JOSÉ PAULO ROMAN BARROSO

**Efeito do ritmo de ganho de peso e da DEP do touro na puberdade de
novilhas cruzadas (Angus x Nelore) desmamadas precocemente**

Pirassununga - SP

2019

JOSÉ PAULO ROMAN BARROSO

**Efeito do ritmo de ganho de peso e da DEP do touro na puberdade de
novilhas cruzadas (Angus x Nelore) desmamadas precocemente**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Nutrição e Produção Animal da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Departamento:

Nutrição e Produção Animal

Área de concentração:

Nutrição e Produção Animal

Orientador:

Prof. Dr. Alexandre Vaz Pires

De acordo:

Orientador

Pirassununga
2019

Obs: A versão original encontra-se disponível na Biblioteca da FMVZ/USP

Autorizo a reprodução parcial ou total desta obra, para fins acadêmicos, desde que citada a fonte.

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO

(Biblioteca Virginie Buff D'Ápice da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo)

T. 3736
FMVZ

Barroso, José Paulo Roman

Efeito do ritmo de ganho de peso e da DEP do touro na puberdade de novilhas cruzadas (Angus x Nelore) desmamadas precocemente/ José Paulo Roman Barroso. – 2018.

52 p. : il.

Mestrado (Dissertação) – Universidade de São Paulo. Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia. Departamento de Nutrição e Produção Animal, Pirassununga, 2019.

Programa de Pós-Graduação: Nutrição e Produção Animal.

Área de concentração: Nutrição e Produção Animal.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Vaz Pires.

1. Metabolic Imprinting. 2. Cruzamento. 3. IGF-1. 4. Ganho compensatório. 5. Alto concentrado I. Título.

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Maria Aparecida Laet, CRB 5673-8, da FMVZ/USP.

CERTIFICADO

Certificamos que a proposta intitulada "EFEITO DO IMPRINTING METABÓLICO E DA DEP PARA PRECOCIDADE SEXUAL NA PUBERDADE DE NOVILHAS CRUZADAS (ANGUS x NELORE) DESMAMADAS PRECOCAMENTE.", protocolada sob o CEUA nº 1123090118 (ID 005126), sob a responsabilidade de **Alexandre Vaz Pires e equipe; José Paulo Roman Barroso** - que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto o homem), para fins de pesquisa científica ou ensino - está de acordo com os preceitos da Lei 11.794 de 8 de outubro de 2008, com o Decreto 6.899 de 15 de julho de 2009, bem como com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle da Experimentação Animal (CONCEA), e foi **aprovada** pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo (CEUA/FMVZ) na reunião de 21/06/2018.

We certify that the proposal "Effect of metabolic imprinting and EPD for sexual precocity on puberty of crossbreed heifers (Angus x Nelore) early weaned.", utilizing 66 Bovines (66 females), protocol number CEUA 1123090118 (ID 005126), under the responsibility of **Alexandre Vaz Pires and team; José Paulo Roman Barroso** - which involves the production, maintenance and/or use of animals belonging to the phylum Chordata, subphylum Vertebrata (except human beings), for scientific research purposes or teaching - is in accordance with Law 11.794 of October 8, 2008, Decree 6899 of July 15, 2009, as well as with the rules issued by the National Council for Control of Animal Experimentation (CONCEA), and was **approved** by the Ethic Committee on Animal Use of the School of Veterinary Medicine and Animal Science (University of São Paulo) (CEUA/FMVZ) in the meeting of 06/21/2018.

Finalidade da Proposta: **Pesquisa**

Vigência da Proposta: de **01/2018 a 01/2019**

Área: **Nutrição E Produção Animal**

Origem: **Animais provenientes de estabelecimentos comerciais**

Espécie: **Bovinos**

sexo: **Fêmeas**

idade: **3 a 3 meses**

N: **66**

Linhagem: **Nelore x Angus**

Peso: **100 a 150 kg**

Local do experimento: O experimento será conduzido nas instalações experimentais do Laboratório de Nutrição e Reprodução Animal ☐ LNRA, no Departamento de Zootecnia da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz ☐ ESALQ/USP.

São Paulo, 15 de dezembro de 2018

Profa. Dra. Anneliese de Souza Traidi

Presidente da Comissão de Ética no Uso de Animais

Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade
de São Paulo

Roseli da Costa Gomes

Secretária

Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade
de São Paulo

FOLHA DE AVALIAÇÃO

Autor: BARROSO, José Paulo Roman

Título: Efeito do ritmo de ganho de peso e da DEP do touro na puberdade de novilhas cruzadas (Angus x Nelore) desmamadas precocemente

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Nutrição e Produção Animal da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências

Data: ____/____/____

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____

Instituição: _____ Julgamento: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____ Julgamento: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____ Julgamento: _____

Aos meus pais, **Paulo César e Silvana**

Aos meus irmãos, **João Pedro e Júlio Patrício**

Por serem a melhor família do mundo,

minha eterna admiração e gratidão.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Paulo César Barroso e Silvana Roman Barroso, pelo amor, pela educação, pelo apoio incondicional e principalmente por acreditarem nos meus sonhos e apoiarem meus esforços, tenho muita gratidão por vocês.

Aos meus irmãos João Pedro Roman Barroso e Júlio Patrício Roman Barroso, por serem sempre um motivo para minha alegria e diversão, sou muito grato por ter vocês como irmãos.

A todos os meus familiares das famílias Roman e Barroso, que sempre me acompanharam, rezaram e torceram pelo meu futuro, em especial meus avós e padrinhos Haroldo Roman e Maria Imaculada Roman, que sempre se mostraram orgulhosos em relação ao meu crescimento pessoal e profissional.

À minha namorada Priscila Lara, pela amizade, cuidado e pelo apoio aos meus sonhos, obrigado também pela paciência e compreensão.

A Universidade Federal de Lavras (UFLA) e a todos os professores e funcionários, que contribuíram para minha formação profissional e possibilitaram a realização do mestrado, em especial ao amigo Professor Doutor João Bosco Barreto Filho, pelos preciosos ensinamentos.

A Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia (FMVZ/USP), em especial ao Departamento de Nutrição e Produção Animal (VNP), pela oportunidade da realização dessa importante fase da minha vida.

A Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP), em especial ao Departamento de Zootecnia, pelas instalações cedidas, tornando possível a realização desse projeto.

Ao meu orientador, professor Alexandre Vaz Pires, pela disposição, pela amizade, pela paciência, por todos os ensinamentos profissionais e pessoais que contribuíram para minha formação, principalmente pelo exemplo de postura profissional e pessoal.

A professora Ivanete Susin (ESALQ/USP), pela disponibilidade, por todo auxílio pessoal e profissional.

Ao professor Evandro Maia (ESALQ/USP), pela contribuição em meu aprendizado e formação profissional.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela concessão da bolsa de mestrado processo nº 2016/14019-3.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Ao professor Marcos Vinicius Ferraz Junior, pela amizade, pela ajuda nos momentos difíceis e pelos bons conselhos.

A todos os amigos do Laboratório de Nutrição e Reprodução Animal (LNRA/ESALQ): Luiz Guilherme Mezzena (Rabicó), André Martins (Xena), Gabriela Bagio Oliveira, Alexandre Miszura, Daniel Montanher Polizel, Analisa Vasques Bertoloni, Arnaldo Cintra (Pinguim), Lairana Aline Sardinha, Janaína Biava e todos os outros ilustres companheiros que já passaram por esse laboratório, pela amizade e companheirismo construídos ao longo desse tempo dentro e fora da escola.

Aos funcionários do LNRA: Danilo Grajal, Luciana Castelar, Jean Schmidt e ao Anderson Rodrigues por toda a ajuda. E também aos funcionários do SIPOC: Seu Roberto Gonçalves, Adilson Rosa (Zica), Seu Marcos Polizel e Joseval Mandro; e da oficina mecânica: Juscelino e Emerson. O apoio de vocês foi imprescindível para a realização deste trabalho.

Aos amigos da cidade de Piracicaba, pela ótima receptividade, em especial aos ex-moradores da pensão da Dona Sueli e aos amigos da república Nuance, que foram parte importante para os momentos de lazer. Aos amigos dos grupos de estudo e laboratórios vizinhos ao LNRA, pela amizade e troca de conhecimentos.

A todos os estagiários do LNRA e do SIPOC no período de 2016 a 2018, em especial, a Letícia Pasqualino (Lakita) e Rebecca Van de Riet (Indomada), pela ajuda na condução dos experimentos; e Avorrai, Jirafalis, Durmiçido, Papiata, Simpatia, Xico, Mateuzinho, Passo e Pancada, por ajudarem nos manejos mais pesados dos experimentos e por me fazerem exercitar a paciência, meu muito obrigado.

Enfim, a todos que de alguma forma colaboraram para condução desse período de aprimoramento profissional e crescimento pessoal.

Muito obrigado!

Epígrafe

“Buscai primeiro o Reino de Deus e a sua justiça, e

tudo mais vos será acrescentado.”

Mateus 6:33

RESUMO

BARROSO, J. P. R. **Efeito do ritmo de ganho de peso e da DEP do touro na puberdade de novilhas cruzadas (Angus x Nelore) desmamadas precocemente** [Effect of rate of weight gain and EPD of the sire on puberty of crossbreed heifers (Angus x Nelore) weaned early]. 2018. 52 p.: il. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2019.

A puberdade de novilhas de corte é um fator limitante para o aumento da produtividade, sendo influenciada por diversos fatores. O objetivo desse estudo foi avaliar o ritmo de ganho de peso dos três aos sete meses de idade e a DEP do touro na puberdade de novilhas de corte. Foram utilizadas 60 novilhas F1 (Angus x Nelore) desmamadas precocemente ($102 \pm 4,3$ dias; $103 \pm 4,7$ kg) em um experimento arranjado em esquema fatorial 2x2. O fator 1 foi o Ritmo de Ganho no **período 1** (3 a 7 meses de idade) no qual as novilhas foram submetidas a Alto GMD, com CMS *ad libitum* (**GA**; GMD estimado em 1000 g/animal/dia, n = 30 novilhas) ou submetidas a Médio GMD, com CMS de 1,5% do peso corporal (**GM**; GMD estimado em 700 g/animal/dia, n = 30 novilhas). No **período 2** (do 7º mês de idade até a puberdade), todas as novilhas receberam a dieta *ad libitum*. O fator 2 foi a DEP para circunferência escrotal (CE) do touro progenitor da novilha, sendo considerados sexualmente precoces os touros com DEP Positiva (**DP**) e tardios os touros com DEP Negativa (**DN**). Foram mensurados os GMD, CMS, EA ao final de cada período; peso aos sete meses; idade, peso e ECC na puberdade; taxa de puberdade e concentrações séricas de IGF-1 e insulina nos meses 3, 5, 7, 10 e 12. A análise estatística foi realizada pelo SAS 9.3. Houve interação entre os fatores apenas para CMS no período 1 ($P = 0,02$). Considerando o Ritmo de Ganho, novilhas do GA apresentaram maiores CMS ($P < 0,0001$) e GMD ($P < 0,0001$) no período 1 em relação a novilhas do GM. Em consequência, o peso aos sete meses também foi maior ($P = 0,002$). No período 2, as novilhas GM apresentaram GMD superior ($P = 0,05$) as novilhas GA. Considerando a DEP, novilhas de DP apresentaram maiores CMS ($P = 0,03$) e GMD ($P = 0,07$) no período 2, em relação a novilhas de DN. As novilhas DP foram mais pesadas aos sete meses ($P = 0,02$) e na puberdade ($P = 0,0005$). A taxa de puberdade aos 15 meses foi maior para as novilhas DP ($P = 0,03$). Não houve redução da idade à puberdade de novilhas Angus x Nelore pela diferença no Ritmo de Ganho dos 3 aos 7 meses. A DEP para CE de touros precoces aumentou a taxa de puberdade de novilhas Angus x Nelore aos 15 meses de idade.

Palavras-chave: Ganho compensatório, Impressão metabólica, IGF-1, Taxa de puberdade, precocidade.

ABSTRACT

BARROSO, J. P. R. **Effect of rate of weight gain and EPD of the sire on puberty of crossbreed heifers (Angus x Nellore) weaned early.** [Efeito do ritmo de ganho de peso e da DEP do touro na puberdade de novilhas cruzadas (Angus x Nelore) desmamadas precocemente]. 2018. 52 p.il: Dissertação (Mestrado em Ciências) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2019.

The puberty in beef heifers is a limiting factor for the increase of productivity, being influenced by several factors. The aim of this study was to evaluate the rate of weight gain from three to seven months of age and the EPD of the bull on puberty of beef heifers. Sixty F1 heifers (Angus x Nellore) weaned early (102 ± 4.3 days; 103 ± 4.7 kg) were used in an experiment arranged in a 2x2 factorial scheme. Factor 1 was the Rate of Gain in period 1 (3 to 7 months of age) in which heifers were submitted to High ADG, with DMI *ad libitum* (**HG**; ADG estimated at 1000 g / animal / day, n = 30 heifers) or submitted to Medium ADG, with DMI of 1.5% of body weight (**MG**; GMD estimated at 700 g / animal / day, n = 30 heifers). In period 2 (from the 7th month of age until puberty), all heifers received the *ad libitum* diet. Factor 2 was the EPD for scrotal circumference (**SC**) of the sire: Positive EPD (**PE**) of the precocious sires and Negative EPD (**NE**) of the non-precocious sires. ADG, DMI and FE were measured at the end of each period; weight at seven months; age, weight and BCS at puberty; rate of puberty and serum concentrations of IGF-1 and insulin at months 3, 5, 7, 10 and 12. Statistical analysis were performed by SAS 9.3. There was interaction between factors only for CMS in period 1 ($P = 0.02$). Considering the Rate of Gain, HG heifers showed higher DMI ($P < 0.0001$) and ADG ($P < 0.0001$) in period 1 in relation to MG heifers. Consequently, the weight at seven months was also higher ($P = 0.002$). In period 2, MG heifers presented higher ADG ($P = 0.05$) than HG heifers. Considering the EPD, heifers of PE presented higher DMI ($P = 0.03$) and ADG ($P = 0.07$) in period 2, in relation to NE heifers. The PE heifers were heavier at seven months ($P = 0.02$) and at puberty ($P = 0.0005$). The puberty rate at 15 months was higher for PE heifers ($P = 0.03$). There was no reduction in the age at puberty of Angus x Nellore heifers by the difference in the Rate of Gain from 3 to 7 months. The EPD for SC of precocious bulls increased the puberty rate of Angus x Nellore heifers at 15 months of age.

Keywords: Compensatory gain, Metabolic imprinting, IGF-1, Puberty rate, precocity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Períodos experimentais.....	29
Figura 2. Efeito do ganho compensatório no fator DEP.....	35
Figura 3. Efeito do ganho compensatório no fator Ritmo de Ganho.....	36
Figura 4. Taxa de puberdade em relação ao fator Ritmo de Ganho.	37
Figura 5. Taxa de puberdade em relação à DEP do touro.	37
Figura 6. Concentrações séricas de IGF-1 ao longo do tempo.....	38
Figura 7. Concentrações séricas de insulina ao longo do tempo.	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Ingredientes e composição química da dieta do período 1, formulada pelo NRC gado de corte 1996.....	30
Tabela 2. Ingredientes e composição química da dieta do período 2, formulada pelo NRC gado de corte 1996.....	30
Tabela 3. Desempenho nutricional e reprodutivo de novilhas Angus x Nelore submetidas a cada tratamento, até os 15 meses de idade.....	34
Tabela 4. Efeito do CMS, GMD e EA , nos períodos 1 e 2, na puberdade de novilhas Angus x Nelore.....	36
Tabela 5. Concentrações séricas médias de IGF-1 e insulina em novilhas cruzadas submetidas a Alto GMD (GA) ou Médio GMD (GM) e DEP Positiva (DP) ou Negativa (DN).....	38

SUMÁRIO

RESUMO.....	9
ABSTRACT	10
Introdução	14
Revisão de literatura	16
Importância da puberdade na pecuária de corte	16
Fisiologia e endocrinologia da puberdade.....	17
Efeito nutricional na puberdade	19
Metabolic imprinting.....	22
Efeito do ganho compensatório na puberdade	25
Efeito genético na puberdade	26
Hipótese	28
Objetivo	28
Material e métodos	28
Resultados	33
Discussão	39
Conclusão	44
Referências	45

Introdução

A idade ao primeiro parto (IPP) é um índice reprodutivo influenciado pela idade em que as novilhas entram em puberdade e são submetidas à reprodução. Todavia, o manejo nutricional e a genética são os principais fatores que interferem na puberdade de novilhas no cenário pecuário brasileiro. O rebanho nacional é composto por aproximadamente 221,81 milhões de cabeças de gado (ABIEC, 2018), sendo que a raça Nelore, considerada uma raça reprodutivamente tardia comparada a raças taurinas, constitui aproximadamente 80% do rebanho brasileiro (NOGUEIRA, 2004). O modelo de criação extensivo, predominante no país, pode comprometer o desenvolvimento corporal e os mecanismos endócrinos que desencadeiam a puberdade das fêmeas quando as pastagens são mal manejadas e a suplementação é insuficiente ou nula (NOGUEIRA, 2004; FERRAZ e FELÍCIO, 2010). Esses fatores elevam a IPP e, em consequência, diminuem a produção de bezerros durante a vida produtiva da vaca, além de aumentar os custos de manutenção de novilhas com precocidade tardia, afetando a rentabilidade do sistema pecuário (FERREIRA et al., 2012; ELER et al., 2010).

Nos últimos anos, houve considerável aumento na utilização de cruzamentos com a raça Nelore, sendo a inseminação de fêmeas Nelore com touros Angus a mais comum. A partir do ano de 2013, a Associação Brasileira de Inseminação Artificial (ASBIA) têm relatado maior comercialização de doses de sêmen da raça Angus comparado às demais raças de corte (ASBIA, 2017). Os bezerros advindos desse cruzamento apresentam elevado ganho de peso, precocidade para abate, rusticidade e boa adaptabilidade a condições tropicais (WENCESLAU et al., 2010), o que explica tal sucesso e disseminação deste cruzamento entre os pecuaristas. As fêmeas da raça Angus apresentam puberdade antecipada comparada às fêmeas da raça Nelore (NOGUEIRA, 2004), mas pouco se sabe sobre a puberdade das novilhas advindas do cruzamento destas duas raças. Fêmeas cruzadas podem ser uma alternativa para redução da IPP se utilizadas como matrizes, por apresentarem puberdade precoce em relação às fêmeas zebuínas.

A teoria “Gonadostática”, proposta por Ramirez e McCann (1963) apud Day et al. (1987), é bem aceita para explicar os mecanismos que envolvem o início da puberdade em bovinos, e sugere que o efeito de secreções gonadais possam interferir no sistema nervoso central, atuando em hormônios de secreção hipotalâmica e hipofisária que iniciarão os mecanismos para a primeira ovulação. Neste modelo, o Estradiol (E2) tem um efeito inibitório no hipotálamo, com inibição do Hormônio Liberador de

Gonadotrofinas (GnRH), e baixa pulsatilidade do Hormônio Luteinizante (LH). Quando o E2 passa a exercer efeito positivo sobre o hipotálamo, a pulsatilidade do LH aumenta e faz com que os folículos ovarianos produzam mais E2 e ocorra o pico de secreção de GnRH por *feedback* positivo. O pico de GnRH desencadeia o pico de LH promovendo a primeira ovulação, sendo o evento inicial da puberdade (DAY et al., 1987; RAWLINGS et al. 2003; DAY et al., 2010).

Uma das formas de antecipar a puberdade é através da nutrição (PERRY et al., 2016), entretanto, existem fases específicas do desenvolvimento da fêmea que podem refletir em uma resposta mais eficiente para puberdade, considerando custo de dieta e duração da suplementação (GASSER, 2013; CARDOSO et al., 2014; MISZURA et al., 2017a; MISZURA et al., 2017b). Em *Bos indicus*, diversos trabalhos têm sido conduzidos para o melhor entendimento dos efeitos nutricionais no pré-parto, nas fases iniciais pós-natal ou pós-desmame com efeito na idade à puberdade (COOKE et al., 2003; FERRAZ et al., 2018; NEPOMUCENO et al., 2017). Além da fase de suplementação, o maior entendimento dos nutrientes, mediadores nutricionais, hormônios e ganho de peso diário são importantes para estabelecer o programa nutricional para as novilhas de reposição (MORIEL et al., 2018).

Os trabalhos clássicos analisando efeitos nutricionais na puberdade foram realizados na maioria com animais *Bos taurus* (DAY et al., 1987; CICCIOLOI et al., 2002; GASSER et al., 2006a; GASSER et al., 2006b; GASSER et al., 2006c; GASSER et al., 2006d). Um menor número de trabalhos estudou o efeito nutricional em animais *Bos indicus*, apesar disso, há uma perspectiva de aumento no número de pesquisas e geração de dados envolvendo zebuínos (MISZURA et al., 2017b; NEPOMUCENO et al., 2017; FERRAZ et al., 2018). A resposta nutricional na puberdade entre os diferentes tipos raciais é diferente, o que faz considerar o fator genético nessa variável. Entretanto, a maioria dos trabalhos desconsidera o efeito genético do progenitor, que além da raça e da nutrição, exerce forte efeito na idade à puberdade de novilhas de corte (FERRAZ et al., 2018; MISZURA et al., 2017a). Além disso, pouco se sabe sobre o efeito da interação entre nutrição e genética paterna na puberdade de novilhas cruzadas Angus x Nelore. Assim, este trabalho objetivou identificar o efeito nutricional através do ritmo de ganho de peso pré-puberdade e a influência da Diferença Esperada na Progênie (DEP) para circunferência escrotal (CE), dos progenitores, sobre a puberdade em novilhas cruzadas Angus x Nelore.

Revisão de literatura

Importância da puberdade na pecuária de corte

As fêmeas da categoria de novilhas não geram retornos financeiros imediatos à propriedade pecuária, tendo em vista que são animais ainda improdutivos, sendo contabilizadas como custo dentro do sistema. A fêmea de corte passa a ser lucrativa para o sistema a partir do momento da primeira parição, cujo produto de interesse econômico é o bezerro. Para que as fêmeas de corte tenham o maior desempenho reprodutivo ao longo da sua vida produtiva o ideal é que ela seja exposta à reprodução antes de dois anos de idade (NUNEZ-DOMINIQUEZ et al., 1991), sendo meta ideal para *Bos taurus* a parição aos 24 meses de idade (PATTERSON et al., 1992).

De forma geral, a pecuária de corte brasileira é caracterizada por elevada IPP, em virtude da idade à puberdade também ser elevada, sendo comum a primeira parição ocorrer superior aos 36 meses de idade. Os principais fatores relacionados a isso são a genética inerente a raças de origem zebuínas, o sistema de criação aliado à nutrição e a pouca seleção visando precocidade sexual. A raça Nelore corresponde a 80% do rebanho de corte nacional, sendo a mais importante raça zebuína criada no país (NOGUEIRA, 2004). As raças zebuínas são sabidamente mais tardias, atingindo a puberdade em idade mais avançada que as raças taurinas, implicando em um atraso na exposição à reprodução e consequentemente em elevada IPP (MARTIN et al., 2002; FERRAZ et al., 2018; MISZURA et al., 2017a).

O sistema brasileiro de pecuária de corte é predominantemente de criação extensiva, com pouco ou nenhum manejo de pastagem, cuja a disponibilidade de forragem é sazonal e dependente da distribuição de chuvas (EUCLIDES et al., 2001, FERRAZ e FELÍCIO, 2010). Além disso, generalizando, a falta de dimensionamento dos piquetes nas propriedades favorece o superpastejo ou o subpastejo, comprometendo o desenvolvimento dos animais. Outro fator muitas vezes negligenciado é a suplementação mineral e/ou suplementação energética ou proteica, para que o animal atinja suas exigências e alcance um desempenho satisfatório. Todavia, há sistemas de criação com maior grau de intensificação e maior aplicação de tecnologia, que favorecem o desempenho produtivo e reprodutivo dos animais.

Desde o início da importação da raça Nelore, priorizou-se a seleção de animais com melhores padrões raciais para morfologia. Essa situação resultou, por muitas vezes,

em consanguinidade (FARIA et al., 2009), o que pode acarretar em efeitos deletérios para as características não selecionadas como, por exemplo, as de caráter reprodutivo. Os protocolos hormonais são importantes ferramentas para antecipar a puberdade, entretanto, como um pequeno percentual de fêmeas são submetidas a Inseminação Artificial (IA), acredita-se também que a maioria das fêmeas e novilhas não são submetidas a protocolos hormonais, uma vez que são pouco manejadas, criadas extensivamente, submetidas a monta natural sem programas reprodutivos e/ou estação de monta. Além disso, o tratamento hormonal não resolve o real problema envolvendo a idade tardia à puberdade: a genética. Outra consideração importante é que novilhas que se tornam púberes mais cedo apresentam maior número de ciclos estrais até a estação reprodutiva, sendo relatado maior fertilidade (~21%) no estro do terceiro ciclo estral em comparação com o estro puberal (PERRY, 2012).

Estratégias que possibilitam a antecipação da puberdade e redução da IPP fazem com que uma categoria de recria de novilhas seja eliminada da fazenda, causando redução dos custos da produção. Além disso, a exposição precoce da novilha à reprodução e a menor IPP refletirão em antecipação do retorno de capital investido na criação da fêmea de corte.

Fisiologia e endocrinologia da puberdade

A puberdade é definida como o momento em que o animal se torna capaz de reproduzir, marcando o início da vida reprodutiva, sendo caracterizada na fêmea bovina como a primeira ovulação (RAWLINGS et al., 2003), seguida por ciclos estrais normais e regulares (MORAN, QUIRKE e ROCHE, 1989). Pela avaliação da circulação de progesterona (P4), é caracterizada por concentrações superiores a 1 ng/ml, em duas amostras com intervalo de uma semana (COOKE et al., 2013), entretanto, o primeiro ciclo estral de novilhas pode ser curto (NOGUEIRA, 2004; PERRY, 2012).

Existem duas principais teorias para o início da puberdade: a Central, mais aceita para humanos e primatas, cuja a primeira ovulação ocorreria por ação de neurônios centrais estimulando gonadotrofinas, independentes de hormônios esteróides provenientes das gônadas; e a “Gonadostática”, que explica melhor os eventos que envolvem a puberdade de bovinos, e está relacionada à diminuição da sensibilidade de hormônios gonadais sobre o hipotálamo (OJEDA e SKINNER, 2006).

Na década de 30, após estudos realizados com ratos, cujos resultados iniciais mostraram efeito do estradiol (E2) sobre células da pituitária, houve a primeira especulação do que se tornaria a teoria “Gonadostática” (HOHLWEG e DOHRN, 1932; apud OJEDA e SKINNER, 2006). Essa teoria se consolidou nos últimos anos e implica que à medida com que o animal amadurece, a sensibilidade hipotalâmica para o *feedback* negativo de E2 diminui, resultando em um aumento gradual de gonadotrofinas, consequentemente, estimulando maior liberação de esteróides gonadais (DAY et al., 1987).

A teoria “Gonadostática” considera que anteriormente à puberdade o sistema endócrino reprodutivo já é competente, havendo liberação pulsátil de LH desde os primeiros meses de vida (DAY et al., 1984; DAY e ANDERSON, 1998). No período pré-puberal, as concentrações de LH aumentam na fase de desenvolvimento, mas voltam a níveis mais baixos na fase estática, mantendo-se estável a liberação pulsátil de LH (RAWLINGS et al., 2003). Entretanto, não ocorre a liberação do pico de LH, pois há um bloqueio dos mecanismos que culminarão na primeira ovulação devido à supressão hipotalâmica de E2 (DAY et al., 1984). Apenas no período peri-puberdade, quando há uma redução da sensibilidade do hipotálamo ao E2 é que a pulsatilidade de LH volta a aumentar, o que estimula o crescimento dos folículos e consequentemente eleva as concentrações de E2.

O número de receptores de E2 nas regiões anterior e medial basal do hipotálamo e na adeno-hipófise reduzem com a proximidade da puberdade, momento em que o *feedback* do E2 passa a ser positivo (DAY et al. 1987). As concentrações de E2 se elevam com a maior pulsatilidade de LH e maior tamanho folicular, atingindo quantidades suficiente para estimular, no hipotálamo, o centro do pico de secreção de GnRH, resultando na liberação do pico de LH pela adeno-hipófise, culminando na primeira ovulação. O pico de liberação de LH é o fator essencial para que ocorra a ovulação, entretanto, a secreção hipotalâmica de GnRH é o principal evento endócrino para desencadear o início da puberdade.

Em novilhas *Bos taurus* foi proposto que o desenvolvimento do trato reprodutivo e dos mecanismos endócrinos do eixo hipotálamo-hipófise-gonadal ocorre no período anterior à puberdade, mais especificamente no período de pré-puberdade (DAY et al., 1984; DAY e ANDERSON, 1998; DAY et al., 2010). A maturação endocrinológica ocorre logo aos primeiros meses de vida, na fase de desenvolvimento, e após seu

estabelecimento, ocorre uma fase estática com poucos eventos diferentes, até a peri-puberdade.

Os trabalhos mais antigos se concentravam na identificação de uma idade e um peso mínimo para início da puberdade (ARIJE e WILTBANK, 1974), entretanto, modificações nutricionais, como densidade energética da dieta e ritmo de GMD, são eficientes para reduzir a idade à puberdade (ALLEN et al., 2012). Seguindo esse raciocínio, estratégias tem sido estudadas e desenvolvidas focando redução ou eliminação da fase estática da pré-puberdade, antecipando a fase de peri-puberdade e, conseqüentemente a primeira ovulação.

Efeito nutricional na puberdade

Existem dois fatores principais que interferem na idade à puberdade em novilhas *Bos indicus*: nutrição e genética. Considerando o fator nutricional, o manejo extensivo com sub ou superlotação, a estacionalidade de produção de forragem, com manejo inadequado das pastagens faz com que o desenvolvimento da novilha seja comprometido (EUCLIDES et al., 2001; FERRAZ e FELÍCIO, 2010). Nas condições brasileiras de criação de bovinos de corte no sistema predominantemente extensivo, o atraso da primeira ovulação em novilhas de corte, pode ser devido à deficiência nutricional, que acarreta na diminuição da pulsatilidade de LH por supressão do hipotálamo (SCHILLO et al., 1983; RAWLINGS et al., 2003). Entretanto, é possível reduzir a idade à puberdade de novilhas Nelore quando a nutrição é adequada (FAJERSSON et al., 1991) e, quando além da nutrição adequada, há também seleção para precocidade (NOGUEIRA et al., 2003; FERRAZ et al., 2018).

Tendo em vista a importância da nutrição no aparecimento da puberdade, em termos práticos, as matrizes com maior suporte nutricional e maior produção de leite para as crias, bem como a suplementação de bezerras, podem reduzir a idade à primeira ovulação (RODRÍGUEZ-SÁNCHEZ, et al., 2015). Foi relatado que elevar o aporte nutricional das matrizes no pós-parto afetou positivamente o crescimento e a idade à puberdade das crias fêmeas (PATTERSON et al., 1992b). Ainda na fase de crescimento, o aumento da ingestão de proteína resultou em aumento de peso e redução da idade à puberdade (OYEDIPE et al., 1982). Elevar o nível nutricional das novilhas pode ser uma forma eficaz de acelerar o crescimento e antecipar a manifestação da puberdade (GREER et al., 1983; GASSER et al., 2006a, GASSER et al., 2006b, MORIEL et al., 2014).

De maneira geral, o que acontece no cotidiano prático é a imposição de uma meta de peso para inserir as novilhas na estação reprodutiva. Além da idade da novilha, o peso é um fator determinante para decidir antecipar farmacologicamente a puberdade de novilhas ou descartá-las por falha reprodutiva. Considera-se que o peso para atingir a puberdade esteja entre 55 a 65% do peso adulto, havendo variações de acordo com a curva de crescimento de cada raça (FREETLY et al., 2011; RODRÍGUEZ-SÁNCHEZ et al., 2015; PERRY et al., 2016). Desta forma, a nutrição inadequada durante o desenvolvimento das novilhas pode comprometer o desempenho reprodutivo, considerando que animais subnutridos atingem a puberdade em idade mais avançada (WILTBANK et al., 1985).

Bovinos que recebem dietas com maior valor nutricional e em maior quantidade apresentam maior desempenho, em geral ganham mais peso e apresentam escore de condição corporal (ECC) superior aos demais. Considerando a puberdade, tão importante quanto o peso e o ECC são a composição corporal e o efeito de mediadores nutricionais no sistema endócrino ligado à puberdade. O ECC reflete o *status* nutricional dos bovinos, e é um importante indicador da composição corporal e acúmulo de gordura. Novilhas que apresentaram maior ECC atingiram a puberdade mais cedo que novilhas de baixo ECC (PEREIRA et al, 2017). Da mesma forma que alguns autores consideram uma idade e peso mínimos para o surgimento da puberdade em novilhas (ARIJE e WILTBANK, 1974), é especulado que haja uma mínima composição corporal, em percentual de gordura, que precisa ser atingida para que ocorra a primeira ovulação (NOGUEIRA, 2004; PERRY, 2016). Sabe-se também que o tecido adiposo é precursor da leptina, que é um hormônio apontado como mediador dos mecanismos que envolvem a puberdade (BARB et al., 1999; PERRY, 2016). A revisão de Perry (2016) relata que a leptina exerce uma função reguladora do eixo hipotálamo-hipófise-gônadas, apesar da dieta não influenciar as concentrações desse hormônio quando a porcentagem de gordura na carcaça das novilhas é similar.

Outras substâncias, além da leptina, são consideradas como importantes mediadores nutricionais com ação no complexo mecanismo da puberdade em bovinos. A kiss-peptina, neuropeptídeo Y, peptídeos opioides, ácido gama-aminobutírico, glicose, insulina e fator de crescimento semelhante à insulina - 1 (IGF-1) são metabólitos e hormônios ligados à nutrição e que tem influência no sistema nervoso central (SNC) com

provável influência no desencadeamento da puberdade (HALL et al., 1995; OJEDA e SKINNER, 2006; ALVES et al., 2015).

O IGF-1 é considerado por alguns autores como um provável protagonista nos mecanismos da puberdade, devido à capacidade de expressão em neurônios hipotalâmicos e células da glia, que podem regular a secreção e liberação do GnRH (DAFTARY e GORE, 2004). Além disso, o IGF-1 aumenta a expressão de receptores para gonadotrofinas nos folículos ovarianos (LUCY, 2000), aumentando a esteroidogênese e, possivelmente, influenciando o surgimento da puberdade. Novilhas que tiveram maiores concentrações de IGF-1 sérico, anteciparam a puberdade independente da nutrição, do *status* nutricional ou do ritmo de ganho (COOKE et al., 2013). As concentrações de IGF-1 aumentam em situações de boa nutrição, quando é a ingestão de energia é aumentada (HOUSEKNECHT et al., 1988) e também por influência do Hormônio do Crescimento (GH) e da insulina. Moriel et al (2018) mostraram elevação das concentrações de IGF-1 em novilhas Nelore que receberam injeções de Somatotropina Recombinante Bovina (BST) após 10 dias na primeira aplicação, entretanto, não houve nenhum efeito na manifestação da puberdade quando as aplicações foram feitas no pós-desmame, mas atrasaram a puberdade quando as aplicações foram feitas pré-desmama.

A insulina é aumentada em novilhas com a proximidade da puberdade e também quando o nível nutricional é maior, sendo influenciada pela ingestão e densidade energética da dieta (HALL et al., 1995; YELICH et al., 1996). Em situações de jejum prolongado ocorre diminuição das concentrações séricas de IGF-1 e de insulina, coincidindo com uma redução da pulsatilidade de LH, da expressão gênica e circulação de leptina, todavia, o efeito que a insulina pode atribuir diretamente na secreção de hormônios hipotalâmicos e no aparecimento da puberdade ainda é incerto (AMSTALDEN, et al.; 2000).

A composição da dieta também é um fator importante para a antecipação da puberdade porque altera o metabolismo (LALMAN et al., 1993), formando diferentes produtos metabólicos que podem favorecer o crescimento e desenvolvimento da novilha, assim como atuação direta no SNC e nas gônadas. Nepomuceno et al (2017) mostraram que na época das águas, com maior disponibilidade e qualidade das forrageiras, novilhas Nelore pré-puberes apresentaram maior diâmetro folicular comparando com a estação seca, evidenciando efeito nutricional na resposta ovariana. De forma geral, as pesquisas

nessa área, utilizam dietas com composição diferente para os tratamentos, e as novilhas que atingem a puberdade tardiamente recebem dietas com restrição qualitativa. Comparando a idade à puberdade de novilhas *Bos taurus* precocemente desmamadas, trabalhos mostraram uma redução na idade à primeira ovulação quando os animais receberam maior quantidade de concentrado (GASSER et al., 2006a; GASSER et al., 2006b; MORIEL et al., 2014). Também foi relatado antecipação da puberdade quando houve aumento na quantidade de amido na dieta das novilhas (CICCIOLI et al., 2005) e quando foram suplementadas com aditivos ionóforos (LALMAN et al., 1993) em relação aos tratamentos controle dos respectivos trabalhos. Entretanto, a interferência que a restrição quantitativa pode causar na idade à puberdade é pouco explorada. O estudo realizado por Rodríguez-Sánchez et al. (2015) mostrou que houve antecipação da puberdade para novilhas que não tiveram restrição da dieta, do nascimento até a puberdade, ou quando novilhas foram submetidas à restrição quantitativa da dieta apenas no período pré-desmama. As novilhas que receberam restrição da dieta no período pós-desmama apresentaram valores intermediários e as que passaram por restrição do nascimento até a puberdade foram mais tardias.

A elevação do aporte nutricional e o ganho de peso médio diário (GMD) em períodos específicos pré-puberdade pode fazer com que a primeira ovulação seja antecipada (ALLEN et al., 2012). As três principais linhas de trabalhos que estudam o efeito nutricional na puberdade em períodos específicos estão focadas na programação fetal (nutrição intra-uterina), nos efeitos de *Metabolic Imprinting* (nutrição na fase inicial pós-natal) e no ganho de peso compensatório (nutrição pós-desmame).

Metabolic Imprinting

Metabolic Imprinting é um evento causado pela nutrição no início da vida, em um curto período de tempo, estimulando mudanças epigenéticas que refletem em alterações fisiológicas perduráveis por toda a vida do animal (LUCAS, 1991). Esse termo foi pioneiramente utilizado na espécie humana, na qual é bastante explorada a relação entre ganho de peso na maturação sexual precoce, além da aquisição de gordura e obesidade futura (GARN e HASKELL, 1959). Crianças que desenvolvem a puberdade precocemente estão geralmente acima do peso na infância e há ainda evidências que a taxa de ganho no início da infância deve ser o ponto mais crítico determinante para o início da puberdade na espécie humana (MILLS et al., 1986; COOPER et al., 1996).

Alguns estudos mostraram que o crescimento e o ganho de peso até os dois anos de idade podem prever a menarca de meninas (DOS SANTOS SILVA et al., 2002) e outros estudos identificaram associação entre início de puberdade e ganho de peso até os 6 meses de idade (ADAIR, 2001). Esses estudos sugerem que a infância pode ser uma “janela” para que variações nutricionais possam programar o crescimento e desenvolvimento subsequente.

A idade à puberdade é mais influenciada pela nutrição e ritmo de crescimento na fase pré-desmama do que após a desmama em novilhas de corte (WILTBANK, 1985; RODRIGUÉZ-SANCHEZ et al., 2015). Na vida pós-natal da bezerra ocorrem variações no padrão de LH até o estabelecimento da puberdade. A partir do nascimento há uma queda das concentrações séricas de LH, com posterior aumento gradativo dos 3 aos 7 meses, aproximadamente. Após esse período, novamente há uma queda no LH circulante, e apenas na fase peri-puberdade, com elevação da secreção de GnRH é que os níveis de LH voltam a subir, estabelecendo a maturidade sexual (EVANS et al., 1992). Nota-se que no período de 3 a 7 meses de vida da bezerra, devido às elevações no LH circulante, ocorre o início da maturação do eixo endócrino-reprodutivo. O aumento da energia na dieta durante essa fase aumenta a secreção de LH e o tamanho máximo dos folículos ovarianos (DAY et al., 1987), sendo possível que a nutrição provoque *Metabolic Imprinting*, refletindo no desenvolvimento sexual da bezerra, antecipando a puberdade (ALLEN et al., 2012; MORIEL et al., 2014) e, de forma geral, afetando positivamente a vida reprodutiva futura dessa fêmea.

Alguns trabalhos mostram o efeito de *Metabolic Imprinting* em bovinos, causado pelo ritmo de ganho de peso na fase de desenvolvimento da pré-puberdade, aumentando o status metabólico neste período e influenciando positivamente a idade à puberdade de novilhas (GASSER et al., 2006a; GASSER et al., 2006b; ALLEN et al., 2012; MORIEL et al., 2014). Essa estratégia nutricional pretende aumentar a frequência dos pulsos de LH que ocorrem na fase peri-púbere. Essa afirmação pode ser comprovada pela aceleração da maturidade ovariana (GASSER et al., 2006a) aumento do diâmetro máximo dos folículos dominantes, da duração das ondas de desenvolvimento folicular e do pico de E2 durante as ondas de desenvolvimento folicular (GASSER et al., 2006b). Assim, as estratégias nutricionais possibilitam eliminar ou encurtar a fase estática durante a pré-puberdade, fazendo com que as novilhas entrem na peri-puberdade logo após a fase de

desenvolvimento (GASSER et al., 2006d; DAY e ANDERSON, 1998; MORIEL et al., 2014).

A principal hipótese dos trabalhos visando o *Metabolic Imprinting* é que elevadas taxas de crescimento, no período de desenvolvimento pré-puberdade, antecipem a puberdade de novilhas devido à alteração na expressão gênica (ALLEN et al., 2012; MORIEL et al., 2014). Essa hipótese foi desenvolvida com base em dois fatores: *status* nutricional e desenvolvimento cronológico. O primeiro fator considera que a puberdade em bovinos é altamente influenciada pelo estado nutricional e desenvolvimento corporal, incluindo o ritmo de crescimento, a deposição de gordura e a concentração de hormônios associados com o metabolismo de nutrientes (SCHILLO et al., 1992) e lipogênese, tal como IGF-I e a leptina (WILLIAMS et al, 2002; COOKE et al, 2013) ; o segundo fator é modulado pelo sistema de criação, uma vez que considera um período cronológico para que a nutrição cause interferência no metabolismo e altere a expressão gênica para ocorrência de *Metabolic Imprinting* (ALLEN et al., 2012). Nesse período, os meses iniciais da bezerra são fundamentais para proporcionar mudanças positivas na idade adulta e, dessa forma, a desmama precoce aliada ao fornecimento de dietas de elevada densidade nutricional, ou a suplementação nos períodos iniciais de desenvolvimento pré-puberdade, irão favorecer o efeito de *Metabolic Imprinting* (GRAUGNARD et al., 2010; SCHEFFLER et al., 2014; MORIEL et al., 2014).

O efeito de *Metabolic Imprinting* foi relatado por Moriel et al. (2014), que observaram redução no peso e na idade à puberdade em novilhas desmamadas aos 72 dias de idade e alimentadas com dieta com alto teor de concentrado até os 6 meses de idade, em comparação com bezerras que receberam dieta com maior teor de volumoso. Além disso, os trabalhos de Gasser et al. (2006a, 2016b, 2016c, 2016d), mostraram que novilhas *Bos taurus* alimentadas com alta inclusão de concentrado obtiveram uma menor idade à puberdade e maior porcentagem de puberdade precoce comparadas ao grupo controle. Ainda, Moriel et al. (2014), observaram maior expressão gênica de IGF-1 no tecido hepático das novilhas que anteciparam a puberdade e haviam recebido maior nível nutricional na pré-puberdade. Allen et al. (2012) relataram aumento na expressão de aproximadamente 230 genes no hipotálamo de novilhas precocemente desmamadas submetidas à alto ganho em dietas de elevado teor de concentrado, corroborando com o efeito de *Metabolic Imprinting*.

Efeito do ganho compensatório na puberdade

O aumento do aporte nutricional em novilhas, aumenta a secreção de gonadotrofinas, especialmente o LH, o tamanho folicular e pode reduzir a idade à puberdade (DAY et al., 1987; GASSER, 2013). Na contramão, o efeito nutricional pode ter efeito negativo no aparecimento da puberdade quando novilhas são submetidas à restrição alimentar por períodos prolongados, reduzindo a frequência dos pulsos de LH, diminuindo a taxa de crescimento folicular e o tamanho do folículo dominante, atrasando a primeira ovulação (DAY et al., 1987; DISKIN et al., 2003, RODRÍGUEZ-SANCHEZ et al., 2015). Entretanto, a puberdade pode ser antecipada quando as novilhas passam por restrição alimentar e posteriormente são alimentadas com dietas que propiciam elevado GMD, atingindo o balanço energético positivo (YELICH et al., 1996).

O termo ganho compensatório é bastante explorado para animais em terminação, que geralmente entram no confinamento com peso e cobertura de gordura corporal reduzidos, alcançando altos GMD, refletindo em peso e acabamento similares ao final do confinamento, quando comparados a animais que entraram mais pesados e com melhor ECC (LAWRENCE e FOWLER, 2012). Entretanto, esse efeito pode ocorrer em qualquer situação em que houver um aumento no valor nutricional da dieta ou após um período intenso de restrição alimentar (YELICH et al., 1996; CARDOSO et al., 2014; MISZURA et al 2017a). Trabalhos com humanos mostram que até mesmo em situações de subnutrição fetal, pode haver efeito de ganho compensatório nos primeiros dias de vida, com efeitos inclusive na idade à puberdade (DUNGER, AHMED e ONG, 2006).

O efeito de ganho compensatório pode ser total, parcial ou pode não existir, e é altamente dependente da intensidade e duração do período de restrição alimentar (LAWRENCE e FOWLER, 2012). Quando há compensação total, ao final do período analisado os animais que passaram por restrição alimentar atingem o mesmo peso que os animais que não sofreram restrição. Quando há compensação parcial, os animais que passaram por restrição apresentam um ritmo de ganho de peso mais acentuado após a realimentação, mas ainda apresentam menor peso no fim do período estudado. Em ambos os casos, a inclinação da curva de ganho de peso dos animais que tiveram ganho compensatório é maior que a dos animais que não passaram por restrição. Quando a resposta ao ganho compensatório é nula, severidade do período de restrição alimentar compromete o crescimento compensatório, a inclinação da curva de ganho de peso é igual ou menor, e os animais não apresentem compensação de peso após a realimentação.

Cardoso et al. (2014) registraram efeito positivo do ganho compensatório em novilhas que passaram por restrição em períodos alternados até a puberdade. Entretanto, as novilhas que foram alimentadas *ad libitum* no período inicial de desenvolvimento (até 6,5 meses de idade) e passaram por períodos posteriores de restrição, atingiram o mesmo percentual de novilhas púberes aos 12 meses comparadas às novilhas que não passaram por restrição até a puberdade. Ainda, novilhas que tiveram alimentação restrita até os 6,5 meses apresentaram maiores taxas do que as novilhas que apresentaram restrição e baixo GMD por todo o período experimental. O efeito do ganho compensatório necessita ser melhor explorado quanto à melhor fase para ser utilizado em novilhas, todavia, é uma “ferramenta” que visa a redução no custo alimentar sem afetar a idade à puberdade, podendo se tornar uma importante estratégia econômica para os pecuaristas (MISZURA et al., 2017a; MISZURA et al., 2017b) .

Efeito genético na puberdade

A seleção ao longo dos anos foi priorizada em ganho de peso, musculosidade e morfologia para a raça Nelore. Esse tipo de seleção comprometeu indiretamente as características de precocidade sexual, porque não foram levadas em consideração para definição dos acasalamentos do rebanho, além disso favoreceu a endogamia e possíveis efeitos deletérios sobre características reprodutivas dentro da raça (FARIA et al., 2009). Isso gera certos questionamentos em relação à idade a puberdade na raça Nelore no Brasil, sobre o quanto a raça é realmente tardia e o quanto é resultado da seleção que negligenciou precocidade sexual das fêmeas.

Nos últimos anos, a busca por animais precoces tem se mostrado mais disseminada, sendo objeto maior de seleção na pecuária de corte nacional. A utilização de DEP do touro para CE, IPP e probabilidade de prenhez aos 14 meses (PP14) são os critérios mais comuns para escolha dos reprodutores visando a precocidade sexual da progênie, uma vez que outras características não interagem muito bem com a idade à puberdade (MARTIN et al., 1992). A DEP para CE apresenta boa correlação e alta herdabilidade para idade à puberdade, entretanto, IPP e PP14 são mais eficientes para seleção de idade à puberdade, visto que a DEP para CE é uma medida de resposta indireta nas fêmeas, mensurada no touro, e IPP e PP14 são medidas na progênie do touro (ELER et al., 2006; ELER et al., 2010).

A DEP para CE, em bovinos da raça Angus, sofre variações de acordo com a idade em que é mensurada, apresentando melhores valores de correlação para IPP quando

mensurada ao redor dos 10 meses do que em idades mais avançadas (13 ou 21 meses; BONAMY et al., 2018). Entretanto, para animais da raça Nelore, foi observado que há maior correlação entre DEP para CE e PP14 quando a mensuração testicular é feita aos 18 meses em comparação com 15 meses de idade (ELER et al., 2006). A IPP carrega um viés porque depende da idade em que as fêmeas foram expostas a programas reprodutivos e, dessa forma, novilhas púberes que esperam a próxima estação reprodutiva para serem acasaladas comprometeriam esse índice, atrasando a IPP (ELER et al., 2010). A PP14 é o melhor critério de DEP para seleção de precocidade sexual, porque utiliza o valor percentual de todas as fêmeas prenhez especificamente aos 14 meses, ou seja, desafiadas à reprodução precocemente (ELER et al., 2010).

Os valores de DEP, de forma geral, seguem metodologias diferentes de acordo com cada raça ou catálogo de seleção, entretanto, é uma diferença esperada para descendentes da mesma raça do touro. Ao utilizar os valores DEP dos touros *Bos taurus* em acasalamentos com vacas *Bos indicus*, provavelmente este critério de seleção estará sub ou superestimado, devido à interação das raças. Por exemplo, ao avaliar resistência à ectoparasitas, animais Nelore foram mais resistentes do que animais cruzados ($\frac{1}{2}$ Angus x $\frac{1}{2}$ Nelore; IBELLI et al., 2012), entretanto, apresentaram maior susceptibilidade à alguns parasitos do sistema gastrointestinal nas mesmas comparações de raça (OLIVEIRA et al., 2009), mostrando que a resposta pode ser diferente da esperada, dependendo da variável. Além disso, o acasalamento de animais de grupos raciais diferentes pode causar heterose, acarretando em uma diferença entre a média dos indivíduos da primeira geração (F1) e a média dos descendentes da raça pura (MARTIN et al., 1992). Animais cruzados (*B. taurus* vs. *B. indicus*) agregam a adaptabilidade e a rusticidade dos zebuínos com a produtividade dos taurinos (NEGUSSIE et al., 1999), atingindo acabamento para abate e puberdade antecipadamente, em relação a animais de raças puramente zebuínas (GALINA et al., 1989; MARTIN et al., 1992), além de apresentarem maior rusticidade e adaptabilidade climática em relação a animais puramente taurinos. Outro ponto a ser considerado é que a heterose diminui o efeito deletério da consanguinidade dentro de uma raça pura (MARTIN et al., 1992; FARIA et al., 2009).

Para redução da idade à puberdade devem ser considerados o efeito da raça e também o efeito da paternidade (touro), podendo dessa forma utilizar o cruzamento entre raças como uma ferramenta para antecipação da puberdade. Zebuínos e raças de maior

peso adulto como os taurinos continentais (Charolês, Chianina e Limousin) entram em puberdade em idade e peso maior do que raças taurinas britânicas (Angus e Hereford) e raças leiteiras (MARTIN et al., 1992). O estudo de Restle et al. (1999) mostrou que novilhas cruzadas (*Bos taurus* x *Bos indicus*) apresentaram maior percentual de puberdade em comparação com novilhas da raça Nelore, independentemente da idade. Trabalhos que consideraram o efeito genético do touro e efeito nutricional na idade à puberdade das novilhas, mostraram que a escolha do sêmen é mais efetiva e, conseqüentemente, mais barata para redução da idade à puberdade do que planos nutricionais de suplementação (FERRAZ et al., 2018; MISZURA et al., 2017a). Além disso, a suplementação não é suficiente para a antecipação da puberdade quando não ocorreu pressão de seleção (EMERICK et al., 2009). Quando o plano nutricional foi o mesmo, Ferraz et al. (2018) mostraram que novilhas Nelore selecionadas para precocidade sexual através da DEP do touro para IPP, atingiram maior percentual de novilhas púberes antecipadamente em relação àquelas consideradas tardias pela DEP do touro.

Hipóteses

A hipótese do presente trabalho foi que a elevação do GMD na pré-puberdade causaria efeito de *Metabolic Imprinting* nas novilhas filhas de touros precoces e essas apresentariam maior taxa de puberdade precoce em relação às demais. Nas novilhas filhas de touros tardios, o efeito de *Metabolic Imprinting* ocasionaria taxa de puberdade precoce semelhante às novilhas filhas de touros precoces submetidas a restrição alimentar. As novilhas submetidas à restrição alimentar e com menor GMD na pré-puberdade, as novilhas filhas de touros tardios apresentariam menor taxa de puberdade precoce que os demais tratamentos. Além disso, foi hipotetizado que o ritmo de ganho de peso após os sete meses de idade não iria interferir na idade à puberdade.

Objetivo

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito do ritmo de ganho de peso, dos três aos sete meses de idade, e da DEP para CE do touro, na puberdade de novilhas cruzadas (Angus x Nelore).

Material e métodos

O experimento foi conduzido nas instalações experimentais do Laboratório de Nutrição e Reprodução Animal – LNRA, no Departamento de Zootecnia da Escola

Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP. O protocolo experimental foi aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo (FMVZ/USP; nº 1123090118)

Foram utilizadas 60 novilhas cruzadas $\frac{1}{2}$ Angus x $\frac{1}{2}$ Nelore (*Bos taurus taurus* x *Bos taurus indicus*) desmamadas precocemente, com média de três meses de idade ($102 \pm 4,3$ dias), oriundas de IATF, filhas de cinco touros, sendo dois com DEP positiva (percentil 5%) e três com DEP negativa (percentil 95%) para precocidade sexual (estimada pelo perímetro escrotal), segundo a American Angus Association.

O período experimental total foi de 12 meses, subdividido em dois períodos (Figura 1). Após o desmame, ao serem confinadas, as novilhas receberam a dieta total mais feno de Tifton *ad libitum* por 15 dias. A estratégia utilizada para proporcionar os diferentes ritmos de ganho de peso foi através do aumento no consumo de matéria seca (CMS), ofertando uma dieta com elevado valor energético de forma *ad libitum* (Tabela 1).

Figura 1: Períodos experimentais.

No **período 1** (do 3º ao 7º mês de idade), as novilhas foram divididas em dois grupos: um grupo submetido a Alto GMD, com CMS *ad libitum* (**GA**; GMD estimado em 1000 g/animal/dia, n = 30 novilhas) visando atingir o efeito de *Metabolic Imprinting*; e outro submetido a Médio GMD, CMS de 1,5% do peso corporal (**GM**; GMD estimado em 700 g/animal/dia, n = 30 novilhas). No **período 2** (do 7º mês de idade até a puberdade), todas as novilhas receberam a dieta *ad libitum* (Tabela 2), formulada para alto GMD (~1000 g/animal/dia).

As novilhas foram distribuídas de acordo com o peso corporal e os tratamentos experimentais em baias coletivas de 15 m², cobertas com piso de concreto, contendo cocho para fornecimento de ração, cocho para o fornecimento de sal e bebedouro. No

período 1 foram mantidas cinco novilhas por baia, e no período 2 foram mantidas duas novilhas por baia.

Tabela 1. Ingredientes e composição química da dieta do período 1, formulada pelo NRC gado de corte 1996.

Ingredientes, %	Composição da Dieta
Bagaço de cana-de-açúcar	12
Milho moído	61
Farelo de Soja	15
Caroço de Algodão	10
Mistura Mineral	2
Composição química, % MS	
MS	84
PB	19
FDN	21
FDA	10
EE	6
MM	5
NDT, estimado NRC 1996	79

MS: Matéria Seca; PB: Proteína Bruta; FDN: Fibra em Detergente Neutro; FDA: Fibra em Detergente Ácido; EE: Extrato Etéreo; MM: Matéria Mineral; NDT: Nutrientes Digestíveis Totais.

Tabela 2. Ingredientes e composição química da dieta do período 2, formulada pelo NRC gado de corte 1996.

Ingredientes, %	Composição da Dieta
Bagaço de cana-de-açúcar	12
Milho moído	70
Farelo de Soja	16
Ureia	1
Mistura Mineral	1
Composição química, % MS	
MS	81
PB	16
FDN	27
FDA	11
EE	3
MM	4
NDT, estimado NRC 1996	78

MS: Matéria Seca; PB: Proteína Bruta; FDN: Fibra em Detergente Neutro; FDA: Fibra em Detergente Ácido; EE: Extrato Etéreo; MM: Matéria Mineral; NDT: Nutrientes Digestíveis Totais.

Os tratamentos foram arrançados em um esquema fatorial 2x2, no qual o fator 1 foi o Ritmo de Ganho no período 1, e o fator 2 foi a DEP de CE do touro progenitor da novilha, sendo considerados sexualmente precoces os touros com DEP Positiva (**DP**) e

sexualmente tardios os touros com DEP Negativa (**DN**). Assim, as novilhas foram submetidas a quatro tratamentos: Alto GMD e DEP Positiva (**GADP**); Alto GMD e DEP Negativa (**GADN**); Médio GMD e DEP Positiva (**GMDP**); e Médio GMD e DEP Negativa (**GMDN**).

Os animais foram alimentados uma vez ao dia, pela manhã, utilizando um vagão de mistura total equipado com balança eletrônica (Casale ®, São Carlos, São Paulo, Brasil). A oferta de alimento foi regulada semanalmente para atender os ganhos estimados, sendo *ad libitum* para os tratamentos de GA e restrita para as novilhas submetidas a GM, considerando o GMD da semana anterior e PC médio das novilhas de cada baia, a fim de obter o GMD proposto.

O CMS foi calculado pela média de consumo por animal dentro da baia. Uma vez ao mês as sobras foram pesadas em balança digital (W300- Welmy, Santa Bárbara D'Oeste, São Paulo, Brasil), amostras compostas foram colhidas e pesadas para a determinação da matéria seca (MS) e para a análise de CMS. As amostras compostas para a oferta de cada período e as amostras de sobras foram secas em estufa (MA035 - Marconi, Piracicaba, São Paulo, Brasil) a 55° por 72 horas para determinação de MS I. Processadas em moinho tipo Wiley (Marconi, Piracicaba, São Paulo, Brasil), providos de peneiras com crivos de 1,0 mm e posteriormente analisadas para determinação de MS II por meio de secagem em estufa (MA035 - Marconi, Piracicaba, São Paulo, Brasil) a 105° C durante 24 horas. A determinação da matéria mineral (MM) foi realizada através da incineração das amostras em mufla (Stecno ® 416 – Stecno fornos e equipamentos, São Paulo, São Paulo, Brasil) a 550° C por 4 horas (AOAC, 1995). A concentração de nitrogênio total foi realizada utilizando aparelho LECO Tru Mac® /N (Nitrogen Determinator, version 1,5x, St. Joseph, EUA). A proteína bruta (PB) foi calculada pela multiplicação do nitrogênio total por 6,25. A determinação da fração fibrosa foi realizada de forma sequencial, utilizando alfa-amilase termoestável e sulfito de sódio para análise de fibra em detergente neutro (FDN) de acordo com metodologia proposta por Van Soest et al. (1991) e a fibra em detergente ácido (FDA) de acordo com Goering e Van Soest (1970), sendo utilizado o Analisador de Fibra Ankon 2000 (Ankon Tech. Corp., Fairport, NY, USA). O FDN e FDA foram corrigidos para cinzas. O teor de extrato etéreo (EE) foi determinado de acordo com a metodologia proposta pela AOAC (1990).

Antes do início do experimento, todas as novilhas foram pesadas após jejum de 16 horas. Durante o período experimental (da desmama até a puberdade) as novilhas foram pesadas semanalmente, sem jejum, para acompanhar os GMD e ajustar a oferta de ração. Apenas, uma vez por mês, na data da coleta de sangue, as novilhas foram submetidas a jejum de sólidos por 16 horas, e por essa razão, todas as vezes em que as novilhas foram pesadas sem estar em jejum, as medidas foram ajustadas para o peso ao jejum (PJ), utilizando a equação: $PJ = 0,9664 * \text{Peso Corporal}^{1,0017}$ (Gionbelli et al., 2016).

A manifestação da puberdade das novilhas foi acompanhada semanalmente por meio de ultrassonografia (US) a partir de 230 kg de peso corporal ou a partir de 10 meses de idade, em casos que não haviam atingido este limiar de peso. A puberdade foi determinada pela presença de um corpo lúteo (CL) no dia da avaliação por US. Este manejo ocorreu juntamente aos manejos das pesagens e as novilhas permaneceram neste esquema até a puberdade, que compreendia o final do período experimental para a novilha. Ou seja, após se tornar púbere, a novilha foi retirada do experimento.

Foram colhidas amostras de sangue aos 3, 5, 7, 10 e 12 meses, para determinação de IGF-1 e insulina no soro. Todas as amostras de sangue para dosagem de IGF-1 e insulina foram coletadas por venopunção da coccígea média com tubo não heparinizado (Vacutainer) e foram centrifugadas a 3.000 RPM por 10 minutos para a separação do soro. Em seguida, foram armazenados em tubos tipo *ependorf* e posteriormente congelados em freezer a -18°C. As concentrações de IGF-1 e insulina foram determinadas por quimioluminescência automatizada com o auxílio de kits comerciais de IMMULITE® 1000 (Siemens Healthcare Diagnostics), em que os coeficientes de variação dentro do ensaio de IGF-1 foram de 1,8% e 3,9% para os ajustes baixo e alto, respectivamente, e a sensibilidade foi 20 ng/ml. Para insulina, os coeficientes de variação dentro do ensaio foram de 1,6% e 4,6% para os ajustes baixo e alto, respectivamente, e a sensibilidade foi 2 µUI/ml.

No delineamento experimental, as novilhas foram bloqueadas em função do peso e distribuídas em função da idade. O peso inicial foi testado para covariável, mas por não haver efeito significativo não foi incluído no modelo. O arranjo de tratamentos foi em esquema fatorial 2 x 2. Cada novilha representou uma unidade experimental para as variáveis de idade, peso, GMD, ECC e parâmetros de puberdade. Baías foram consideradas unidades experimentais para avaliação de CMS e EA. As variáveis contínuas foram analisadas pelo procedimento MIXED, sendo que as variáveis dos

parâmetros sanguíneos foram analisadas como medidas repetidas no tempo; a idade e puberdade foi avaliada por curvas de sobrevivência pelo procedimento LIFETEST; e a variável Puberdade, com distribuição binomial foi analisada pelo procedimento GLIMMIX, ambos os procedimentos do pacote estatístico SAS 9.3, considerando efeito significativo quando valor $P \leq 0,05$ e tendência quando $0,06 \leq P < 0,10$.

Resultados

As novilhas foram desmamadas precocemente para este estudo, a idade inicial e o peso inicial médios foram de $102 \pm 4,3$ dias e $103 \pm 4,7$ kg (Tabela 3). Os resultados não mostraram interação entre os fatores Ritmo de Ganho e DEP nas variáveis idade, peso e GMD em nenhum dos períodos estudados. Como esperado, as novilhas submetidas ao tratamento GA tiveram maior GMD no período 1 em relação às novilhas submetidas a GM ($P < 0,0001$). Como consequência, houve efeito significativo no peso aos sete meses de idade, em relação ao fator Ritmo de Ganho ($P = 0,002$) em que as novilhas submetidas a GA foram mais pesadas que as do GM. Devido à diferenciação na oferta de dieta no período 1, também houve efeito do Ritmo de Ganho ($P < 0,0001$) no CMS, sendo que as novilhas submetidas a GM consumiram 68% do total consumido pelas novilhas do tratamento GA. Houve interação entre Ritmo de Ganho e DEP (G*D) para CMS ($P = 0,02$), todavia essa interação é justificada pela oferta restrita ao tratamento GM. A restrição dietética fez com que houvesse tendência ($P = 0,06$) para maior EA para as novilhas do tratamento GM no período 1.

Houve diferença entre os pesos iniciais ($P = 0,002$) em relação ao fator DEP, entretanto, por ser um fator genético imutável, inerente ao touro, não foi possível distribuir igualmente os pesos iniciais por não ser possível mudar a novilha de tratamento em relação ao fator DEP, que está compreendido em sua genealogia. Além disso, esta variável foi analisada como covariável, como citado anteriormente. Em relação a esse fator, não houve efeito no GMD, CMS e EA no período 1. Houve efeito no peso ao fim do período 1 ($P = 0,02$), em que as novilhas DP foram mais pesadas que as novilhas DN.

Tabela 3. Desempenho nutricional e reprodutivo de novilhas Angus x Nelore submetidas a cada tratamento, até os 15 meses de idade.

	GA		GM		G	D	G*D
	DP	DN	DP	DN			
Novilhas (n)	14	16	16	14			
Idade inicial (d)	108,21±4,42	100,31±4,13	102,00±4,13	97,00±4,42	0,27	0,14	0,74
Peso inicial (kg)	112,29±4,85	93,81±4,54	109,50±4,54	97,50±4,85	0,92	0,002	0,49
Peso aos 7 meses (kg)	218,93±7,59	194,13±7,10	186,56±7,10	177,36±7,59	0,002	0,02	0,29
Peso à puberdade (kg)	333,00±9,22	303,00±10,52	342,69±9,22	295,00±11,76	0,93	0,0005	0,39
Idade à puberdade (d)	336,38±11,20	327,70±12,77	357,08±11,20	330,25±14,27	0,36	0,16	0,47
ECC à puberdade (1-9)	7,46±0,21	7,50±0,23	7,31±0,21	7,25±0,26	0,38	0,97	0,83
Púberes aos 15 meses (%)	93	62	81	57	0,36	0,03	0,54
Peso não púberes (kg)	464,00±0,00	341,83±35,75	416,00±45,71	335,47±69,30	-	-	-
<i>Período 1</i>							
GMD (kg)	1,01±0,05	0,87±0,05	0,72±0,05	0,70±0,05	<,0001	0,13	0,26
CMS (kg)	4,72±0,11	4,30±0,10	3,02±0,10	3,10±0,11	<,0001	0,11	0,02
EA	0,21±0,01	0,20±0,01	0,24±0,01	0,22±0,01	0,06	0,29	0,90
<i>Período 2</i>							
GMD (kg)	0,92±0,05	0,87±0,05	1,06±0,05	0,92±0,05	0,05	0,07	0,36
CMS (kg)	6,69±0,28	6,08±0,27	6,96±0,27	6,33±0,28	0,36	0,03	0,97
EA	0,14±0,01	0,15±0,01	0,15±0,01	0,15±0,01	0,15	0,48	0,57

Valores médios ± desvio padrão;

ECC: Escore de Condição Corporal; GMD: Ganho Médio Diário; CMS: Consumo de matéria seca; G: Efeitos principais do Fator 1 = Ritmo de Ganho; D: Efeitos principais do Fator 2 = DEP do touro; G*D: Interação entre G e D;

No período 2, quando a oferta da dieta para ambos os fatores de tratamento foi *ad libitum*, houve efeito do Ritmo de Ganho sobre o GMD ($P = 0,05$) em que as novilhas do tratamento GM foram superiores às novilhas do tratamento GA. Além disso, considerando o fator DEP, houve tendência de maior GMD ($P = 0,07$) e efeito positivo no maior CMS ($P = 0,03$) para as novilhas DP. Analisando os fatores separadamente após o fim da restrição nutricional do período 1, é possível observar o efeito de ganho compensatório parcial para o fator DEP (Figura 2) e ganho compensatório total para o fator Ritmo de Ganho sobre o peso das novilhas na puberdade (Figura 3).

Figura 2. Efeito do ganho compensatório no fator DEP.

*: $P = 0,02$; **: $P = 0,002$; ***: $P = 0,0005$. DN = DEP Negativa; DP = DEP Positiva.

Ao avaliarmos o CMS, GMD e EA nos períodos 1 e 2, das novilhas púberes e não púberes, é possível perceber que a maior influência nutricional ocorreu após o 7º mês de idade, visto que o CMS ($P = 0,002$) e o GMD ($P = 0,04$), no período 2, foram significativos para antecipar a puberdade (Tabela 4).

Figura 3. Efeito do ganho compensatório no fator Ritmo de Ganho.

*: $P = 0,002$. GA= Alto GMD; GM = Médio GMD.

Tabela 4. Efeito do CMS, GMD e EA , nos períodos 1 e 2, na puberdade de novilhas Angus x Nelore.

	Não púberes	Púberes	Valor de P
<i>Período 1</i>			
CMS	3,57±0,21	3,85±0,13	0,25
GMD	0,74±0,06	0,85±0,03	0,09
EA	0,21±0,01	0,22±0,01	0,26
<i>Período 2</i>			
CMS	5,87±0,25	6,78±0,15	0,002
GMD	0,86±0,05	0,98±0,03	0,04
EA	0,16±0,01	0,14±0,01	0,18

Valores médios ± desvio padrão;

CMS = Consumo de Matéria Seca; GMD = Ganho Médio Diário; EA = Eficiência Alimentar.

A idade média e o peso médio para o aparecimento da puberdade foram de 338 ± 12 dias e 318 ± 10 kg, respectivamente, e o ECC na puberdade foi alto ($> 7,25$). Não houve diferença de Ritmo de Ganho para essas variáveis, entretanto, houve efeito da DEP para peso à puberdade ($P = 0,0005$), em que as novilhas filhas de touros com DEP Positiva foram 39 kg mais pesadas que as novilhas de touros com DEP Negativa para CE. No final do experimento, as taxas de puberdade aos 15 meses foram $GADP = 93\%$, $GMDP = 81\%$, $GADN = 63\%$ e $GMDN = 57\%$. Não houve efeito do Ritmo de Ganho ($P = 0,36$; Figura 4), entretanto, houve efeito da DEP do touro ($P = 0,03$) em que os tratamentos DP apresentaram maior porcentagem de novilhas púberes aos 15 meses (Figura 5). Interessantemente, no final do mês de abril e durante o mês de maio (de 13 a 15 meses de idade), nenhuma novilha

atingiu a puberdade, apesar de suficiente peso e idade. Além disso, pode-se observar a distribuição do aparecimento da puberdade ao longo de 5 meses (do 8º ao 13º mês de idade).

Figura 4. Taxa de puberdade em relação ao fator Ritmo de Ganho.
GA= Alto GMD; GM = Médio GMD.

Figura 5. Taxa de puberdade em relação à DEP do touro.
DN = DEP Negativa; DP = DEP Positiva.

As concentrações séricas médias de IGF-1 e insulina não diferiram entre os tratamentos, entretanto, houve uma tendência para maiores concentrações de insulina para novilhas do tratamento DP (Tabela 5). Houve interação G*D ($P = 0,05$) na qual novilhas do tratamento GMDN apresentaram menores concentrações séricas médias em relação ao tratamento GMDP.

Tabela 5. Concentrações séricas médias de IGF-1 e insulina em novilhas cruzadas submetidas a Alto GMD (GA) ou Médio GMD (GM) e DEP Positiva (DP) ou Negativa (DN).

	GA		GM		G	D	G*D	Idade	G*D*I
	DP	DN	DP	DN					
IGF-1 (ng/mL)	83,1 ± 8,0	74,4 ± 6,2	76,2 ± 6,0	65,9 ± 6,6	0,26	0,16	0,91	<0,0001	0,72
Insulina (μUI/mL)	12,2 ± 2,0	12,4 ± 1,6	15,7 ± 1,6	9,1 ± 1,7	0,96	0,07	0,05	0,05	0,05

Valores médios ± desvio padrão;

G: Fator 1 = GMD no período 1; D: Fator 2 = DEP do touro progenitor; G*D: Interação entre G e D; G*D*I: Interação entre G, D e Idade.

Houve efeito de idade para IGF-1 ($P < 0,0001$), em que o pico de concentração deste hormônio ocorreu no sétimo mês de idade em ambos os tratamentos (Figura 6).

Figura 6. Concentrações séricas de IGF-1 ao longo do tempo.

Tratamentos: GADP = Alto GMD e DEP Positiva; GADN= Alto GMD e DEP Negativa; GMDP = Médio GMD e DEP Positiva; GMDN = Médio GMD e DEP Negativa.

Também houve efeito de idade ($P = 0,05$) e interação G*D*I para insulina ($P = 0,05$), em que as novilhas do tratamento GADP tiveram menor variação nas concentrações séricas ao longo do tempo, as novilhas do tratamento GADN tiveram redução significativa após o sétimo mês de idade com posterior elevação, enquanto as novilhas dos tratamentos GMDP e

GMDN oscilaram, com redução no quinto mês de vida (restrição alimentar), seguido por um aumento no sétimo mês (realimentação), redução no décimo mês e aumento no 12º mês para as novilhas do GMDP e ligeira queda para as novilhas do GMDN (Figura 7).

Figura 7. Concentrações séricas de insulina ao longo do tempo.

Tratamentos: GADP = Alto GMD e DEP Positiva; GADN= Alto GMD e DEP Negativa; GMDP = Médio GMD e DEP Positiva; GMDN = Médio GMD e DEP Negativa.

Discussão

Assim como relatado por Arije e Wiltbank (1974), a importância da idade mínima e do peso mínimos para o aparecimento da puberdade foi mais uma vez evidenciada no presente estudo. Aos 15 meses de idade, 73% das novilhas atingiram a puberdade, confirmando que em boa condição nutricional (GA ou GM), o cruzamento Angus x Nelore pode afetar positivamente a idade à puberdade no rebanho, provavelmente devido à heterose. Em termos comparativos, a idade à puberdade das novilhas estudadas se aproximou mais da raça Angus, que atingem a puberdade precoce por volta dos 9 meses sob elevado manejo nutricional (GASSER et al. 2006a; GASSER et al. 2006b; GASSER et al. 2006c), do que da raça Nelore, que são mais tardias (22 a 36 meses), ainda que submetidas a boas condições nutricionais e seleção genética (14 a 18 meses; NOGUEIRA, 2004; FERRAZ et al, 2018). Nesse contexto, o valor de DEP para precocidade sexual em novilhas cruzadas pode estar

sendo subestimado. Os valores esperados para a progênie em vacas Angus são provavelmente diferentes em vacas Nelore, sendo que a influência do touro Angus na precocidade da progênie cruzada (Angus x Nelore) deve ter efeito mais impactante do que em novilhas puras, cuja genética já é mais precoce. O Centro de Pesquisa de Carne Animal americano (MARC) divulga anualmente tabelas de correção de DEP para utilização de touros em matrizes de outras raças, entretanto, essa ferramenta ainda não existe no Brasil.

O peso inicial foi diferente para o fator DEP, onde as novilhas do tratamento DN foram mais leves que DP. Ao final do período 1, houve também efeito do fator DEP no peso, entretanto, não podemos inferir que esses resultados são apenas efeito residual da diferença de peso inicial, uma vez que as novilhas de DN, submetidas ao mesmo tratamento para Ritmo de Ganho, obtiveram GMD inferior nas mesmas condições experimentais. Da mesma forma, considerando apenas as novilhas que entraram em puberdade até os 15 meses, o tratamento DN apresentou menor peso a puberdade e menor taxa de puberdade em relação às novilhas do tratamento DP. Apesar de não apresentar valor estatístico, o peso das novilhas não púberes foi numericamente maior para as novilhas do tratamento DP, mostrando que pode haver algum fator genético que correlacione a DEP para precocidade sexual com maior ganho de peso. As DEP para CE e o GMD apresentam correlação positiva, contudo, geralmente são correlações fracas ($< 0,30$; PENA, QUEIROZ e FRIES, 2001). Além disso, alguns trabalhos em gado de corte têm reportado correlações positivas do GMD e CMS com o perímetro escrotal (ARTHUR et al., 2001; FREELY et al., 2016; GUNN e DAHLK, 2016).

Todavia, havendo menor grau de associação entre características de desempenho e precocidade sexual, é possível que a seleção estrita para determinada característica não comprometa a outra (PENA, QUEIROZ e FRIES, 2001). Em nenhum dos trabalhos que mostraram efeito de *Metabolic Imprinting* foi considerado o efeito genético do touro, porém, sabe-se que sobre as mesmas condições genéticas, as novilhas que apresentam maior GMD pré-puberdade, tem a primeira ovulação em idade inferior (MISZURA et al, 2017a; FERRAZ et al, 2018).

No presente trabalho, a diferença do Ritmo de Ganho Alto para o Médio não foi suficiente para demonstrar efeito de *Metabolic Imprinting*. Era esperado que o maior GMD dos três aos sete meses pudesse refletir em uma antecipação da puberdade, entretanto, isso

não ocorreu. Nos trabalhos que foram observados efeitos nutricionais nos primeiros meses de vida de novilhas de corte, o GMD entre as novilhas alimentadas com dietas contento elevado teor de concentrado (90% da dieta total) foi muito maior , comparado com novilhas que receberam dietas com menor teor de concentrado (70% da dieta total) e, consequentemente, as novilhas que ganharam mais peso foram mais precoce (GASSER et al., 2006a; GASSER et al., 2006b).

Uma hipótese para explicar o resultado do presente trabalho é que ambos os Ritmos de Ganho, Alto (0,94 kg) e Médio (0,70 kg), foram suficientes para causar o *Metabolic Imprinting* no período 1. Nossos dados mostraram que todas as novilhas que se tornaram púberes apresentaram boa condição corporal ($ECC \geq 7,25$). A avaliação de ECC é uma importante ferramenta de manejo para monitoramento do *status* nutricional de novilhas, uma vez que pontua o acúmulo de gordura subcutâneo, correlacionado com a idade à puberdade (PERRY, 2016). Segundo Pereira et al. (2017), o acúmulo de gordura subcutânea pode explicar até 54% da variação da idade à puberdade de novilhas cruzadas. Além disso, os dados de concentrações séricas médias de insulina mostram que ambos os tratamentos apresentaram elevado *status* nutricional, uma vez que não houve efeito do fator Ritmo de Ganho para essa variável. Isso pode ser devido à restrição do tipo quantitativa, cujas dietas e teor de concentrado foram os mesmos, o que ocasionou ausência de efeito nutricional na porcentagem de novilhas púberes aos 15 meses. Ferraz et al. (2018) observaram, em novilhas da raça Nelore, efeito positivo do GMD na pré-puberdade quando os ganhos foram superiores a 0,7 kg comparados a ganhos inferiores a 0,3 kg, além da diferente relação concentrado:volumoso (75:25 vs 7:93, respectivamente).

Nos trabalhos supracitados, o GMD foi alterado devido à composição da dieta, havendo restrição nutricional na qualidade da dieta. No presente trabalho, as novilhas do tratamento GM foram submetidas à restrição quantitativa no período 1, alimentadas com dietas de mesma composição nutricional, apenas em menor quantidade. Utilizando a mesma dieta e apenas quantidades diferentes de suplementação, o trabalho de Rodríguez-Sánchez et al. (2015), os GMD foram próximos dos obtidos no presente estudo, e as novilhas que ganharam 0,7 kg até os 6 meses de idade, apresentaram mesmo peso, idade e taxa de puberdade aos 15 meses em relação a novilhas cujo GMD foi alterado para 1,0 kg dos 6

meses até a puberdade. Todavia, esse trabalho também não considerou o efeito genético do touro sobre a puberdade das novilhas

Após o período de restrição alimentar desse estudo, todas as novilhas tiveram acesso *ad libitum* à dieta, havendo efeito de compensação nas novilhas do tratamento GM, no período 2. Complementando a hipótese para a ausência ou inevidente efeito de *Metabolic Imprinting* na taxa de puberdade, é que essa mudança brusca de oferta de dieta casou efeito de ganho compensatório, que é definido pelo crescimento acelerado de ganho de peso após um período de restrição (LAWRENCE e FOWLER, 2012). Cardoso et al (2014) mostraram que o efeito do ganho compensatório pode reduzir a idade à puberdade, entretanto, quando a novilha não sofre restrição no período de desenvolvimento pré-puberdade, o efeito positivo é maior em relação às novilhas que recebem restrição na pré-puberdade. Foi observado que novilhas Hereford x Angus, que tiveram menor taxa de crescimento no inverno, reduziram a idade à puberdade quando submetidas a dietas com elevado teor de amido (53%) por 60 dias antes do início da estação reprodutiva (CICCIOLI et al, 2005). Um experimento em fatorial 2x2, conduzido por Rodríguez-Sánchez et al. (2015) avaliando o ritmo de ganho (0,7 kg vs 1,0 kg) em dois períodos (0 a 6 meses vs 6 meses até a puberdade), mostrou que novilhas que receberam nutrição para Alto GMD nos dois períodos, tiveram a primeira ovulação antecipada em relação às novilhas que tiveram Médio GMD em pelo menos um dos períodos. Porém, aos 15 meses a taxa de puberdade não diferiu entre os tratamentos com GMD próximo de 1,0 kg em algum dos períodos, corroborando com os nossos dados. Além disso, pode ser que para novilhas do grupo genético (Angus x Nelore) a “janela” para a nutrição causar *Metabolic Imprinting* seja posterior ao 7º mês de idade, uma vez que as novilhas que atingiram a puberdade durante o estudo apresentaram maior CMS e GMD no período 2.

Independente do fator Ritmo de Ganho, ou seja, sob as mesmas condições nutricionais, o efeito causado pela DEP mostra que a seleção genética é o diferencial para aumentar a taxa de puberdade precoce de novilhas Angus x Nelore, corroborando com os dados de Ferraz et al. (2018). Ao avaliar o efeito do GMD (0,7 kg vs 0,3 kg) e da DEP para IPP (baixa vs alta) no percentual de novilhas Nelore púberes até os 18 meses, os autores identificaram maior efeito genético do que nutricional, havendo efeito de DEP mesmo quando as novilhas apresentaram o mesmo GMD. Ainda neste trabalho, apenas o tratamento para alto GMD e DEP para Baixa IPP apresentou novilhas púberes aos 18 meses de idade

(62%). Além disso, no trabalho de Grass et al. (1982) não houve interação da raça do touro com as dietas para Alto e Médio GMD (0,85 kg vs 0,50 kg) na idade à puberdade de novilhas *Bos taurus*, indicando que as diferenças na genética não são influenciadas pelo GMD e nível nutricional.

O surgimento da puberdade é um evento multifatorial, envolvendo o SNC e respostas periféricas de diferentes órgãos e tecidos, em que as pesquisas se concentram em identificar os mediadores mais importantes nesse processo. Não foram observadas novilhas entrando em puberdade da metade do mês de abril e durante o mês de maio, coincidindo com o período de outono e aproximação do solstício de inverno. Pode ser que haja efeito de fotoperíodo, que é pouco relatado em bovinos, mas pode influenciar no aparecimento da puberdade (SCHILLO et al., 1992). Tal fato pode ser pouco relatado devido à estação reprodutiva se concentrar no solstício de verão, momento em que as novilhas são avaliadas quanto à puberdade. Todavia, os dados de Ferraz et al. (2018) mostraram uma ausência no aparecimento da puberdade em novilhas Nelore, no período coincidente com o solstício de inverno no hemisfério sul.

Um dos candidatos a mediador nutricional com efeito na puberdade é o IGF-1, que tem capacidade de atuação no SNC e na esteroidogênese. Novilhas de corte desmamadas precocemente e submetidas a dietas com alto teor de concentrado apresentaram concentrações de IGF-1 superiores a 100 ng/mL por volta do 7º mês de idade, assim como no presente trabalho, e além disso, houve aumento na expressão de genes para receptores da família IGF-1 (ALLEN et al., 2012). Até o 7º mês de idade da novilha houve aumento nas concentrações séricas de IGF-1, independente do Ritmo de Ganho ou da DEP, com decréscimo no 10º mês. A média de idade à puberdade dessas novilhas foi de 11 meses, mostrando que o pico de IGF-1 ocorre na fase de pré-puberdade e não na fase de peri-puberdade. Moriel et al. (2018) conseguiram elevar as concentrações de IGF-1 em novilhas pré-púberes que receberam aplicações de BST, porém isso não foi suficiente para antecipar a puberdade das novilhas Nelore.

As concentrações de insulina também não apresentaram efeito do Ritmo de Ganho, contrastando com os resultados de Yelich et al. (1996), em que novilhas taurinas cruzadas que passaram por restrição nutricional (GMD = 0,23 kg) tiveram concentrações séricas

menores que as novilhas que não passaram por restrição nutricional e apresentaram alto GMD (1,36 kg). Allen et al. (2012) registraram aumento nas concentrações de insulina de novilhas cruzadas precocemente desmamadas submetidas à elevado GMD e alto teor de concentrado, comparadas a novilhas que receberam alto teor de forragem e atingiram baixo GMD.

A diferença de GMD imposta pelos Ritmos de Ganho no presente trabalho, talvez não tenha sido suficiente para que houvessem alterações significativas nas concentrações de insulina. Entretanto, os valores médios nas concentrações séricas de insulina no tratamento GMDP podem estar relacionadas também ao maior CMS no segundo período do estudo. No trabalho de Lalman et al. (1993), contrariando sua própria hipótese, o tratamento que apresentou as maiores concentrações de insulina alcançou a puberdade mais tarde. Nos resultados apresentados por Hall et al. (1995), os níveis de insulina aumentaram em novilhas que receberam dietas para Alto GMD (1,00 kg) comparadas às novilhas que receberam dietas para Moderado GMD (0,60 kg), porém não houve efeito do fator raça, reafirmando que as mudanças nas concentrações desse hormônio estão mais relacionadas ao *status* metabólico (ALLEN et al., 2012).

Conclusão

Não foi possível observar efeito de *Metabolic Imprinting* na idade à puberdade de novilhas Angus x Nelore pela diferença no ritmo de GMD dos três aos sete meses de idade, nesse estudo. Nesse sistema de criação, a utilização de genética para precocidade sexual possibilita a restrição alimentar visando economia no custo de produção, sem efeito deletério na taxa de puberdade de novilhas Angus x Nelore.

Com alto e médio ritmos de GMD e dieta com elevado teor de concentrado, a maior influência na antecipação da idade à puberdade é genética, sendo que a DEP para CE de touros precoces foi um critério de seleção efetivo para aumentar a porcentagem de novilhas Angus x Nelore aos 15 meses de idade. Dessa forma, a escolha do sêmen é uma alternativa simples, barata e viável capaz de afetar positivamente a taxa de puberdade no sistema pecuário.

Referências

- ABIEC, 2018. Perfil da pecuária no Brasil. Relatório anual. Disponível em <http://www.abiec.com.br/Sumario.aspx> . Acesso em: 15 de janeiro de 2019.
- ADAIR, L.S., Size at birth predicts age at menarche. *Pediatrics*, v .107, n .4, p .59, 2001.
- ALLEN, C. C.; ALVES, B. R. C.; LI, X.; TEDESCHI, L. O.; ZHOU, H.; PASCHAL, J. C.; RIGGS, P. K.; BRAGA-NETO, U. M.; KEISLER, D. H.; WILLIAMS, G. L.; AMSTALDEN, M. Gene expression in the arcuate nucleus of heifers is affected by controlled intake of high- and low-concentrate diets. *Journal of Animal Science*, v. 90, p. 2222-2232, 2012.
- ALVES, B. R.; CARDOSO, R. C.; PREZOTTO, L. D.; THORSON, J. F.; BEDENBAUGH, M.; SHARPTON, S. M.; AMSTALDEN, M. Elevated body weight gain during the juvenile period alters neuropeptide Y-gonadotropin-releasing hormone circuitry in prepubertal heifers. *Biology of reproduction*, v. 92, n2, 2015.
- AMSTALDEN, M.; GARCIA, M. R.; WILLIAMS, S. W.; STANKO, R. L.; NIZIELSKI, S. E.; MORRISON, C. D.; WILLIAMS, G. L. Leptin gene expression, circulating leptin, and luteinizing hormone pulsatility are acutely responsive to short-term fasting in prepubertal heifers: relationships to circulating insulin and insulin-like growth factor I. *Biology of reproduction*, v. 63, n. 1, p. 127-133, 2000.
- ANDERSON, L.H.; McDOWELL, C.M.; DAY, M.L. Progestin-Induced puberty and secretion of luteinizing hormone in heifers. *Biology of Reproduction*, v. 54, p.1025-1031, 1996.
- ARIJE, G. F.; WILTBANK, J. N. Prediction of Age and Weight at Puberty in Beef Heifers 1. *Journal of Animal Science*, v. 38, n4, p. 803-810, 1974.
- ASBIA. Associação Brasileira de Inseminação Artificial. INDEX ASBIA 2017. p. 37, 2017.
- BARB, C.R.; BARRETT, J.B.;KRAELING, R.R.;RAMPACEK, G.B. Role of leptin in modulating neuroendocrine function: a metabolic link between the brain-pituitary and adipose tissue. *Reproduction in Domestic Animals*, v. 34, p. 111–125, 1999.
- BONAMY, M.; DE IRAOLA, J. J.; BALDO, A.; PRANDO, A.; GIOVAMBATTISTA, G.; MUNILLA, S. Early rather than late scrotal circumference measurements better reflect female precocity in beef cattle. *Livestock Science*, v. 218, p. 79-84, 2018.

- CICCIOLI, N. H.; CHARLES-EDWARDS, S. L.; FLOYD, C.; WETTEMANN, R. P.; PURVIS, H. T.; LUSBY, K. S.; HORN, G. W.; LALMAN, D. L. Incidence of puberty in beef heifers fed high-or low-starch diets for different periods before breeding. 2005.
- COOKE, R. F.; BOHNERT, D. W.; FRANCISCO, C.L.; MARQUES, R. S.; MUELLER, C.J.; KEISLER, D.H. Effects of bovine somatotropin administration on growth, physiological, and reproductive responses of replacement beef heifers. *Journal of Animal Science*, v. 91, n. 6, p. 2894-2901, 2013.
- COOPER, C.; KUH, D.; EGGER, P.; WADSWORTH, M.; BARKER, D. Childhood growth and age at menarche. *Br. Journal Obstetrics Gynaecology* v. 103 n. 8, p. 814–817, 1996.
- DAFTARY, S.S.; GORE, A. C. The hypothalamic insulin-like growth factor-1 receptor and its relationship to gonadotropin-releasing hormones neurones during postnatal development. *Journal of Neuroendocrinology*, v. 16, p.160–169, 2004.
- DAY, M.L.; GASSER, C.L.; GRUM, D.E. PIRES, A.V. Fatores que afetam a idade na puberdade em novilhas de corte. In: PIRES, A. V. (Ed.). *Bovinocultura de corte*. Piracicaba: Fealq, p. 637-652, 2010.
- DAY, M. L. e ANDERSON L. H. Current concepts on the control of puberty in cattle. *Journal of Animal Science*, v. 76(Suppl. 3), p. 1-15, 1998.
- DAY, M.L.; IMAKAWA, K.; WOLFE, P.L.; KITTOCK, R.J.; KINDER, J.E. Endocrine mechanisms of puberty in heifers. Role of hypothalamo-pituitary estradiol receptors in the negative feedback of estradiol on luteinizing hormone secretion. *Biology of Reproduction*, v. 37, p. 1054-1065, 1987.
- DAY, M. L.; IMAKAWA, K.; GARCIA-WINDER, M.; ZALESKY, D. D.; SCHANBACHER, B. D.; KITTOCK, R. J.; KINDER, J. E. Endocrine mechanisms of puberty in heifers: estradiol negative feedback regulation of luteinizing hormone secretion. *Biology of Reproduction*, v. 31, n. 2, p. 332-341, 1984.
- DISKIN M. G.; MACKEY D. R.; ROCHE J. F.; SREENAN J. M.; Effects of nutrition and metabolic status on circulating hormones and follicle development in cattle. *Animal Reproduction Science*. v.78, p. 345-370, 2003.
- DOS SANTOS SILVA, I.; DE STAVOLA, B.L.; MANN, V.; KUH, D.; HARDY, R.; WADSWORTH, M.E. Prenatal factors, childhood growth trajectories and age at menarche. *International Journal of Epidemiology*. v. 31, n. 2, p. 405–412, 2002.
- DUNGER, D. B.; AHMED, M. L.; ONG, K. K. Early and late weight gain and the timing of puberty. *Molecular and Cellular Endocrinology*, v. 254, p. 140-145, 2006.

- ELER, J.P.; FERRAZ, J.B.S.; TEIXEIRA, L.A. Seleção para precocidade sexual em novilhas de corte. In: PIRES, A.V. (Ed.). *Bovinocultura de corte*. Piracicaba: Fealq, p. 801-811, 2010.
- ELER, J. P.; FERRAZ, J. B. S.; BALIEIRO, J. C. C.; MATTOS, E. C.; MOURÃO, G. B. Genetic correlation between heifer pregnancy and scrotal circumference measured at 15 and 18 months of age in Nelore cattle. *Genetics and Molecular Research*, v. 5, n. 4, p. 569-580, 2006.
- ELER, J.P.; SILVA, J.A.; FERRAZ, J.B.S.; DIAS, F.; OLIVEIRA, H.N.; EVANS, J.L.; GOLDEN, B.L. Genetic evaluation of the probability of pregnancy at 14 months for Nelore heifers. *Journal of Animal Science*, v. 80, p. 951-954, 2002.
- EMERICK, L. L.; DIAS, J. C.; GONÇALVES, P. E. M.; MARTINS, J. A. M.; LEITE, T. G.; ANDRADE, V. J.; VALE FILHO, V. R.; *Revista Brasileira de Reprodução Animal*, v.33, n.1, p.11-19, 2009.
- EVANS A. C. O.; CURRIE. W. D.; RAWLINGS. N. C. Effects of naloxone on circulating gonadotrophin concentrations in prepubertal heifers. *Journal of Reproduction and Fertility*, v. 96, p. 847-855, 1992.
- FAJERSSON, P.; BARRADAS, H. V.; ROMAN-PONCE, H.; COOK, R. M. The effects of dietary protein on age and weight at the onset of puberty in Brown Swiss and Zebu heifers in the tropics. *Theriogenology*, v. 35, p. 845-855, 1991.
- FARIA, F. J. C.; FILHO, A. V.; MADALENA, F. E.; JOSAHKIAN, L. A. Pedigree analysis in the Brazilian Zebu breeds. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, v. 126, n. 2, p. 148-153, 2009.
- FERRAZ, J.B.S.; FELÍCIO, P.E. Production systems: an example from Brazil. *Meat Science*, v.84, n. 4, p.238-243, 2010.
- FERRAZ, M. V. C.; PIRES, A. V.; SANTOS, M. H.; SILVA, R. G.; OLIVEIRA, G. B.; POLIZEL, D. M.; BIEHL, M. V.; SARTORI, R.; NOGUEIRA, G. P. A combination of nutrition and genetics is able to reduce age at puberty in Nelore heifers to below 18 months. *Animal*, 12(3), 569-574, 2018.
- FERREIRA, E. M.; FERRAZ JUNIOR, M. V. C.; NEPOMUCENO, D. D.; BIEHL, M. V.; Mendes, C.Q.; PIRES, A. V. Efeito da produção de novilhas à pasto sobre a puberdade. In: Rosane Cláudia Rodrigues; Michelle de Oliveira Parante. (Org.). *SIMPRUPASTO: O uso da ciência e de tecnologias para a mudança de paradigmas*. 1ed. Chapadinha: Edufma, v. 1, p. 128-158, 2012.

- FREETLY, H. C.; KUEHN, L. A.; CUNDIFF L. V. Growth curves of crossbred cows sired by Hereford, Angus, Belgian Blue, Brahman, Boran, and Tuli bulls, and the fraction of mature body weight and height at puberty. *Journal of Animal Science*, v. 89, p. 2373-2379, 2011.
- GALINA, C. S., ARTHUR, G. H. Review of cattle reproduction in the tropics. Part 1. Puberty and age at first calving. *Animal Breeding Abstracts*, v. 57, p. 583 – 590, 1989.
- GARN, S.M.; HASKELL, J.A. Fat and growth during childhood. *Science*, v. 130, p. 1711–1712, 1959.
- GRASS, J. A.; HANSEN, P. J.; RUTLEDGE, J. J.; HAUSER, E. R. Genotype x Environmental Interactions on Reproductive Traits of Bovine Females. I. Age at Puberty as Influenced by Breed, Breed of Sire, Dietary Regimen and Season 1, 2, 3. *Journal of Animal Science*, v. 55, n. 6, p. 1441-1457, 1982.
- GASSER, C. L. JOINT ALPHARMA-BEEF SPECIES SYMPOSIUM: Considerations on puberty in replacement beef heifers 1. *Journal of Animal Science*, v. 91, n. 3, p. 1336-1340, 2013.
- GASSER, C.L.; GRUM, D.E.; MUSSARD, M.L.; FLUHARTY, F.L.; KINDER, J.E.; DAY, M.L. Induction of precocious puberty in heifers I: Enhanced secretion of luteinizing hormone. *Journal of Animal Science*, v. 84, p. 2035-2041, 2006a.
- GASSER, C.L.; BURKE, C.R.; MUSSARD, M.L.; BEHLKE, E.J.; GRUM, D.E.; KINDER, J.E.; DAY, M.L. Induction of precocious puberty in heifers II: advantage ovarian follicular development *Journal of Animal Science*, v. 84, p. 2042-2049, 2006b.
- GASSER, C.L.; BRINDGES, G.A.; MUSSARD, M.L.; GRUM, D.E.; KINDER, J.E.; DAY, M.L. Induction of precocious puberty in heifers III: hastened reduction of estradiol negative feedback on secretion of luteinizing hormone. *Journal of Animal Science*, v. 84, p. 2050-2056, 2006c.
- GASSER, C L.; BEHLKE, E J.; GRUM, D.E.; DAY, M.L. Effect of timing of feeding high concentrate diet on growth and attainment of puberty in early-weaned heifers. *Journal of Animal Science*, n. 84, p. 3118-3122, 2006d.
- GIONBELLI, M. P.; VALADARES FILHO, S. C.; DETMANN, E. Ajuste do peso corporal de bovinos para condições fisiológicas e de alimentação. BR - Corte: tabela brasileira de exigências nutricionais. 3ª edição. Viçosa (MG): UFV, DZO, p. 327, 2016.

- GRAUGNARD, D. E.; BERGER, L. L.; FAULKNER, D.B.; LOOR, J.J. High-starch diets induce precocious adipogenic gene network up-regulation in longissimus lumborum of early-weaned Angus cattle. *British Journal of Nutrition*, v. 103, n. 7, p. 953-963, 2010.
- GREER, R. C.; WHITMAN, R. W.; STAIGMILLER, R. B.; ANDERSON, D. C. Estimating the impact of management decisions on the occurrence of puberty in beef heifers. *Journal of Animal Science*, v. 56, p. 30-39, 1983.
- GOERING, H. K.; P. J. VAN SOEST. Forage Fiber Analysis (Apparatus, Reagents, Procedures and Some Applications). *Agriculture Handbook*. No. 379. Agric. Res. Serv., US Dept. Agric., Washington, DC. 1970
- HALL, J. B.; STAIGMILLER, R. B.; BELLOWS, R. A.; SHORT, R. E.; MOSELEY, W. M.; BELLOWS, S. E. Body composition and metabolic profiles associated with puberty in beef heifers. *Journal of Animal Science*, v. 73, n. 11, p. 3409-3420, 1995.
- HOUSEKNECHT, K. L.; BOGGS, D. L.; CAMPION, D. R.; SARTIN, J. L.; KISER, T. E.; RAMPACEK, G. B.; AMOS, H. E. Effect of dietary energy source and level on serum growth hormone, insulin-like growth factor 1, growth and body composition in beef heifers. *Journal of Animal Science*, v. 66, n. 11, p. 2916-2923, 1988.
- IBELLI, A. M. G.; RIBEIRO, A. R. B.; GIGLIOTI, R.; REGITANO, L. C. A.; ALENCAR, M. M.; CHAGAS, A. C. S.; OLIVEIRA, M. C. S. Resistance of cattle of various genetic groups to the tick *Rhipicephalus microplus* and the relationship with coat traits. *Veterinary Parasitology*, v. 186, n. 3-4, p. 425-430, 2012.
- LAMMOGLIA, M. A.; BELLOWS, R. A.; GRINGS, E. E.; BERGMAN, J. W.; BELLOWS, S. E.; SHORT, R. E.; HALLFORD, D. M.; RANDEL, R. D. Effects of dietary fat and sire breed on puberty, weight, and reproductive traits of F1 beef heifers. *Journal of Animal Science*, v. 78, p. 2244-2252, 2000.
- LAWRENCE, T. L. J.; FOWLER, V. R.; NOVAKOFSKI, J. E. (2012). *Growth of farm animals*. CABI. 2012.
- LUCAS, A. Programming by early nutrition in man. In: *Ciba Foundation Symposium, The childhood environment and adult disease*, n. 156 p. 38-50, 1991.
- LUCY M.C. Regulation of ovarian follicular growth by somatotropin and insulin-like growth factors in cattle. *Journal of Dairy Science*, v. 7, n. 83, p. 1635-1647, 2000.
- MARTIN, L. C.; BRINKS, J. S.; BOURDON, R. M.; CUNDIFF, L. V. Genetic effects on beef heifer puberty and subsequent reproduction. *Journal of Animal Science*, 70(12), 4006-4017. 1992.

- MILLS, J.L.; SHIONO, P.H.; SHAPIRO, L.R.; CRAWFORD, P.B.; RHOADS, G.G.; Early growth predicts timing of puberty in boys: results of a 14-year nutrition and growth study. *The Journal of Pediatrics*. v. 109, n. 3, p. 543–547, 1986.
- MISZURA, A. A.; FERRAZ JUNIOR, M. V. C.; POLIZEL, D. M.; BARROSO, J. P. R.; GOBATO, L. G. M.; OLIVEIRA, G. B.; BERTOLONI, A. V.; PIRES, A. V. ESTRATÉGIAS PARA ANTECIPAR A PUBERDADE DE NOVILHAS NELORE. In: *Novos desafios da pesquisa em nutrição e produção animal*. 1ed. Pirassununga: 5d, v. 1, p. 28-44, 2017a
- MISZURA, A. A.; FERRAZ, M. C; POLIZEL, D. M.; OLIVEIRA, G. B.; BERTOLONI, A. V.; BARROSO, J. P. R.; PIRES, A. V. Effect of compensatory growth on puberty of Nellore heifers. *Journal of Animal Science*, n. 95(suppl_4; 311), p. -154, 2017b.
- MORAN, C.; QUIRKE, J. F.; ROCHE, J. F. Puberty in heifers: a review. *Animal Reproduction Science*, v. 18, n. 1-3, p. 167-182, 1989.
- MORIEL, P.; JOHNSON, S. E.; VENDRAMINI, J. M. B.; MERCADANTE, V. R. G.; HERSOM, M. J.; ARTHINGTON, J. D. Effects of calf weaning age and subsequent management system on growth and reproductive performance of beef heifers. *Journal of Animal Science*, v. 92, n. 7, p. 3096-3107, 2014.
- NEGUSSIE, B. E.; BRÄNNÄNG, E.; ROTTMANN, O. J. Reproductive performance and herd life of dairy cattle at Asella livestock farm, Arsi, Ethiopia. II: Crossbreds with 50, 75 and 87.5% European inheritance. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, v. 116, n3, p. 225-234.
- NEPOMUCENO, D. D.; PIRES, A. V.; JUNIOR, M. V. F.; BIEHL, M. V.; GONÇALVES, J. R.; MOREIRA, E. M.; DAY, M. L. Effect of pre-partum dam supplementation, creep-feeding and post-weaning feedlot on age at puberty in Nellore heifers. *Livestock Science*, v. 195, p. 58-62, 2017.
- NEPOMUCENO, D.D. Efeito do manejo nutricional sobre a maturação do eixo reprodutivo somatotrófico no início da puberdade de novilhas Nelore. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.
- NOGUEIRA, G.P. Puberty in South American *Bos indicus* (Zebu) cattle. *Animal Reproduction Science*, v. 82–83, p. 361–372. 2004.
- NOGUEIRA, G. P.; DE LUCIA, R. F. S.; PEREIRA, F. V.; CIRILO, P.D. Precocious fertility in Nelore heifers. *Biology of Reproduction*, v. 68 (Suppl 1), p. 382, 2003.

- NUNEZ-DOMINGUEZ, R.; CUNDIFF, L. V.; DICKERSON, G. E.; GREGORY K. E and KOCH, R. M. Lifetime production of beef heifers calving first at two vs three years of age. *Journal of Animal Science*, v. 69, p. 3467-3479, 1991.
- OLIVEIRA, M. C. S.; ALENCAR, M. D.; CHAGAS, A. C. S.; GIGLIOTI, R.; OLIVEIRA, H. N. D. Gastrointestinal nematode infection in beef cattle of different genetic groups in Brazil. *Veterinary Parasitology*, v. 166 n .3-4, p. 249-254, 2009.
- OJEDA, SERGIO R.; SKINNER, MICHAEL K. Puberty in the rat. In: Knobil and Neill's physiology of reproduction. Elsevier Inc., 2006.
- OYEDIPE, E. O.; OSORI, D. I. K.; AKEREJOLA, O.; SAROR, D. Effect of level of nutrition on onset of puberty and conception rate of Zebu heifers. *Theriogenology*, Philadelphia. 18, p. 525-539, 1982.
- PATTERSON D. J.; PERRY R. C.; KIRACOFÉ G. H.; BELLOWS R. A.; STAIGMILLER R. B.; CORAH L. R. Management considerations in heifer development and puberty. *Journal Animal Science* v. 70, p. 4018–35, 1992.
- PERRY, G. A. PHYSIOLOGY AND ENDOCRINOLOGY SYMPOSIUM: Harnessing basic knowledge of factors controlling puberty to improve synchronization of estrus and fertility in heifers 1. *Journal of Animal Science*, v. 90, n .4, p .1172-1182, 2012.
- PERRY, G. A. Factors affecting puberty in replacement beef heifers. *Theriogenology*, v. 86, n. 1, p. 373–378, 2016.
- RAWLINGS, N. C.; EVANS, A. C. O.; HONARAMOOZ, A.; BARTLEWSKI, P. M. Antral follicle growth and endocrine changes in prepubertal cattle. sheep and goats. *Animal Reproduction Science*, v. 78, p. 259-270, 2003.
- RESTLE, J., POLLI, V. A., DE SENNA, D. B. Efeito de grupo genético e heterose sobre a idade e peso à puberdade e sobre o desempenho reprodutivo de novilhas de corte. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, n. 4, v. 34, p. 701 – 707, 1999
- RODRIGUES, A. D. P.; PERES, R. F. G.; LEMES, A. P.; MARTINS, T.; PEREIRA, M. H. C.; CARVALHO, E. R.; DAY, M.L.; VASCONCELOS, J. L. M. Effect of interval from induction of puberty to initiation of a timed AI protocol on pregnancy rate in Nellore heifers. *Theriogenology*, v. 82, n. 5, p. 760-766, 2014.
- RODRÍGUEZ-SÁNCHEZ, J. A.; SANZ, A.; TAMANINI, C.; CASASÚS, I. Metabolic, endocrine, and reproductive responses of beef heifers submitted to different growth strategies during the lactation and rearing periods1. *Journal of Animal Science*, v. 93, n.8, p. 3871–3885, 2015.

- SCHAMS, D.; SCHALLENBERGER, E.; GOMBE, S.; KARG H. Endocrine patterns associated with puberty in male and female cattle. *Journal of Reproductive and Fertility Supplement*, v. 1, n. 30, p. 103 – 110, 1981.
- SCHEFFLER, J. M.; MCCANN, M. A.; GREINER, S. P.; JIANG, H., HANIGAN; M. D., BRIDGES; G. A.; LAKE, S. L.; GERRARD, D. E. Early metabolic imprinting events increase marbling scores in fed cattle. *Journal of Animal Science*, v. 92, n. 1, p. 320-324, 2014.
- SCHILLO, K. K.; HALL, J. B.; HILEMAN, S M. Effects of nutrition and season on the onset of puberty in the beef heifer. *Journal of Animal Science*, v. 70, n. 12, p. 3994-4005, 1992.
- SCHILLO, K. K.; HANSEN, P. J.; KAMWANJA, L. A.; DIERSCHKE, D. J.; HAUSER, E. R. Influence of season on sexual development in heifers: age at puberty as related to growth and serum concentrations of gonadotropins. prolactina. thyroxine and progesterone. *Biology of Reproduction*, v. 28, p. 329-341, 1983.
- SILVA, J.A.V.; DIAS, L.T.; ALBUQUERQUE, L.G. Estudo genético da precocidade sexual de novilhas em um rebanho Nelore. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 34, n. 5, p. 1568-1572, 2005.
- VAN SOEST, P. J.; ROBERTSON J. B., LEWIS B. A. Symposium: carbohydrate methodology, metabolism, and nutritional implications in dairy cattle: methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal Dairy Science*. v. 74, p.3583-3597, 1991.
- WENCESLAU, A. A.; DE OLIVEIRA, G. A.; CARVALHO, F. S.; SOBRAL, G. R. Desempenho de novilhos Nelore e F1 (Red Angus x Nelore) criados a pasto no sul da Bahia. *Boletim de Indústria Animal*, v. 67, n. 2, p. 109-113, 2010.
- WILLIAMS, G.L.; AMSTALDEN, M.; GARCIA, M.R.; STANKO, R.L.; NIZIELSKI S.E.; MORRISON, C.D.; KEISLER, D. H. Leptin and its role in the central regulation of reproduction in cattle. *Domestic Animal Endocrinology*, v. 23, p. 339-349, 2002.
- WILTBANK, J. N.; ROBERTS, S., NIX, J.; ROWDEN, L. Reproductive performance and profitability of heifers fed to weigh 272 or 318 kg at the start of the first breeding season. *Journal of Animal Science*, v. 60, p. 25-34, 1985.
- YELICH J.V.; WETTEMANN R.P.; MARSTON T.T.; SPICER L.J. Luteinizing Hormone, Growth Hormone, Insulin-Like Growth Factor-I, Insulin and metabolites before puberty in heifers fed to gain at two rates. *Domestic Animal Endocrinology*, v. 13, n. 4, p. 325-338, 1996.