550); β é o vetor dos efeitos fixos (grupo de contemporâneos, formados pela concatenação de rebanho, ano e estação de nascimento e sexo do animal); a é o vetor do efeito genético aditivo direto; m é o vetor do efeito genético aditivo maternal; p é o vetor do efeito de ambiente permanente maternal; X é a matriz de incidência que associa β a y ; Z_1 , Z_2 e Z_3 são matrizes de incidência dos efeitos genéticos aditivos diretos, maternais, e de ambiente permanente maternal, respectivamente; e , e é o vetor dos efeitos residuais. Os efeitos genéticos maternais e de ambiente permanente foram considerados somente para as características P120 e P210. Para pesos calculados aos 365, 450 e 550 dias de idade foi considerado apenas o efeito genético aditivo direto. As predições dos valores genéticos dos animais foram obtidas pelo método da Máxima Verossimilhança Restrita

Livre de Derivadas – DFREML, utilizando-se o software MTDFREML (BOLDMAN; KRIESE; VAN VLECK, 1995).

Para as análises dos pesos padronizados aos 120, 210, 365, 450 e 550 dias de idade, foram considerados os efeitos fixos de ano e de mês de nascimento do animal. Para pesos pré-desmama foi considerada a idade da vaca ao parto como covariável, com efeito linear e quadrático. Os valores médios, desvios padrão e as estimativas de correlação foram obtidos utilizando o procedimento GLM (*lsmeans*) e CORR (*Pearson*), sendo a diferença estatística entre medidas nos diferentes Estados testadas pelo teste Tukey ($P < 0,01$).

Para validar as correlações estimadas, o conjunto de dados dos pesos calculados foi submetido a análise fatorial, que é uma técnica de análise estatística multivariada, que serve aos propósitos de análises exploratórias de um conjunto de dados, com o intuito de reduzir certo número de variáveis a uma dimensão menor, representando-as por uma nova variável que expressa uma combinação linear das variáveis originais. Foi realizado o teste de *Kaiser-Meyer-Olkin* (KMO), que indica a proporção da variância dos dados que pode ser considerada comum a todas as variáveis, ou seja, que pode ser atribuída a um fator comum.

A verificação da eficácia de classificação dos animais com base nos índices propostos para cada estado, por meio das funções lineares discriminantes foi estimada a correlação de *Spearman* entre as DEPs dos animais (P120, P210, P365, P450 e P550) e os valores dos índices.

Resultados e Discussão

Todos os três Estados (MA, PA e TO) apresentaram peculiaridades ambientais. Não houve confundimento entre eles, ou seja, 100% dos fatores ambientais estudados discriminaram bem os municípios dentro de cada unidade federativa (Tabela 1).

Tabela 1. Análise das variáveis ambientais que discriminam os Estados do Maranhão (MA), Pará (PA) e Tocantins (TO).

Estado	MA (%)	PA (%)	TO (%)	Municípios
MA	100	0	0	217
PA	0	100	0	143
TO	0	0	100	138
Percentual de erro	3,57	28,71	27,71	

Fonte: Elaboração dos autores.

Os estados do Maranhão e Tocantins estão localizados numa região de transição do ecótono Amazônia – Cerrado. Estas regiões também apresentam as maiores produções localizadas em área de clima Trópico Úmido. Possivelmente esta condição ambiental favoreceu o não confundimento entre estes, ou seja, todos os municípios foram perfeitamente discriminados ou agrupados dentro de seus respectivos Estados. Esta situação pode estabelecer diferenças específicas na expressão dos genótipos de acordo com as variáveis climáticas e/ou ambientais de cada Estado.

As fontes de variação ambiental estudadas foram importantes para explicar as causas de variação ($P < 0,05$) entre os Estados. Fatores ambientais como temperaturas, precipitação, altitude e cobertura vegetal (NDVI) foram essenciais para diferenciar o estado do Pará tanto do Maranhão quanto do Tocantins. Além destas variáveis, a umidade relativa do ar e o índice de temperatura e umidade foram importantes para distinguir o estado do Maranhão do Tocantins (Tabela 2). Portanto, observou-se que os três estados são diferentes em termos ambientais.

Tabela 2. Variáveis discriminatórias entre os Estados do Maranhão, Pará e Tocantins.

Estado	Maranhão	Tocantins
Pará	TMIN TMAX TM PR AL NDVI	TMIN TMAX ITU PR AL NDVI
Maranhão		TMIN TMAX ITU UR PR AL NDVI

TMAX: temperatura máxima; TMIN: temperatura mínima; TM: temperatura média; PR: precipitação; NDVI: índice normalizado de diferença vegetativa; UR: umidade relativa do ar; AL: altitude; e, ITU: índice de temperatura e umidade.

Fonte: Elaboração dos autores.

As variáveis ambientais serviram para agrupar distintamente os três estados da federação, com possibilidade de forte influencia ambiental sobre a expressão de fenótipos, corroborando com Olesen, Goren e Gjerde (2000), que reportaram que a eficiência no uso de recursos genéticos e sua estabilidade em diferentes ambientes são elementos importantes para o sucesso de programas de melhoramento genético animal. Da mesma forma, McManus et al. (2011) reportaram que é preciso considerar tanto características produtivas quanto

ambientais para que um programa de melhoramento genético seja bem sucedido.

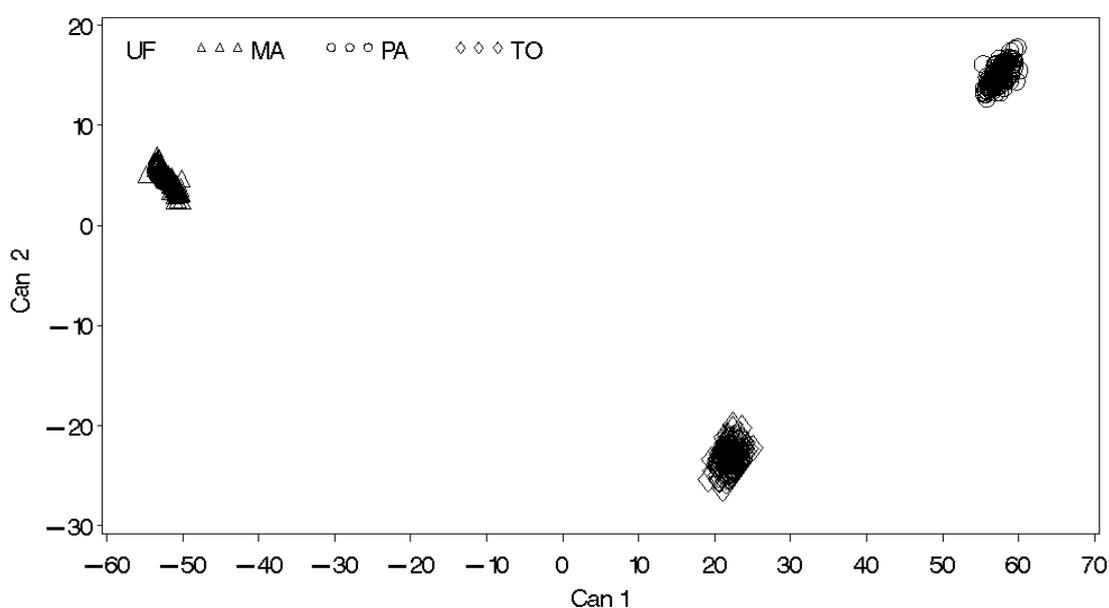
As variáveis ambientais apresentaram resultados satisfatórios para explicar as fontes de variação entre os Estados do Maranhão, Pará e Tocantins (Tabela 2). Haja vista que o fenótipo dos animais é resultante das relações entre os componentes genéticos, intrínseco a cada animal, e componentes ambientais (FALCONER; MACKAY, 1996).

McManus et al. (2011) afirmaram que genótipos

diferentes podem responder de múltiplas maneiras dependendo do ambiente a que os animais são submetidos. Esse mesmo autor relata que, sem estresse ambiental, os genótipos de raças altamente produtivas e selecionadas podem maximizar sua expressão, e que em ambientes adversos, animais selecionados e adaptados são capazes de expressar seu potencial genético, além de apresentarem satisfatórios desempenhos produtivos.

Os componentes canônicos mostraram que os Estados do Maranhão (MA), Pará (PA) e Tocantins (TO) foram bem definidos e agrupados. Isto indica que os municípios apresentaram-se bem discriminados, dentro de suas respectivas unidades federativas, quando da realização das análises discriminantes canônicas (Figura 1). Os resultados demonstraram dessemelhança entre os ambientes, com respostas fenotípicas diferentes a cada ambiente exposto.

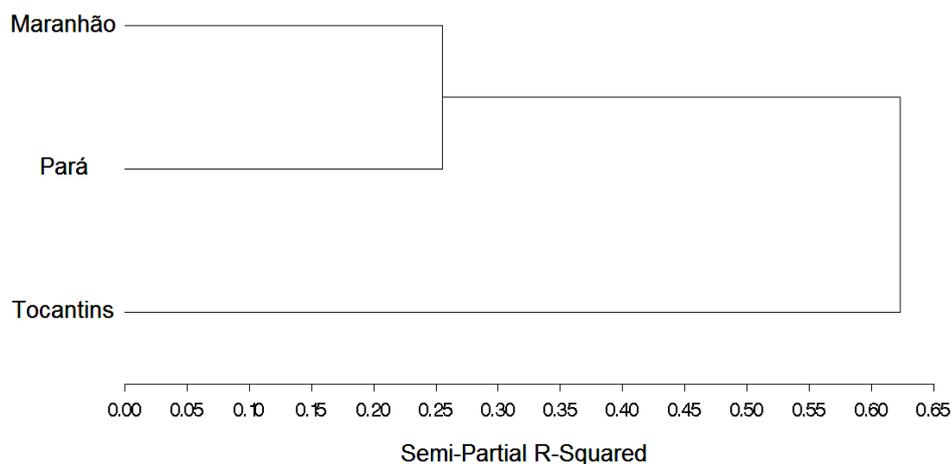
Figura 1. Representação gráfica da análise discriminante canônica das unidades federativas (MA, PA e TO) do Brasil.



Fonte: Elaboração dos autores.

As distâncias entre os clusters (*Ward's Minimum-Variance Method*) para os Estados do Maranhão, Pará e Tocantins foram eficazes em discriminar os Estados e agrupar os municípios dentro de

seus respectivos Estados (Figura 2). Assim, pode-se sugerir que sistemas sustentáveis de produção animal devem ser ajustados às condições locais, naturais e sociais.

Figura 2. Dendrograma das distâncias ambientais entre os Estados do Maranhão, Pará e Tocantins.

Fonte: Elaboração dos autores.

O reconhecimento das diferenças nos aspectos ambientais entre as regiões podem aumentar a distinção entre os objetivos de seleção. A diferenciação destes objetivos são importantes para a manutenção da variabilidade genética dos animais domésticos. Segundo Olesen, Goren e Gjerde (2000) não é apenas a heterogeneidade das circunstâncias da produção entre regiões, países ou explorações individuais, mas também a incerteza e o risco associados a circunstâncias futuras, que promoverão a diferenciação entre os objetivos de criação e manutenção de reprodutores (machos e fêmeas) mais adaptados à regiões específicas.

As médias canônicas, tanto para as unidades federativas do Brasil quanto para as variáveis ambientais evidenciaram distinção entre os Estados estudados. Os municípios dos Estados do Maranhão, Pará e Tocantins apresentaram relações positivas com TMAX, NDVI e TMIN, respectivamente (Figura 3).

Estas análises, além de serem confirmatórias, no sentido de validar um instrumento que está sendo utilizado, revelam também, a importância das variáveis ambientais em discriminar cada unidade da federação (UF). Assim, é preciso estruturar programas de melhoramento genético

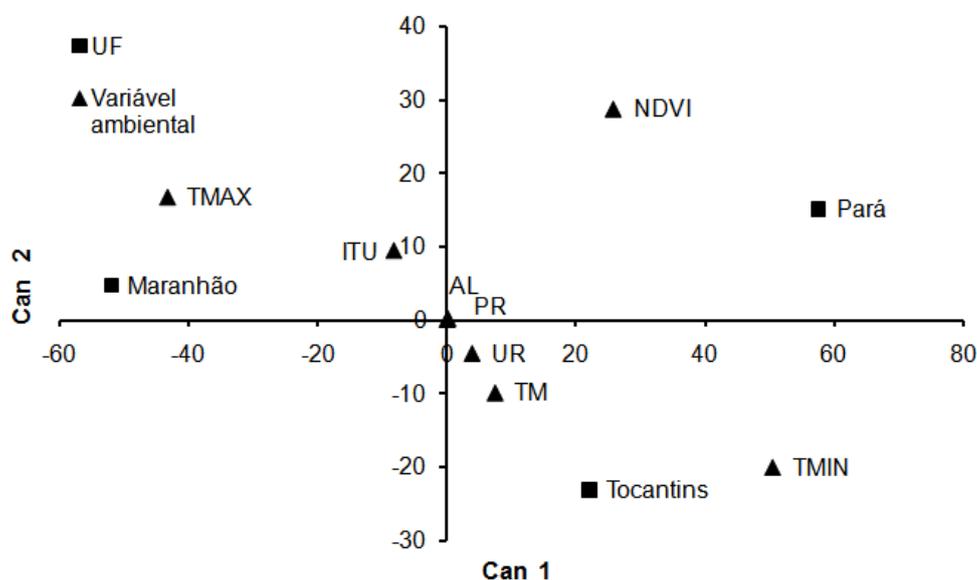
animal alicerçado não apenas nos níveis produtivos (McMANUS et al., 2011) mas também em todos os fatores que podem influenciar a produção animal nos diversos ambientes do Brasil (OLESEN; GOREN; GJERDE, 2000; LOPES et al., 2012).

As médias fenotípicas para os diferentes pesos calculados (P120, P210, P365, P450 e P550 dias) foram comparadas e diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,01$) para estas pesagens foram evidenciadas entre estes Estados (Tabela 3).

Os resultados demonstraram que nos três estados à média fenotípica dos pesos também foi influenciada pelas condições ambientais em cada região, uma vez que os pesos de cada característica estudada (P120, P210, P365, P450 e P550) diferiram entre os Estados (Tabela 3).

Outra possibilidade poderia estar relacionada com os efeitos de sensibilidade ambiental e norma de reação, pois a seleção fenotípica para peso em diferentes ambientes afeta a sensibilidade ambiental predita de cada população, e que em ambientes favoráveis, sob seleção, a sensibilidade ambiental pode se apresentar elevada (OLESEN; GOREN; GJERDE, 2000; PÉGOLO et al., 2009).

Figura 3. Representação gráfica das médias canônica das variáveis ambientais entre as Unidades da Federação (UF), Maranhão, Pará e Tocantins.



Fonte: Elaboração dos autores.

Tabela 3. Média e desvio padrão para pesos padronizados aos 120 (P120), 210 (P210), 365 (P365), 450 (P450) e 550 (P550) dias de idade, nos Estados do Maranhão, Pará e Tocantins.

Estado	P120	P210	P365	P450	P550
Pará	128,08 ^A	188,36 ^A	241,66 ^A	276,11 ^A	328,20 ^A
Maranhão	120,00 ^B	178,49 ^B	210,63 ^C	239,25 ^C	288,34 ^C
Tocantins	115,07 ^C	164,75 ^C	215,28 ^B	253,07 ^B	294,12 ^B
Média	125,06	184,35	233,65	265,43	314,37
Desvio padrão	15,09	21,48	30,27	35,34	45,17

^{ABC} Sobrescritos maiúsculos distintos, na coluna, indicam diferença estatisticamente significativa ($P < 0,01$) entre os estados dentro de cada região e entre as regiões do Brasil, pelo teste de Tukey.

Fonte: Elaboração dos autores

A Tabela 4 apresenta a correlação entre os pesos calculados nos três estados, demonstrando de uma forma geral que as diferenças fenotípicas observadas podem estar relacionadas a uma combinação sinérgica entre os efeitos genéticos

e as particularidades de cada ambiente. Pesos padronizados com grande influência maternal (P120 e P210) apresentaram alta estimativa de correlação fenotípica (0,86), assim como pesos para características pós-desmama (P365, P450 e P550) também apresentaram alta associação (0,89 e 0,92).

Tabela 4. Estimativas de correlação de *Pearson* entre os pesos padronizados aos 120 (P120), 210 (P210), 365 (P365), 450 (P450) e 550 (P550) dias de idade.

	P210	P365	P450	P550
P120	0,86	0,66	0,58	0,53
P210		0,76	0,65	0,61
P365			0,89	0,79
P450				0,92

Fonte: Elaboração dos autores.

As estimativas de correlação de *Pearson* e de *Spearman* (Tabela 4) indicaram a existência tanto de heterogeneidade de variâncias fenotípicas quando heterogeneidade ambiental, o que é, também, possivelmente, indicio de interação genótipo x ambiente. As classes fenotípicas foram expostas, dentro de certos limites, a condições ambientais distintas. Estas distinções mostram tanto o efeito de diferentes genótipos sendo expressos, com também sua interação com o ambiente.

O valor de *Kaiser-Meyer-Olkin* (*KMO*), que representa uma medida de adequação da amostra, foi

0,75. Isto confirma a suposição de ortogonalidade, ou seja, os fatores auxiliam no entendimento da variância porque são independentes entre si. Haja vista a não singularidade da matriz e para que a variância de cada fator fosse melhor explicada, utilizou-se a opção *smc* (*Squared Multiple Correlations*), ou seja, o quadrado das correlações múltiplas de cada variável com as demais variáveis foi utilizado como estimativa prévia das comunalidades. Apenas dois fatores foram necessários para explicar 100% da variância total (Tabela 5).

Tabela 5. Fatores comuns, percentuais da variância explicada por cada fator e variância acumulativa.

Fator	Autovalor	Variância explicada (%)	Acumulativa (%)
F1	3,75	0,89	0,89
F2	0,53	0,11	1,00

Fonte: Elaboração dos autores.

O fator 1 (F1) foi responsável por explicar, principalmente, as variâncias entre as três características de pesos pós-desmama (P365, P450 e P550) e, também, parte da característica P210. De maneira geral, este fator (F1) foi responsável por explicar 89% das variâncias apresentadas por todas as características. O fator 2 (F2) representou a característica pré-desmama (P120). Este fator (F2) foi responsável por explicar apenas 11% das variâncias apresentadas pelas características. Observou-se que, de modo geral, o fator 1 (F1) apresentou relação positiva com todas as características estudadas, explicando acima de 84%

da variância total apresentada por todos os pesos padronizados (Figura 4).

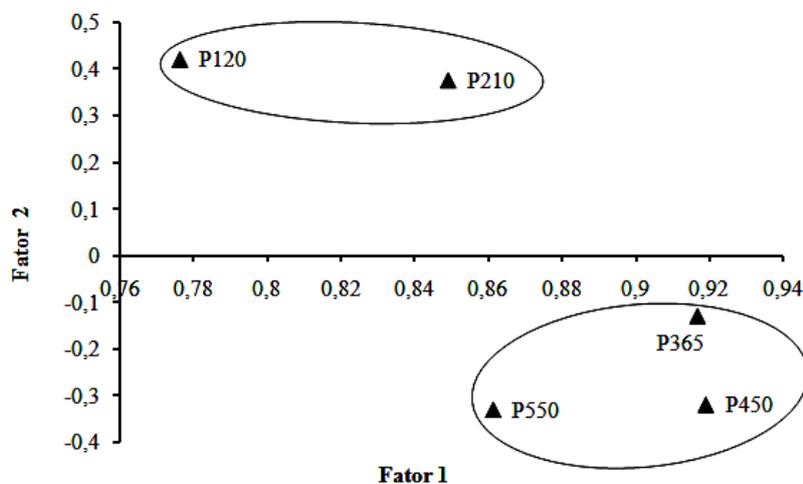
Todos os municípios em estudo apresentaram-se bem discriminados ao se analisar as diferenças ambientais entre os Estados do Maranhão, Pará e Tocantins (Tabela 1). Da mesma forma, os registros fenotípicos foram responsáveis por discriminar mais de 68 % das diferenças entre estes mesmos Estados (Tabela 6). Assim, observou-se que 74,06 %, 68,51 % e 79,21 % dos animais apresentaram registros fenotípicos que os caracterizaram de forma satisfatória dentro dos Estados do Maranhão, Pará e Tocantins, respectivamente.

Os Estados com animais fenotipicamente mais similares foram Pará e Tocantins. Houve, entre estes, um confundimento médio de cerca de 22 %. Isto significa que quase um quarto dos animais criados em ambos os Estados (PA e TO) apresentaram pesos padronizados similares.

Confrontando os resultados das tabelas 4 e 6, observou-se que os desempenhos apresentados nas diferentes idades podem estar relacionados tanto a uma situação de plasticidade ou robustez fenotípica quanto a uma possível interação entre genótipo

e ambiente. Tal afirmação justifica-se porque o Brasil é um país de grande extensão territorial e conseqüentemente possuir regiões com diferenças edafoclimáticas, apresentando um panorama bastante diversificado quanto ao ambiente de criação de bovinos. Isto faz com que a expressão genética dos indivíduos seja alterada conforme o ambiente ao qual o animal foi exposto, o que pode favorecer tanto as diferenças nas respostas fenotípicas quanto promover aumento ou diminuição na sensibilidade ambiental.

Figura 4. Representação gráfica dos dois primeiros fatores (F1 e F2), segundo teste KMO.



Fonte: Elaboração dos autores.

Tabela 6. Análise das variáveis produtivas (P120, P210, P365, P450 e P550) que melhor discriminam os Estados do Maranhão (MA), Pará (PA) e Tocantins (TO).

Estado	MA (%)	PA (%)	TO (%)	Animais
MA	75,06	12,47	12,47	425
PA	7,66	68,51	23,83	3055
TO	8,29	21,5	70,21	386
Percentual de erro	15,13	57,66	27,21	3866

Fonte: Elaboração dos autores.

Considerando que as variações fenotípicas e suas expressões são dependentes e altamente correlacionadas ao ambiente no qual o animal é manejado, pode-se considerar um índice fenotípico para cada Estado. Os índices fenotípicos provieram de análises discriminantes, as quais geraram

para cada Estado uma combinação linear dos pesos padronizados aos 120, 210, 365, 450 e 550 dias de idade. Assim, com base nas análises das características produtivas foram propostos três índices, um para cada estado, conforme abaixo:

$$I_{MA} = -41,87476 + (P120 \times 0,19827) + (P210 \times 0,23364) + (P365 \times 0,01869) + (P450 \times 0,05900) + (P550 \times 0,00069)$$

$$I_{PA} = -49,40827 + (P120 \times 0,23389) + (P210 \times 0,17255) + (P365 \times 0,06986) + (P450 \times 0,07689) - (P550 \times 0,00534)$$

$$I_{TO} = -39,66276 + (P120 \times 0,25018) + (P210 \times 0,11606) + (P365 \times 0,03979) + (P450 \times 0,11916) - (P550 \times 0,02484)$$

em que I_{MA} = Índice para o Estado do Maranhão; I_{PA} = Índice para o Estado do Pará, I_{TO} = Índice para o Estado do Tocantins P120, P210, P365, P450 e P550 são os pesos calculados aos 120, 210, 365, 450 e 550 dias d-*e idade.

A seleção com base em características múltiplas, através de índices de seleção é a maneira mais rápida e eficiente de se obter ganho nas respostas fenotípicas e agregar valor a estas, predizendo o mérito econômico médio de um indivíduo (HAZEL, 1943; McMANUS; PAIVA; ARAÚJO, 2010). Os índices propostos poderão servir como critério para tomada de decisão na classificação dos animais em cada Estado, uma vez que os fatores ambientais discriminaram fortemente os Estados do Maranhão, Pará e Tocantins.

Segundo Pégolo et al. (2009), o conjunto de genes de uma característica que se expressa em determinado ambiente não é o mesmo que age em outro ambiente. Mattar (2009) atentaram para a correta interpretação da sensibilidade ambiental, pois nas avaliações genéticas pode haver tendência em indicar como superiores os genótipos cuja capacidade adaptativa fosse mais estável, o que não significa, necessariamente, que tais genótipos sejam superiores em todos os ambientes.

As correlações de *Spearman* entre os valores dos Índices e a diferença esperada nas progênes (DEPs) para pesos padronizados aos 120 (P120), 210 (P210), 365 (P365), 450 (P450) e 550 (P550) dias de idade (Tabela 7), mostraram que os reprodutores não seriam classificados de forma similar nos diferentes ambientes. Da mesma forma, as estimativas médias dos pesos apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$) para as características P120, P210, P365 e P450, entre os Estados do Maranhão, Pará e Tocantins (Tabela 3).

Tabela 7. Estimativas de correlação de *Spearman* entre os valores dos Índices e a diferença esperada nas progênes (DEPs) para pesos padronizados aos 120 (P120), 210 (P210), 365 (P365), 450 (P450) e 550 (P550) dias de idade.

	DEP120	DEP210	DEP365	DEP450	DEP550
Índice	0,73417 ***	0,81361 ***	0,77475 ***	0,40069 ***	0,44212 ***
DEP120		0,83652 ***	0,57758 ***	0,37696 ***	0,27357 ***
DEP210			0,67789 ***	0,41695 ***	0,27973 ***
DEP365				0,56599 ***	0,3506 ***
DEP450					-0,01804 Ns

Significância: *** ($P < 0,0001$); ns: não significante.;

Fonte: Elaboração dos autores.

Assim, é preciso conhecer e minimizar o impacto dos fatores ambientais que afetam a produção de bovinos de corte, para que os animais possam expressar ao máximo seu potencial genético, pois, o sucesso de programas de melhoramento genético

animal depende da proporção do ganho genético transferido de uma geração para outra e da interação existente entre esse material genético e o ambiente em que o animal foi exposto.

Para touros coincidentes nas regiões, as correlações de *Spearman* também apontaram alterações nas associações entre os valores fenotípicos e mudanças no ordenamento destes para os pesos calculados. Como exemplo pode-se verificar a simulação demonstrada na Tabela 8. Estes resultados mostraram que a possível presença da sensibilidade ambiental implicou na reclassificação dos animais. Desta forma, o melhor animal avaliado em uma região não foi necessariamente o mesmo em outra região.

A simulação apresentada na Tabela 8, com bases nos índices estabelecidos, apontou que, possivelmente, as diferenças observadas foram devido a um efeito tanto de sensibilidade ambiental quanto de norma de reação, uma vez que a reclassificação foi definida com base, na discriminação e agrupamento dos Estados. As classificações dos animais, baseadas tanto no mérito fenotípico quanto no mérito genético de pesos, foram as mesmas. Destarte, a utilização dos índices, em seus respectivos Estados, resultará em melhorias genéticas, se bem delineados os processos e tomadas de decisão, quanto à seleção dos reprodutores a serem pais das futuras gerações.

Tabela 8. Exemplo de aplicação dos índices fenotípicos dentro de cada Estado e ordem de classificação dos animais.

Estado	Touro	Peso (kg)					MF ^a	MG ^b	Ordem de Classificação
		P120	P210	P365	P450	P550			
Maranhão	A	126	183	235	282	331	47,12	14,46	1
	B	118	191	213	255	317	45,39	7,15	2
	C	100	158	213	246	275	33,55	4,13	3
Pará	A	123	169	222	259	293	42,38	-5,44	3
	B	141	207	265	306	344	59,49	9,99	1
	C	131	176	240	281	329	48,22	3,02	2
Tocantins	A	141	217	300	347	422	63,60	4,21	1
	B	121	164	217	261	347	40,76	-1,83	3
	C	131	180	240	262	313	47,00	2,03	2

^a MF: Mérito fenotípico, baseado nos índices de cada Estado

^b Cada uma das DEPS dos pesos padronizados contribuíram com 20% para o cálculo do MG (Mérito genético: $MG = 0,20 \times DEP120 + 0,20 \times DEP210 + 0,20 \times DEP365 + 0,20 \times DEP450 + 0,20 \times DEP550$)

Fonte: Elaboração dos autores.

Como base nestes resultados, pode-se prever que a sensibilidade dos animais a determinados ambientes deve ser considerada juntamente com os critérios de seleção de bovinos de corte. Isto porque os três índices apresentaram estimativas de correlações positivas e significativas ($p < 0,05$) para todas as variáveis estudadas. Portanto, devido a influência de fatores ambientais e uma possível interação desses genótipos com o ambiente, os índices fenotípicos sugeridos podem ser uma boa medida indicativa de seleção de animais mais produtivos.

Conclusão

As variáveis ambientais e fenotípicas caracterizaram e diferenciaram os Estados do Maranhão, Pará e Tocantins. Os índices fenotípicos e genéticos classificaram de forma semelhante, todos os animais. Portanto, os índices, aqui sugeridos, podem ser empregados para classificar e selecionar animais dentro de cada Estado.

Referências

- BOLDMAN, K. G.; KRIESE, L. A.; VAN VLECK, L. D. *A manual for use of MTDFREML*. A set of programs to obtain estimates of variance and covariances [DRAFT]. Lincoln: Department of Agriculture/Agricultural Research Service, 1995. 120 p.
- BRITO, F. V.; CARDOSO, V.; CARVALHEIRO, R.; FRIES, L. A.; ORTIZ PEÑA, C. D.; PICCOLI, M. L.; ROSO, V. M.; SCKENKEL, F.; SEVERO, J. L. P. *Interação genótipo-ambiente em bovinos de corte: aspectos técnicos e aplicabilidade*. Porto Alegre: Gensys, 2007. Disponível em: <<http://www.beefpoint.com.br/radares-tecnicos/melhoramento-genetico/interacao-genotipoambiente-em-bovinos-de-corte-aspectos-tecnicos-e-aplicabilidade-38003n.aspx>>. Acesso em: 01 ago. 2012.
- BRITO, F. L.; McMANUS, C. M.; SILVA, M. C.; FACO, O.; FIORAVANTI, M. C. S. Variação espacial de fatores biofísicos e socioeconômicos que afetam a produção de caprinos no Brasil. In: CONGRESSO DE PESQUISA, ENSINO E EXTENSÃO, 8.; REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA 2011, Goiânia. *Anais...* Goiânia: SBPC, 2011. Disponível em: <<http://www.sbpnet.org.br/livro/63ra/conpeex/trabalhos-doutorado/doutorado-fernando-brito.pdf>>. Acesso em: 01 ago. 2012.
- CAMPBELL, W. B.; FREEMAN, D. C.; EMLEN, J. M. Correlations between plant phylogenetic and functional diversity in a high altitude cold salt desert depend on sheep grazing season: Implications for range recovery. *Ecological Indicators*, Alemanha, v. 10, n. 3, p. 676-686, 2010.
- CAMPÊLO, J. E. G.; LOPES, P. S.; TORRES, R. A.; SILVA, L. O. C.; EUCLYDES, R. F.; ARAÚJO, C. V.; PEREIRA, C. S. Influência da heterogeneidade de variâncias na avaliação genética de bovinos de corte da Tabapuã. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, Belo Horizonte, v. 55, n. 6, p. 685-693, 2003.
- DAL-FARRA, R. A.; ROSO, V. M.; SCHENKEL, F. S. Efeitos de ambiente e heterose sobre o ganho de peso do nascimento ao desmame e sobre os escores visuais ao desmame de bovinos de corte. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, MG, v. 31, n. 3, p. 1350-1361, 2002.
- DIAS FILHO, M. B.; ANDRADE, C. M. S. *Pastagens no trópico úmido*. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2006. 31 p. (Série Documentos, n. 241).
- FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. *Introduction to quantitative genetics*. 4. ed. Harlow: Longmans Green, 1996. 365 p.
- FALCONER, D. S. Selection in different environments: effects on environmental sensitivity (reaction norm) and on mean performance. *Genetical Research*, Cambridge, v. 56, n. 1, p. 57-70, 1990.
- HAZEL, L. N. The genetic basis for constructing selection indexes. *Genetics*, Pittsburgh, v. 28, n. 20, p. 476-490, 1943.
- HERRERO, M.; THORNTON, P. K.; NOTENBAERT, A.; MSANGI, S.; WOOD, S.; KRUSKA, R.; DIXON, J.; BOSSIO, D.; STEEG, J. VAN DE; FREEMAN, H. A.; LI, X.; PARTHASARATHY RAO, P. *Drivers of change in crop-livestock systems and their potential impacts on agro-ecosystems services and human well-being to 2030*. Nairobi, Kenya: CGIAR Systemwide Livestock Programme, ILRI, 2009.
- HERRERO, M.; THORNTON, P. K.; NOTENBAERT, A. M.; WOOD, S.; MSANGI, S.; FREEMAN, H. A.; BOSSIO, D.; DIXON, J.; PETERS, M.; VAN DE STEEG, J.; LYNAM, J.; RAO, P. P.; MACMILLAN, S.; GERARD, B.; MCDERMOTT, J.; SERÉ, C.; ROSEGRANT, M. Smart investments in sustainable food production: revisiting mixed crop-livestock systems. *Science*, Washington, v. 327, n. 5967, p. 822-827, 2010.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Produção da pecuária municipal*. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. v. 38, p. 1-65.
- JOOST, S.; COLLI, L.; BARET, P. V. Integrating geo-referenced multiscale and multidisciplinary data for the management of biodiversity in livestock genetic resources. *Animal Genetics*, Oxford, v. 41, p. 47-63, 2010. Supplement.
- KAISER, H. F. A second generation little jiffy. *Psychometrika*, v. 35, n. 4, p. 401-415, 1970.
- LOPES, F. B.; SILVA, M. C.; MIYAGI, F. S.; FIORAVANTI, F. C. S.; FACÓ, O.; GUIMARÃES, R. F. C.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; MCMANUS, C. M. Spatialization of climate, physical and socioeconomic factors that affect the dairy goat production in Brazil and their impact on animal breeding decisions. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, v. 32, n. 11, 1073-1081, 2012.
- LOPES, J. S.; RORATO, P. R. N.; WEBER, T.; BOLIGON, A. A.; COMIN, J. G.; DORNELLES, M. A. Efeito da interação genótipo x ambiente sobre o peso ao nascimento, aos 205 e aos 550 dias de idade de bovinos da raça Nelore na Região Sul do Brasil. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, MG, v. 37, n. 1, p. 54-60, 2008.

- MATTAR, M. *Interação genótipo-ambiente para peso ao sobreano na raça Canchim*. 2009. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária. Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal. Disponível em: <http://www.athena.biblioteca.unesp.br/exlibris/bd/bja/33004102002P0/2009/mattar_m_dr_jabo.pdf>. Acesso em: 14 dez. 2011.
- McMANUS, C.; COBUCCI, J.; BRACCINI NETO, J.; PAIVA, S. Decision making in animal breeding programs and their consequences for animal production. *Revista Brasileira de Reprodução Animal*, Belo Horizonte, v. 35, n. 2, p. 69-76, 2011.
- McMANUS, C.; PAIVA, S. R.; ARAÚJO, R. O. Genetics and breeding of sheep in Brazil. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, MG, v. 39, p. 236-246, 2010. Suplemento Especial.
- OLESEN, I.; GOREN, A. F.; GJERDE, B. Definition of animal breeding goals for sustainable production systems. *Journal of Animal Science*, Champaign, v. 78, n. 3, p. 570-582, 2000.
- PÉGOLO, N. T.; OLIVEIRA, H. N.; ALBUQUERQUE, L. G.; BEZERRA, L. A.; LOBO, R. B. Interação genótipo x ambiente para 450 dias-peso de bovinos da raça Nelore analisados por modelos de norma de reação. *Genetics and Molecular Biology*, Ribeirão Preto, v. 32, n. 2, p. 281-287, 2009.
- STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM USER'S GUIDE – SAS. Institute Inc. Version 9.0 ed. Cary: SAS Institute, USA, 2002.
- SKONHOFT, A.; AUSTRHEIM, G.; MYSTERUD, A. A bioeconomic sheep-vegetation trade-off model, an analysis of the Nordic sheep farming system. *Natural Resource Modelling*, New Delhi, v. 23, n. 3, p. 354-380, 2010.