

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

**RELAÇÃO ENTRE MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ALIMENTAR COM O
DESEMPENHO EM REBANHO HEREFORD COM GRAUS DE
CONSANGUINIDADE**

Marcela Kuczynski da Rocha

**Porto Alegre, RS
2022**

Marcela Kuczynski da Rocha

**RELAÇÃO ENTRE MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ALIMENTAR COM O
DESEMPENHO EM REBANHO HEREFORD COM GRAUS DE
CONSANGUINIDADE**

Tese apresentada como requisito para obtenção do Grau de Doutora em Zootecnia, na Faculdade de Agronomia, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Orientador: Júlio Otávio Jardim Barcellos

Coorientador: Darrin L. Boss

Porto Alegre, RS

2022

CIP - Catalogação na Publicação

Rocha, Marcela Kuczynski da
Relação entre medidas de eficiência alimentar com o
desempenho em rebanho Hereford com graus de
consanguinidade / Marcela Kuczynski da Rocha. --
2022.
82 f.
Orientador: Júlio Otávio Jardim Barcellos.

Coorientador: Darrin Boss.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de
Pós-Graduação em Zootecnia, Porto Alegre, BR-RS, 2022.

1. Endogamia. 2. Rabanho Hereford. 3. Desempenho.
4. Eficiência alimentar. I. Barcellos, Júlio Otávio
Jardim, orient. II. Boss, Darrin, coorient. III.
Título.

Marcela Kuczynski da Rocha
Mestre em Zootecnia

TESE

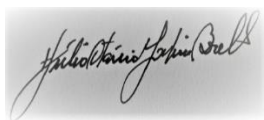
Submetida como parte dos requisitos
para obtenção do Grau de

DOCTORA EM ZOOTECCNIA

Programa de Pós-Graduação em Zootecnia
Faculdade de Agronomia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovada em: 07.06.2022
Pela Banca Examinadora

Homologado em: 05/07/2022
Por



JÚLIO OTÁVIO JARDIM BARCELLOS
PPG Zootecnia/UFRGS
Orientador



SERGIO LUIZ VIEIRA
Coordenador do Programa de
Pós-Graduação em Zootecnia



Cássio Cassal Brauner
UFPel



Concepta Margaret Mcmanus Pimentel
UNB



Dari Celestino Alves Filho
UFSM



CARLOS ALBERTO BISSANI
Diretor da Faculdade de Agronomia

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, pelo apoio, amor incondicional e paciência nos meus momentos de ausência. Por me darem o privilégio de ser filha de vocês, meus maiores exemplos de vida, do que é ter garra e correr atrás do que se quer. Por acreditarem em mim e no meu trabalho, mas principalmente, por me ensinarem a amar, admirar e respeitar o campo, e ter vontade de nele permanecer.

A minha irmã Rafaela, que é o meu porto seguro e onde sempre encontro conforto. Pelo amor, amizade e companheirismo. És meu exemplo de determinação.

Ao Rafael, pelo companheirismo, por acreditar em mim e no meu potencial quando nem eu mesma acredito. Pelo suporte durante esse período, pela paciência quando preciso e pelo amor sempre!

Aos meus avós, Raquel e Saul, pelo amor, apoio, emoção e interesse nas minhas atividades.

Ao meu orientador Júlio Otávio Jardim Barcellos, pela confiança e principalmente por todos os ensinamentos, sobre pecuária, pelo apoio em todas as horas, e pelas oportunidades que me proporcionou.

Ao NESPro, pelas amizades, apoio e por todo o conhecimento adquirido em conjunto.

A toda Montana State University e Northern Agricultural Research Center, por me receber e proporcionar o período sanduíche. Em especial, agradeço ao meu coorientador Darrin Boss, minha supervisora de campo Julia Dafoe e aos amigos Roger, Cory, Cole, Emi, Kyla, Tyler, Peggy e Raul, pelo suporte no desenvolvimento do trabalho e pelos bons momentos vividos durante a minha estadia em Montana.

A Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em especial, ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia pela oportunidade de realização do doutorado em uma instituição altamente qualificada. Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos.

Gratidão a todos vocês!

Relação entre medidas de eficiência alimentar com o desempenho em rebanho Hereford com graus de consanguinidade¹

Resumo

Este estudo avaliou os efeitos da endogamia no desempenho, eficiência alimentar e características reprodutivas de um rebanho Hereford – Linhagem 4, fechado desde 1976, com diferentes graus de consanguinidade. Os dados foram coletados, nas fêmeas, durante sete anos (2012 a 2018), usando informações de 198 novilhas do nascimento até o primeiro parto, para percentual de consanguinidade (CONS), dados de nascimento das novilhas (vigor ao nascimento (VIG) e peso ao nascimento (PN)), performance (peso a desmama (PD), peso da matriz ao desmame (PDMAT), escore de condição corporal da vaca ao desmame (ECC), peso ao ano (PA), peso ao acasalamento (MW) e taxa de concepção (TC)), eficiência alimentar após a desmama (consumo de matéria seca (DMI), ganho médio diário (ADG) e consumo alimentar residual (CAR)), e dados da parição (área pélvica (AP) e facilidade de parto da novilha (CDIF)). Nos machos, os dados foram obtidos de oito anos (2012 a 2019), utilizando informações de 137 touros do nascimento até um ano, para percentual de consanguinidade (CONS), dados de nascimento (vigor ao nascimento (VIG) e peso ao nascimento (PN)), performance (peso a desmama (PD) e peso ao ano (PA)), eficiência alimentar após a desmama (consumo de matéria seca (DMI), ganho médio diário (ADG) e consumo alimentar residual (CAR)), e dados do exame andrológico (circunferência escrotal (CE) e percentual de espermatozoides normais). O grau médio de consanguinidade para as novilhas foi de 16,20%, variando de 11,5% a 26,0%, enquanto para os touros foi de 15,73%, com variação de 13,3 a 21,5%. A TC média das novilhas foi 67,51%, variando de 54,84 a 83,33% durante os anos, o peso ao acasalamento das novilhas foi influenciado apenas pelo ano da avaliação ($P < 0,001$) e obteve relação positiva com o peso adulto ($r=0,942$). Nos touros Hereford, o CAR foi afetado pela consanguinidade ($P < 0,05$), variando de -2.722 a 3.30 kg/kg. Para cada 1% de aumento na endogamia, diminui 0,1631cm de circunferência escrotal. A depressão endogâmica teve um pequeno efeito nos parâmetros reprodutivos dos machos, além da eficiência alimentar residual melhorar conforme o aumento da consanguinidade. Nas fêmeas, a endogamia não influenciou o desempenho, eficiência alimentar e características reprodutivas, o ano avaliado foi o principal responsável pelo efeito nessas variáveis avaliadas.

Palavras-chave: bovinos de corte, coeficiente de endogamia, ganho de peso residual, progênie, qualidade seminal

¹Tese de Doutorado em Zootecnia - Produção Animal, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. (81 p.) junho, 2022.

Relationship between feed efficiency measures and performance in Hereford herds with degrees of inbreeding

Abstract

This study evaluated the effects of inbreeding on performance, feed efficiency and reproductive characteristics of a Hereford herd – Line 4, closed since 1976, with different degrees of inbreeding. Data were collected, in females, over seven years (2012 to 2018), using information from 198 heifers from birth to first calving, for inbreeding (CONS), heifer birth data (vigor at birth (VIG) and birth weight (PN)), performance (weaning weight (PD), dam weight at weaning (PDMAT), body condition score at weaning (ECC), year weight (PA), mating weight (MW)) and conception rate (TC)), feed efficiency after weaning (dry matter intake (DMI), average daily gain (ADG) and residual feed intake (CAR)), and calving data (pelvic area (AP) and heifer calving facility (CDIF)). In growing bulls, data were obtained from eight years (2012 to 2019), using information from 137 bulls from birth to one year, for inbreeding (CONS), birth data (vigor at birth (VIG) and birth weight (PN)), performance (weaning weight (PD) and year weight (AP), feed efficiency after weaning (dry matter intake (DMI), average daily gain (ADG) and residual feed intake (CAR)), and breeding soundness traits (scrotal circumference (SC) and percentage of normal sperm. The average degree of inbreeding for heifers was 16.20%, ranging from 11.5% to 26.0%, while for bulls it was 15.73%, with a variation from 13.3 to 21.5%. The average TC of heifers was 67.51%, ranging from 54.84 to 83.33% over the years, mating weight was influenced only by the year of evaluation ($P < 0.001$) and had a positive relationship with adult weight ($r_p = 0.942$). In Hereford bulls, CAR was affected by inbreeding ($P < 0.05$), varying from and -2,722 to 3.30 kg/kg. For every 1% increase in inbreeding, 0.1631 cm of scrotal circumference decreases. Inbreeding depression had a small effect on male reproductive parameters, and residual feed efficiency improved as inbreeding increased. In females, inbreeding did not influence performance, feed efficiency and reproductive traits, the year evaluated was the main responsible for the effect on these variables evaluated.

Keywords: beef cattle, inbreeding coefficient, residual feed intake, offspring, seminal quality

Lista de ilustrações

CAPÍTULO II	26
Figure 1. Relationship between scrotal circumference and inbreeding percentage in young Hereford bulls.....	36
Figure 2. Predicted versus observed feed intake for all bulls tested. Bulls below the line are more efficient than animals above the line.....	37
Figure 3. Comparison of two bulls in the dataset for different values for residual feed intake.....	37
CAPÍTULO III	48
Figura 1. Consumo alimentar predito versus observado. As novilhas abaixo da linha são mais eficientes do que os animais acima da linha.....	56

Lista de Tabelas

CAPÍTULO II.....26

Table 1. Diet ingredients used in eight feeding trials on Line 4 Hereford bulls from the Montana State University (MSU), Northern Agricultural Research Center (NARC).....31

Table 2. Summary statistics of performance, feed efficiency, scrotal circumference (SC), and semen quality traits of growing bulls by inbreeding level from eight trials on Line 4 Hereford bulls from the Montana State University (MSU), Northern Agricultural Research Center (NARC).....33

Table 3. Correlations of variables with factors that contribute to the explanation of the results obtained.....35

Table 4. Chi-squared analysis of breeding soundness exam (BSE) scores of growing bulls with divergent residual feed intake (RFI).....37

CAPÍTULO III.....48

Tabela 1. Ingredientes da dieta utilizados nos sete testes de consumo alimentar residual das novilhas Hereford – Linhagem 4 da Montana State University (MSU), Northern Agricultural Research Center (NARC).....52

Tabela 2. Estatísticas resumidas e médias de desempenho e eficiência alimentar das novilhas avaliadas por ano de nascimento.....54

Tabela 3. Dados de eficiência alimentar por ano e classes das novilhas que emprenharam aos 14 meses.....56

Tabela 4. Coeficientes de correlações de Pearson entre as variáveis analisadas.....58

Lista de Abreviaturas

ADG – *average daily gain*/ganho médio diário

DMI – *dry matter intake*/consumo de matéria seca

CONS – percentual de consanguinidade

VIG – vigor ao nascimento

PN/BW – peso ao nascimento

PD/WW – peso a desmama

PDMAT – peso da matriz ao desmame

ECC/BCS – escore de condição corporal

PA/YW – peso ao ano

MW – peso ao acasalamento

TC – taxa de concepção

CAR – consumo alimentar residual

RFI – *residual feed intake*

AP – área pélvica

CDIF – facilidade de parto

CE – circunferência escrotal (CE)

Sumário

CAPÍTULO I	12
1. Introdução	13
2. Revisão bibliográfica	15
2.1 Endogamia e depressão endogâmica.....	15
2.1.1 Linhagens.....	17
2.1.2 Heterose.....	18
2.1.3 História da Linhagem Hereford 1 e 4.....	19
2.1.3.1 Linhagem 1.....	19
2.1.3.2 Linhagem 4.....	20
2.1.4 Efeitos da endogamia.....	20
2.1.5 Interação endogamia e ambiente.....	21
2.2 Medidas de eficiência alimentar.....	22
2.2.1 Consumo alimentar residual.....	23
3. Hipótese	25
4. Objetivo geral	25
4.1 Objetivos específicos.....	25
CAPÍTULO II	26
CAPÍTULO III	48
CAPÍTULO IV	67
Considerações finais	68
Referências	69
Vita	82

CAPÍTULO I

1. Introdução

A endogamia ou consanguinidade é definida como a probabilidade de que dois alelos em qualquer *locus* sejam idênticos por descendência, e ocorre quando indivíduos que possuem algum ancestral em comum são acasalados. A depressão endogâmica, como resultado da endogamia, refere-se à redução no valor fenotípico médio, relacionados à capacidade reprodutiva ou eficiência fisiológica. A perda da heterozigose e a diminuição da variabilidade genética são consequências das altas taxas de endogamia ao longo das gerações (Falconer e Mackay, 1996).

Os produtores rurais utilizam esse processo para aumentar a porcentagem de homozigotos no rebanho e, portanto, diminuir os heterozigotos. O aumento da homozigosidade pode ser benéfico para consolidar características desejadas (Gipson, 2002; Dai et al., 2015), mas também pode levar à diminuição de algumas características (Khan et al., 2007; Malhado et al., 2013), como desempenho (Queiroz; Albuquerque; Lanzoni, 2000), sobrevivência da vaca e desempenho reprodutivo (Toit; Wyk; Maiwashe, 2012). O coeficiente de endogamia de um indivíduo pode ser medido através de análise de pedigree (Bourdon, 2000) ou marcadores moleculares (Blouin, 2003). Juntamente com a seleção, a endogamia tem sido utilizada para aumentar a uniformidade das principais raças de bovinos de corte.

Uma das formas de selecionar animais é pela eficiência alimentar, através da medição do consumo alimentar residual (CAR), uma vez que esta característica é independente do peso adulto e do ganho de peso (Basarab et al., 2003). O CAR é definido como a diferença entre o consumo de matéria seca observado e o consumo estimado da mesma idade e raça (Schenkel et al., 2004). Um valor de CAR maior indica que o animal tem um consumo maior do que o esperado; ou seja, este animal é menos eficiente. É uma das melhores alternativas para aumentar a eficiência da produção, selecionando animais mais eficientes, que ganham mais peso comendo a mesma quantidade de ração, reduzem os custos de produção e mitigam os impactos ambientais da pecuária. A importância do CAR como ferramenta para a identificação e seleção de animais mais eficientes tem sido destacada (Herd; Archer; Arthur, 2003; Schenkel et al., 2004), bem como a relação entre o CAR e a reprodução (Hafla et al., 2012; Reynolds et al., 2018).

O processo produtivo da bovinocultura de corte fundamenta-se, primariamente, na eficiência reprodutiva dos rebanhos (Hansen e Aréchiga, 2003), sua avaliação desempenha um papel relevante no aumento dos índices de fertilidade do rebanho.

Nos machos, o exame andrológico contribui para selecionar os touros com melhor potencial reprodutivo (Menegassi et al., 2019), enquanto nas fêmeas, o parto é o evento de maior significado em um sistema de produção pela geração de uma nova cria (Neves; Gonçalves; Oliveira, 1999).

Os efeitos da endogamia nas características de produção de bovinos de corte e leite foram bem documentados (Mac-Neil et al., 1989; Smith et al., 1998; Mc Parland et al., 2007^a, Toit; Wyk; Maiwashe, 2012), quando avaliados antes do desmame (Keller e Brinks, 1978), no desempenho ao ano (Nelms e Stratton, 1967) e desempenho reprodutivo da vaca (Gutiérrez-Reinoso; Aponte; García-Herreros, 2020).

Contudo, os estudos sobre os efeitos da depressão endogâmica em populações de bovinos de corte foram conduzidos em períodos de tempo relativamente curtos e pouco se sabe desses efeitos à longo prazo. Portanto, este estudo enfatiza os efeitos da consanguinidade sobre as características de desempenho produtivos, reprodutivos e eficiência alimentar em um rebanho Hereford com diferentes graus de consanguinidade.

2. Revisão bibliográfica

2.1 Endogamia e depressão endogâmica

A endogamia foi utilizada inicialmente como ferramenta para a formação de raças puras no século XVIII, através de técnicas genéticas preconizadas por Bakewell, e pode ser definida como o acasalamento de indivíduos aparentados (Northcutt; Buchanan; Clutter, 2004), porém, essencialmente todos os indivíduos de uma raça apresentam algum grau de consanguinidade. Portanto, o termo endogamia é geralmente definido como o acasalamento de animais que estão mais intimamente relacionados do que a média da raça (Brinks e Knapp, 1975; Northcutt; Buchanan; Clutter, 2004). Sabe-se que a endogamia pode ter efeitos negativos em todas as espécies de animais domésticos (Burrow, 1993; Kristensen e Sorensen, 2005; Leroy, 2014), resultando em indivíduos recebendo alelos idênticos de cada um de seus pais. Se os pais são parentes, é mais provável que tenham alelos idênticos e há uma chance maior de que seus filhos recebam esses alelos. Essa situação seria ideal se os alelos recebidos levassem a um desempenho superior, no entanto, a maioria dos animais carrega alelos indesejáveis que geralmente estão ocultos, a menos que o animal seja homozigoto para os alelos em um gene específico. Um indivíduo consanguíneo tem maior probabilidade de ter um genótipo homozigoto; portanto, eles são mais propensos a expressar alelos indesejáveis, resultando em características fenotípicas indesejáveis (Northcutt; Buchanan; Clutter, 2004).

A medida mais comum de endogamia é baseada no pedigree e é medida pelo coeficiente de endogamia (Bourdon, 2000), desenvolvido por Wright (1922), que é definido como a probabilidade de que em qualquer *locus*, dois alelos em um indivíduo sejam idênticos por descendência (Falconer e Mackay, 1996). Falconer e Mackay (1996) definem idênticos por descendência como dois alelos originados da replicação de um único gene em uma geração anterior. Um conceito relacionado é a identidade por estado, que pode ser definida como genes que são fisicamente idênticos, mas não derivam do mesmo cromossomo ancestral (Elandt-Johnson, 1971). A identidade por estado é usada em referência à endogamia molecular e coancestria, enquanto o idêntico por descendência é usado em referência à endogamia genealógica e coancestria (Saura et al., 2013).

A endogamia por si só não cria genes recessivos indesejáveis, mas tende a melhorar genótipos desfavoráveis. Isso leva à depressão por endogamia, ou declínio

no desempenho fenotípico médio, que está bem documentado nas principais espécies de bovinos (Ercanbrack et al. 1991; Rodrigañez et al., 1998; Huang et al., 2012; Martikainen et al., 2017). Em termos da magnitude de como as características de produção são afetadas, a depressão endogâmica tem o maior impacto nas características reprodutivas, seguida pelas características de crescimento, e pouco ou nenhum efeito nas características de carcaça (Dickerson, 1973). Esse padrão é o inverso da magnitude da herdabilidade para essas mesmas características, indicando que a depressão endogâmica é o efeito oposto da heterose.

A depressão por endogamia pode ser explicada por duas hipóteses principais (Kristensen e Sorensen, 2005; Howard et al., 2017). A hipótese de dominância parcial assume que a depressão por endogamia é causada por indivíduos homozigotos que expressam alelos recessivos deletérios. À medida que a endogamia aumenta, a frequência de homozigotos recessivos deletérios, que foram escondidos por heterozigotos, será expressa em uma taxa crescente. A hipótese de superdominância assume que os heterozigotos são superiores aos homozigotos e à medida que a endogamia aumenta, as oportunidades para os heterozigotos serem expressos são reduzidas e superdominadas. Existem mecanismos subjacentes semelhantes relacionados ao grau de dominância nos *loci* com ambas as hipóteses, mas suas implicações a longo prazo são diferentes. Para a hipótese de dominância parcial, alelos desfavoráveis gerados por mutações ao longo do tempo dentro de uma população seriam eliminados com seleção (Kristensen e Sorensen, 2005). Sob a hipótese de superdominância, a seleção favoreceria heterozigotos em múltiplos *loci* e, portanto, mecanismos relacionados à seleção balanceadora manteriam as mutações. Para ambas as hipóteses, espera-se que frequências intermediárias *in loci* contribuam para a depressão endogâmica mais do que *loci* com frequências extremas (Kristensen e Sorensen, 2005).

Uma terceira hipótese para a depressão endogâmica é a epigenética. Vergeer, Wagemaker e Ouborg (2012) descobriram que mudanças na regulação da expressão gênica poderiam possivelmente contribuir para diferenças na aptidão, fenótipo de um indivíduo, genótipo e capacidade de contribuir com descendentes para a próxima geração, bem como o número de descendentes produzidos (Bourdon, 2000), entre descendentes endogâmicos e cruzados. Como o ambiente afeta a expressão gênica, essas diferenças de aptidão são provavelmente identificadas como parte da contribuição ambiental para o fenótipo. A base genética da depressão por endogamia

não se encaixa em cenários de alelos incondicionalmente deletérios; em vez disso, o número de alelos deletérios pode depender das condições ambientais. Um exemplo é quando a metilação é usada para regular a expressão gênica em plantas. Deve-se notar que esses mecanismos epigenéticos podem ser relevantes tanto para a evolução da depressão endogâmica quanto para a manutenção da variação genética nas características de aptidão em populações naturais (Charlesworth e Willis, 2009).

Mais uma vez, a depressão endogâmica é o efeito oposto da heterose ou vigor híbrido (Northcutt; Buchanan; Clutter, 2004), então enquanto a endogamia prejudica alguns traços, a heterose ajuda a torná-los melhores. Tanto a heterose quanto a depressão por endogamia dependem da ocorrência de dominância (Zeng et al., 2013).

A capacidade reprodutiva dos indivíduos aumentou muito com o uso de biotecnologias da reprodução, como a inseminação artificial e a transferência de embriões. Esse aumento do uso permitiu que genéticas superiores fossem utilizadas em vários rebanhos de vários países (Brotherstone e Goddard, 2005), resultando em melhorias genéticas nas populações. A utilização dessas biotecnologias da reprodução faz com que esses animais avaliados como superiores sejam usados várias vezes para reprodução e reduz o número de animais usados como pais, resultando no aumento da endogamia como um todo (Weigel, 2001; Nicholas e Smith, 2010; Granleese e outros, 2015)

2.1.1 Linhagens

Robert Bakewell revolucionou a criação de ovinos e bovinos nos anos 1700, quando lançou as bases para os conceitos de criação de animais que ainda estão sendo utilizadas hoje. Bakewell fundou sua reputação na teoria de “*in-and-in breeding*”, ou a endogamia persistente de animais intimamente relacionados (Wykes, 2004). O cruzamento de linhagens, uma forma mais branda de endogamia, pode ser definida como o acasalamento contínuo de descendentes de animais em particular, evitando relacionamentos através de outros animais tanto quanto possível (Wright, 1939). Esse cruzamento é uma forma de endogamia praticada para preservar características desejáveis de um ancestral superior, aumentando o número de descendentes desse ancestral e minimizando a endogamia de outras características, mantendo as características desejadas (Lush, 2017).

Entre 1934 e 1955, 14 linhagens de gado Hereford foram desenvolvidas no USDA Range Station em Miles City, MT, em um esforço para cumprir a meta de

desenvolver linhagens de gado Hereford reprodutoras. Uma vez que cada linhagem foi estabelecida, as populações foram fechadas e mantidas endogâmicas para produzir linhagens puras (MacNeil, 2009). Essas linhagens de Hereford foram inicialmente desenvolvidas como animais de base, na esperança de usá-las para avaliar a heterose através do cruzamento de linhagens endogâmicas selecionadas (MacNeil, 2009) que foram adaptadas para áreas de cordilheira ocidental, possuindo alta fertilidade e qualidade superior (Black, 1936), no entanto, essa esperança nunca foi cumprida, pois foi substituída pelo cruzamento.

Bakewell criou com sucesso novas raças por cruzamento, através de duas diferentes raças ou linhagens, com o intuito de melhorar a raça de ovelhas Lincoln (Wykes, 2004).

2.1.2 Heterose

Heterose ou vigor híbrido é o fenômeno pelo qual o desempenho dos produtos de cruzamentos é superior ao desempenho médio das raças ou linhagens paternas (Bourdon, 2000). A heterose aproveita a complementaridade racial, ou melhor, há uma melhora no desempenho geral da prole como resultado do acasalamento de indivíduos com valores genéticos diferentes, mas complementares (Bourdon, 2000). A heterose é frequentemente vista quando os pais de raça pura são acasalados para produzir descendentes mestiços, com a expectativa de que a prole supere seus pais com base na média das raças dos pais. O aumento do desempenho resultante da heterose pode ser observado em linhagens puras (Falconer e Mackay, 1996). Verificou-se que a heterose é a recuperação da depressão endogâmica acumulada que ocorreu ao formar linhagens endogâmicas devido à heterose que parece ser o resultado primário dos efeitos de dominância dos genes (Gregory et al., 1994; Pariacote; Van Vleck; Macneil, 1998).

A heterose tem sido estudada em linhagens de bovinos endogâmicos e não endogâmicos para várias características. Anderson et al (1986) analisaram cinco linhas fechadas de Hereford, mas não encontraram nenhuma diferença significativa de heterose para características de carcaça, resultados também encontrados por Kincaid (1962), Gaines et al. (1967), e Long e Gregory (1975) que relataram que as características de carcaça, não diretamente relacionadas ao crescimento, têm pouca evidência de heterose no Angus, Hereford, Shorthorn e seus cruzamentos. Os resultados de cruzar linhagens fechadas dentro de uma raça concordou com muitos

relatos de que as características de crescimento pós-desmame tendem a exibir alguma heterose (Flower et al., 1963; Brinks et al., 1967; Urick et al., 1968; Burfening e Kress, 1973), mas casos limitados de heterose foram importantes para características de carcaça que não foram associadas ao crescimento

2.1.3 História da Linhagem Hereford 1 e 4

2.1.3.1 Linhagem 1

A linhagem 1 foi desenvolvida em 1934 quando dois filhos de Advance Domino 13, Advance Domino 20 e Advance Domino 54, foram adquiridos de Fred C. DeBegrard de Kremmling, CO (MacNeil, 2009; Durham, 2010). Os dois filhos foram então cruzados com 50 vacas compradas, e posteriormente, as filhas de Advance Domino 20 foram cruzadas com Advance Domino 54 e vice-versa (Durham, 2010). A linhagem foi fechada em 1935 e todos os animais são descendentes desses animais de base (MacNeil, 2009). O aumento na endogamia por geração que é normalmente visto em animais criados em linhagens foi reduzido à medida que o rebanho da linhagem 1 aumentou e o acasalamento de indivíduos intimamente relacionados foi evitado. Na década de 1930, essa linhagem foi utilizada para pesquisas com foco em métodos de acompanhamento de desempenho de bovinos de corte, incluindo testes de progênie. O objetivo de criação implícito da linhagem foi o retorno econômico acima dos custos de alimentação provenientes de carcaças de novilho abatidas com peso vivo de 408 kg (MacNeil, 2009). Na década de 1940, o avanço dos estudos de nutrição tornou-se o foco da pesquisa, que levou à decisão ter como base os touros da linhagem 1 no crescimento para um ano de idade (MacNeil, 2009).

Desde que a linhagem Hereford 1 começou, houveram grandes contribuições para a pesquisa na pecuária de corte. Desde 1924, mudou os rumos da indústria da carne bovina e levou ao desenvolvimento de um programa de recorde de produção em Montana até 1936 (Eller, 2007). Na década de 1940, Knapp e Nordskog (1946) e Knapp e Clark (1950) publicaram os primeiros trabalhos sobre estimativas de herdabilidade e Knapp e Clark (1947) publicaram sobre estimativas de correlações genéticas. A genética da linhagem 1 também foi distribuída durante a década de 1940 através da comercialização de touros aos pecuaristas. De acordo com Dickenson (1984), 57% dos touros listados na avaliação da Associação Americana de Hereford deste ano, podem ser atribuídos à linhagem 1, enquanto Leesburg, Macneil e Naser (2014) descobriram que 79% dos touros Hereford registrados de 2006 a 2008 estavam

relacionados à população desta mesma linhagem. Uma melhor compreensão dos efeitos genéticos maternos em bovinos de corte se deve em parte ao trabalho que foi feito com animais desta linhagem (Koch, 1951; Koch e Clark, 1955a; Koch e Clark, 1955b; Brinks et al., 1967; Brinks et al., 1972). Estudos feitos por Woodward e Clark (1950), Burns et al. (1979), Butts et al. (1971), Koger et al (1979), e Pahnish et al. (1983, 1985) apoiaram a ideia de que as interações genótipo por ambiente podem ter maior importância prática do que se pensava anteriormente.

2.1.3.2 Linhagem 4

Em 1962 e 1963, a Montana State University, comprou vacas excedentes da linhagem 1 de Fort Keogh, que se tornaram a base para as fêmeas da linhagem Hereford 4. Essas matrizes foram mantidas pela Northern Agricultural Research Center desde 1962 (Nevins, 1986), este rebanho está fechado desde 1976. De 1976 a 1995, as decisões de seleção para a linhagem 4 foram feitas com base no uso de um índice para peso ao ano ajustado, menos 3,2 vezes o peso ao nascimento ajustado (Nevins, 1986; Rumph et al., 2004). Os critérios de decisão de seleção mudaram para a seleção da circunferência escrotal de 1995 a 2006 (Rumph et al., 2004), e a seleção mais atual é para o aumento de peso ao ano.

2.1.4 Efeitos da endogamia

Em 1989, Smith et al. estudaram dados de 779 novilhas Hereford, Aberdeen Angus e Red Angus e descobriram que um aumento de 1% na endogamia aumentou a idade da puberdade em 0,146 dias, a idade ao primeiro parto em 0,209 dias e a idade ao segundo parto em 0,007 dias. MacNeil et al. (1989) relataram taxas de concepção reduzidas em 0,072%, sobrevivência pré-natal de 0,426%, sobrevivência pós-natal de 0,751% e uma redução no peso ao desmame de 1,355 kg para cada aumento de 1% na endogamia. Além disso, a endogamia tem efeitos negativos nas características reprodutivas dos machos. Touros examinados aos 14 meses, para cada 1% na endogamia, apresentaram redução em 0,03mm de circunferência escrotal, 0,04% de motilidade espermática, 0,14% de espermatozoides normais, aumento de 0,06% e 0,08% para defeitos maiores e menores, respectivamente (Burrow, 1993).

Burrow (1993) também encontrou efeitos negativos no peso ao nascer do bezerro. No geral, para cada 1% de aumento na endogamia, houve uma diminuição

de 0,06 kg no PN, havendo uma depressão maior nas fêmeas do que nos machos. Esses achados foram consistentes com o trabalho de Willis e Wilson (1974), pois observaram uma redução de 0,12 kg no PN para cada aumento de 1% na endogamia. Bezerras Nelore apresentaram menor vigor ao nascimento à medida que a endogamia aumentou (Schmidek et al., 2013).

Efeitos adversos sobre o crescimento dos animais, do nascimento até a maturidade, foram visualizados, para cada aumento de 1% na endogamia, houve uma diminuição de 0,44 kg no peso a desmama e 1,30 kg no peso ao ano (Burrow, 1993). Assim como os estudos de Sumreddee et al. (2019), a depressão endogâmica mostrou que a cada 1% de aumento na consanguinidade, diminui 1,2kg, 2,03kg e 0,004kg/dia em PD, PA e ADG, respectivamente.

A endogamia provocou efeitos benéficos, observados em uma população de caprinos com um coeficiente médio de endogamia de 4,01% (Dai et al., 2015). Os resultados indicaram que em baixos níveis de endogamia, o peso da caxemira e o comprimento da fibra aumentaram. No entanto, o aumento da endogamia teve efeito favorável no diâmetro da fibra, tornando-a mais fina.

O efeito da endogamia na conformação da vaca e desempenho no parto, em termos de distocia, natimorto e gemelaridade é pouco documentado. Adamec et al. (2006) relataram aumento de distocia e natimortos em Holandesas. Há um efeito linear do coeficiente de endogamia na produção de leite, gordura e proteína do leite, resultados dos estudos com várias raças leiteiras, como Pardo Suíço, Holandês e Jersey (Casanova et al., 1992; Thompson et al., 2000). Na raça Gir, Queiroz et al. (1993) também observaram uma diminuição linear na produção de leite. Vacas holandesas com 12,5% de endogamia tiveram a produção de leite, gordura e proteína reduzida em 61,8, 5,3 e 1,2 kg, respectivamente, e as concentrações de gordura e proteína reduzidas em 0,05 e 0,01%, respectivamente (Parland et al., 2007).

2.1.5 Interação entre endogamia e ambiente

As interações entre endogamia e ambiente estão relacionadas à questão da homeostase genética, desenvolvida por Lerner (1954), afirmando que os indivíduos heterozigotos são menos responsivos aos estresses ambientais do que os homozigotos (Leroy, 2014). A capacidade de adaptação às mudanças ambientais são

preocupações crescentes dos produtores rurais, devido às mudanças climáticas (Piling & Hoffmann 2011). Em diferentes partes do mundo, espera-se que o aumento de temperatura associados às mudanças climáticas tenham um impacto significativo na produção animal e sua viabilidade econômica (Mader et al. 2009).

Os estudos mostram que os indivíduos endogâmicos são particularmente sensíveis às mudanças do ambiente. Jiménez et al. (1994) mostrou efeitos mais severos da endogamia na sobrevivência de camundongos em ambiente natural quando comparado ao cativeiro. A meta-análise de Armbruster & Reed (2005) sobre plantas e espécies modelo mostrou, que, ao mudar de um ambiente confortável para um estressante, houve um aumento da depressão endogâmica em 76% dos casos. De fato, a endogamia parece ter impacto na capacidade de manter o fenótipo principal em vários ambientes (Kristensen et al. 2010).

2.2 Medidas de eficiência alimentar

A eficiência alimentar é definida como a quantidade de produto comercializável, seja ele kg de leite, carne, novilhos, bezerros por kg de alimento consumido (Hall, 2003). A utilização do alimento consumido por um animal envolve uma série de processos biológicos e interações com o meio ambiente. Para relacionar o consumo de alimento com a eficiência do sistema de produção, várias medidas de eficiência alimentar foram desenvolvidas e utilizadas, conforme descrito em detalhes por Archer et al. (1999). As medidas podem ser agrupadas em: eficiência bruta, eficiência parcial de crescimento, eficiência de manutenção, eficiência vaca/bezerro e consumo alimentar residual.

Em categorias jovens de bovinos de corte, a eficiência alimentar é geralmente avaliada em relação ao crescimento, e algumas das medidas mais comumente utilizadas são: eficiência parcial de crescimento, conversão alimentar e consumo alimentar residual. As correlações fenotípicas e genéticas entre a maioria dessas medidas de eficiência alimentar são altas. No entanto, existem diferenças entre essas medidas de eficiência alimentar em suas relações com outras características, como características de crescimento, conforme relatado por Arthur et al. (2001).

Quando aumentamos a eficiência alimentar dos sistemas produtivos é possível melhorar as margens de lucro, através do aumento da produção sem elevar os

impactos ambientais (Basarab et al, 2001; Basarab et al, 2003; CRC, 2004). Gibb & McAllister (1999) observaram que a melhora de 5% na eficiência alimentar impactou quatro vezes mais do que o mesmo percentual no ganho diário médio dos animais.

2.2.1 Consumo alimentar residual

Em bovinos de corte, o conceito de consumo alimentar residual foi utilizado pela primeira vez em 1963, por Koch et al. Estes autores estudaram uma série de índices para calcular a eficiência alimentar, os quais reconheceram que as diferenças tanto no peso de manutenção quanto no ganho de peso afetam as necessidades alimentares de bovinos em crescimento.

Koch et al. (1963) sugeriram que o consumo da dieta pode ser ajustado para o peso corporal e ganho de peso, ou qualquer outra característica de produção, dividindo efetivamente o consumo da dieta em dois componentes: (1) o consumo do alimento esperado para um determinado nível de produção, e (2) uma porção residual. A porção residual do consumo de alimento pode ser usada para identificar animais que se desviam do consumo da dieta esperado, com animais eficientes apresentando valores de CAR mais baixos, com valores negativos. Devido a sua independência quanto ao nível de produção, pesquisadores apontam o CAR com uma variação nos processos metabólicos básicos, o que determina a eficiência (Korver, 1988).

A ingestão de dieta residual é, portanto, definida como a diferença entre a ingestão real da dieta de um animal e sua ingestão predita com base em seu tamanho e crescimento durante um período especificado. O cálculo do CAR requer a estimativa do consumo de alimento esperado. Isso pode ser previsto a partir de dados de produção usando fórmulas padrão de alimentação ou por regressão usando dados reais de análises da dieta (Kennedy; Werf; Meuwissen, 1993; Arthur et al., 2001). Embora as correlações genéticas entre as diferentes formas de CAR possam ser altas, suas relações com outras características podem ser diferentes (Arthur; Renand; Krauss, 2001).

Após o período de alimentação, o CAR é calculado como a diferença entre o consumo de matéria seca observada (DMI; kg/dia) menos o consumo de matéria seca predito através de ajustes para peso vivo médio metabólico (MBW) e ganho diário médio em peso (ADG, kg/dia), obtendo o seguinte modelo:

$$\text{DMI predito} = \beta_0 + \beta_1\text{ADG} + \beta_2\text{MBW}^{0.75} + \varepsilon (\text{CAR})$$

Em que, β_0 – intercepto da regressão; β_1 – coeficiente de regressão parcial sobre o ganho médio diário (ADG); β_2 – coeficiente de regressão parcial sobre MBW; ε – erro residual do consumo predito do animal (Okine et al., 2004). O CAR é calculado por regressão linear, apresenta distribuição normal com média zero (Crews, 2005).

Posterior ao cálculo do CAR, os animais são classificados com base nos resultados oriundos da regressão linear, através do desvio padrão da média, os animais podem ser classificados em suas respectivas categorias. Os animais são classificados como CAR baixo, CAR médio ou CAR alto, o que equivale a indivíduos eficiente, intermediário ou ineficiente, respectivamente. Animais com baixo CAR, ditos eficientes, apresentam ingestão de alimentos diárias menores do que os ineficientes, por que os eficientes possuem maior capacidade de digerir, absorver e utilizar os nutrientes dos alimentos consumidos (Mahler, 2016).

Os animais eficientes possuem composição corporal diferente das outras classificações de CAR. Normalmente, os indivíduos com maior proporção de tecido muscular são considerados mais eficientes (CAR baixo) em relação aos com maior deposição de tecido adiposo na carcaça (Lima; Pereira; Ribeiro, 2013).

3. Hipótese

O aumento no grau de consanguinidade no rebanho Hereford diminui a eficiência reprodutiva e produtiva do rebanho.

4. Objetivo geral

1) Avaliar os efeitos da endogamia no desempenho, eficiência alimentar e características reprodutivas do rebanho Hereford.

4.1 Objetivos específicos

1) Avaliar os efeitos da endogamia no desempenho, eficiência alimentar e características reprodutivas de touros Hereford em crescimento.

2) Avaliar os efeitos da endogamia no desempenho, eficiência alimentar e características reprodutivas de novilhas Hereford até o primeiro parto.

CAPÍTULO II

1 **Feed efficiency and performance due to inbreeding in growing Hereford bulls**

2 Marcela Kuczynski da Rocha^{1*}, Julia Dafoe², Darrin L. Boss²,
3 Concepta Margaret McManus Pimentel³, Júlio Otávio Jardim Barcellos¹.

4 ¹*Department of Animal Science, Federal University of Rio Grande do Sul. Av. Bento*
5 *Gonçalves n. 7712, 91540-000, Porto Alegre, RS, Brazil.*

6 ²*Montana State University (MSU), Northern Agricultural Research Center (NARC), Havre,*
7 *Montana, United States.*

8 ³*University of Brasília, Brasília, Brazil.*

9

10 ***Corresponding author:** marcelakrocha@hotmail.com

11 **Feed efficiency and performance due to inbreeding in growing Hereford bulls**

12

13 **Abstract**

14

15 Uniformity has increased in bovine breeds through the use of inbreeding. This can
16 consolidate certain characteristics, but negative effects can be seen in traits of the
17 inbred animals. This study aimed to evaluate the effects of inbreeding on performance,
18 feed efficiency and reproductive traits of growing Hereford bulls. Eight postweaning
19 trials were conducted at Northern Agricultural Research Center, Montana, United
20 States, using data from 137 young bulls (2012 n = 18, 2013 n = 14, 2014 n = 19, 2015
21 n = 20, 2016 n = 19, 2017 n = 21, 2018 n = 12, and 2019 n = 14). Traits measured
22 included performance, feed efficiency, and breeding soundness traits. The average
23 inbreeding of bulls was 15.73%, ranging from 13.3% to 21.5%. Four factors were
24 responsible for explaining the results found. These were related to the feed
25 component, maternal effects, residual feed consumption, and inbreeding influence on
26 reproduction. For every 1% of inbreeding increase in the herd, scrotal circumference
27 decreased 0.1631cm. This study suggests that, at higher levels of inbreeding,
28 reproductive parameters are little influenced, and residual feed intake is improved.

29 **Keywords:** inbreeding coefficient, residual feed intake, scrotal circumference, semen
30 quality

31 Introduction

32 Inbreeding results from mating related animals more closely related than the average
33 relationship within the breed or population concerned (Northcutt; Buchanan; Clutter,
34 2004). Farmers can use this process to increase the percentage of homozygosity in
35 the herd and, therefore, decrease heterozygotes. Genotype frequency is altered, but
36 not the gene frequencies (Shikano; Chiyokubo; Taniguchi, 2001). Increased
37 homozygosity can be beneficial to consolidate desired characteristics (Gipson, 2002;
38 Dai et al., 2015), but can also lead to a decrease in some characters (Khan et al., 2007;
39 Malhado et al., 2013), such as performance traits (Queiroz; Albuquerque; Lanzoni,
40 2000), cow survival and reproductive performance (Toit; Wyk; Maiwashe, 2012).

41 The inbreeding coefficient of an individual can be measured through pedigree analysis
42 (Bourdon, 2000) or molecular markers (Blouin, 2003). Along with selection, inbreeding
43 has been used to increase the uniformity of the main beef cattle breeds.

44 One of the ways to select animals with high feed efficiency is through measuring
45 residual feed intake (RFI). RFI is defined as the difference between the observed dry
46 matter intake and the estimated intake of the same age and breed (Schenkel et al.,
47 2004). A higher RFI value indicates that the animal has a higher than expected
48 consumption; that is, this animal is less efficient. On the other hand, this animal uses
49 the feed more efficiently to gain weight with a lower RFI value. Selection to improve
50 feed efficiency through RFI has been suggested because of the phenotypic
51 independence of RFI from metabolic body weight and body weight gain (Koch *et al.*,
52 1963; Basarab *et al.*, 2003). The importance of RFI as a tool for the identification and
53 selection of more efficient farm animals has been highlighted (Herd; Archer; Arthur,
54 2003; Schenkel *et al.*, 2004), as well as the relationship between the RFI and
55 reproduction (Hafla *et al.*, 2012; Reynolds *et al.*, 2018).

56 In beef cattle, the best individuals tend to be used at higher intensities for reproduction
57 since they are coveted as sires to produce desired characteristics in the offspring. This
58 leads to an unequal contribution from a limited number of sires in the next generation.
59 Thus, stockbreeders face increases in inbreeding levels in their herds. Reproductive
60 evaluation plays a relevant role in increasing herd fertility indices, and breeding
61 soundness examinations contribute to selecting animals with the best reproductive
62 potential (Menegassi et al., 2019). This may also cause the removal of potential sires
63 from the population base.

64 The selection of beef cattle for feed efficiency is relatively new (Elolimy et al., 2018),
65 so is one of the best alternatives to increase production efficiency by selecting more
66 efficient animals, which gain more weight eating the same amount of food, reduce
67 production costs and mitigate the environmental impacts of livestock. This study aimed
68 to evaluate the effects of inbreeding on performance, feed efficiency and reproductive
69 characteristics of growing Hereford bulls.

70

71 **Materials and Methods**

72 This study used data from the Line 4 Hereford population maintained at the Montana
73 State University (MSU), Northern Agricultural Research Center (NARC), Havre,
74 Montana, United States (latitude 48° 30' 2.99" N and longitude -109° 47' 17.99" W)
75 born during the years 2012 to 2019. These animals were maintained under approved
76 Agricultural Animal Care and Use Guidelines.

77 Eight trials were measured on 137 bull calves (2012 n = 18, 2013 n = 14, 2014 n = 19,
78 2015 n = 20, 2016 n = 19, 2017 n = 21, 2018 n = 12, and 2019 n = 14) at NARC to
79 evaluate vigor at birth, birth weight, performance (weaning weight and yearling weight),
80 post-weaning feed efficiency (dry matter intake, average daily gain and residual feed
81 intake), and breeding soundness traits (scrotal circumference and percentual of normal
82 spermatozoa).

83 The calf vigor score (VIG) is designed to be applied to calves shortly after birth to
84 assess their time to initiate selective calf movements such as standing attempts and
85 suckling. Assigned scores range from 1 to 6: 1 = calf gets up on its own and sucks in
86 less than one hour; 2 = calf gets up on its own and sucks between one and two hours;
87 3 = calf needed help in getting up after two hours, but once it was up it suckled under
88 its own; 4 = calf needed help in getting up after 2 hours and in standing for suckling; 5
89 = calf had to be tubed or bottle-fed after two hours (only once, then it sucked under its
90 own); and 6 = calf had to be tubed or bottle-fed repeatedly. Birth weight is the first
91 weight of the calf and was collected up to 24 hours after birth.

92 All calves were born in March and April. From birth to weaning (average 192 days),
93 cows and calves in the cow-calf system were kept under the same dietary conditions,
94 based on corn silage, grass, wheat straw or alfalfa hay and barley or corn grain. At
95 weaning, in October, the animals were kept outdoors and were assigned to pens
96 equipped with four feed bunk units to measure residual feed consumption (GrowSafe
97 Systems Ltd., Airdrie, Alberta, Canada). For all feed efficiency trails, the bull calves

98 were allowed a minimum of 21 d to adapt to experimental diets, fed *ad libitum* twice
 99 daily, and individual feed intakes were measured over 70 to 86 d. Bulls were weighed
 100 at 14-d intervals.

101 The diet ingredients varied over the eight years of the trial. All diets were based on
 102 corn silage, grass, wheat straw or alfalfa hay, barley or corn grain and a commercial
 103 feedlot pellet that contained both plant-based and non-protein nitrogen protein
 104 sources, along with a vitamin and mineral package (Table 1). The ingredients changed
 105 depending upon commodity availability throughout the years. The feeds (corn silage,
 106 corn grain, grass hay, alfalfa, barley grain, barley hay, straw and clover) were analyzed
 107 at Midwest Labs, NE, USA, annually. Crude protein (CP), acid-detergent fiber, total
 108 digestible nutrients, net energy for gain were determined. The diets were balanced to
 109 meet NRC (2000) requirements for growing bulls with a moderate frame score, mature
 110 weight of 770 kg, gaining 1.4 kg/d. No less than 10.2% Crude Protein (CP) and 1.345
 111 Mcal/kg Dry Matter (DM) were provided.

112

113 **Table 1.** Diet ingredients used in eight feeding trials on Line 4 Hereford bulls from the Montana
 114 State University (MSU), Northern Agricultural Research Center (NARC)

% of Ration	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Corn Silage	50	50	62	60	40	40	40	40
Grass Hay	20	20			20	20	20	20
Alfalfa				9	22	22	22	22
Barley grain	20	20		19				18
Corn grain			14		18	18	18	
Barley Hay			10	12				
Straw	10	10						
Clover			14					
TDN (%)	64.20	64.20	65.22	65.58	65.96	65.96	65.96	64.88
CP (%)	12.47	12.47	10.20	10.53	11.88	11.88	11.88	12.49
ME (Mcal/kg)	2.33	2.33	2.36	2.37	2.38	2.38	2.38	2.35

115

116 The diets were adjusted daily throughout the trials. Residual feed intake (RFI) was
 117 calculated as: observed dry matter intake (DMI) minus DMI predicted to meet growth
 118 and maintenance energy requirements, using the PROC MIXED procedure of SAS

119 procedure of SAS 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). The predicted DMI was
120 obtained through the multiple regression model (Koch *et al.*, 1963):

$$121 \quad \text{Predicted DMI} = \beta_0 + \beta_1\text{ADG} + \beta_2\text{MBW}^{0.75} + \varepsilon \text{ (RFI)}$$

122 Where: β_0 - intercept; β_1 - linear regression coefficient for average daily gain (ADG);
123 β_2 - linear regression coefficient for mid-test metabolic body weight ($\text{MBW}^{0.75}$); ε -
124 residual.

125

126 Young bulls were classified into RFI high (less efficient; >0.5 standard deviations (SD)
127 above the mean), medium (mid; ± 0.5 SD from the mean), and low (more efficient; <0.5
128 SD below the mean) RFI groups. Average Daily Gain (GMD) was calculated by taking
129 the total of weight an animal gained since the start of the test divided by the number of
130 days of the RFI test.

131 Breeding soundness examinations (BSE) were conducted once, at the end of RFI test,
132 when bulls ranged from 367 to 412 d of age (average 385d). Scrotal circumference
133 was measured by pulling the testes down into the lower part of the scrotum and placing
134 a measuring tape around the widest point. Semen was collected from each bull using
135 an automatic operated electroejaculator *Pulsator IV* (Lane Manufacturing Denver, CO,
136 USA). Bulls were restrained to facilitate rectal probe insertion, and faeces were
137 evacuated manually removed prior to semen collection. An electroejaculator probe with
138 three ventrally oriented longitudinal electrodes, with a lubricant gel, was used to deliver
139 a sequence of electrical impulses to each bull. Sperm total motility was examined under
140 a bright-field microscope at a magnification of $\times 100$ with a 5 μl aliquot of semen placed
141 on a warmed (37°C) slide and covered with a coverslip. Sperm motility was evaluated
142 as the percentage of sperm movement (0% to 100%). Sperm morphology was then
143 analyzed. The normal spermatozoa were evaluated as a percentage (0% to 100%),
144 and sperm classification was performed as previously described by the Society of
145 Theriogenology (Chenoweth *et al.*, 1992). Bulls were given a BSE score as satisfactory
146 or unsatisfactory for breeding on the basis of minimum criterion for 30 cm Scrotal
147 Circumference at this age, minimum sperm motility of 30% (defined as fair for young
148 bulls), and minimum sperm morphology of 70% normal cells. Yearling weight and body
149 condition score (BSE) were collected at the end of the andrological examination, and

150 the weight-adjusted for age 365d was calculated. The bulls' body condition score
151 average was 5.6 on a scale ranging from one (extremely emaciated) to nine (severely
152 obese) (Herd & Sprott, 1986).

153 Inbreeding coefficient was estimated based on pedigree using the multiple-trait
154 derivative-free REML program (MTDFNRM of the MTDFREML package) from
155 Boldman *et al.* (1995) modified by Dodenhoff *et al.* (1998). Herd pedigree data was
156 used from 1976 to 2019 from the American Hereford Association Herdbook to calculate
157 inbreeding coefficients of the bulls.

158 Analysis of vigor score, weaning weight, yearling weight, percentage of normal
159 spermatozoa, scrotal circumference, dry matter intake, average daily gain and residual
160 feed intake were carried out using the General Linear Model (GLM). Comparisons of
161 least-square means between each dependent variable were performed using the
162 adjusted Tukey-Kramer test. RFI class, BCS and BSE score were analyzed using
163 FREQ procedure. The inbreeding coefficient was divided into three classifications:
164 Average – Low (AL = 13.3 to 14.9%), Average – Average (AA = 15.0 to 16.4%), and
165 Average – High (AH = 16.5 to 21.5%), according to the number of animals similar in
166 each class and the linear correlation between inbreeding coefficient and scrotal
167 circumference was performed using PROC CORR. Factor analysis was performed
168 using the FACTOR procedure and factors were retained by the MINEIGEN criterion of
169 SAS 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA).

170

171 **Results**

172 The mean degree of inbreeding for Hereford bulls 15.73%, ranging from 13.3% to
173 21.5%. The inbreeding level per year was 14.51, 15.37, 15.01, 16.09, 16.13, 15.8,
174 16.84, 16.57 from 2012 to 2019, respectively. Productive, reproductive, and feed
175 efficiency parameters were analyzed using three inbreeding classification groups:
176 Average – Low (AL = 13.3 to 14.9%), Average – Average (AA = 15.0 to 16.4%), and
177 Average – High (AH = 16.5 to 21.5%) (Table 2).

178

179 **Table 2.** Summary statistics of performance, feed efficiency, scrotal circumference (SC), and
180 semen quality traits of growing bulls by inbreeding level from eight trials on Line 4 Hereford
181 bulls from the Montana State University (MSU), Northern Agricultural Research Center (NARC)

	Average - Low	Average - Average	Average - High
Inbreeding Level %	13.3 - 14.9	15.0 - 16.4	16.5 - 21.5
Average inbreeding, %	14.25	15.61	17.46
Vigor	1	1.32	2
BW, kg	38.9	38.5	38.2
WW, kg	206.23	229,15	228.15
YW, kg	342.47	376.2	383.68
SC, cm	31.93	31.99	31.75
Normal spermatozoides, %	51.48	43.53	43.03
BCS	5.66	5.68	5.66
DMI, kg/day	5.52	5.4	5.24
ADG, kg/day	1.09	0.98	0.99
RFI, kg/kg	0.06	0.08	-0.78

Percentage of bulls by RFI class

Low	50.00%	40.00%	52.50%
Average	11.90%	23.64%	10.00%
High	38.10%	36.36%	37.50%
Total by class	42	55	40
%Total	30.66%	40.15%	29.20%

Percentage of bulls by year

2012	77.78%	11.11%	11.11%
2013	42.86%	42.86%	14.29%
2014	57.89%	36.84%	5.26%
2015	15.00%	55.00%	30.00%
2016	10.53%	52.63%	36.84%
2017	28.57%	33.33%	38.10%
2018	0.00%	58.33%	41.67%
2019	0.00%	35.71%	64.29%

182 BW: Birth weight (kg), WW: Weaning weight (kg), YW: Yearling weight (kg), SC: Scrotal
 183 circumference (cm), Normal spermatozoides (%), BCS: Body condition score, DMI: Dry matter
 184 intake (kg/day), ADG: Average daily gain (kg/day), RFI: Residual feed intake (kg/kg)

185

186

187 Four factors with eigenvalues greater than one (1) were found (Table 3; 5.45 for F1;
 188 2.64 for the F2; 2.25 for F3; and 1.27 for the F4). The feed component (F1) is strongly
 189 related to dry matter intake, average daily gain, yearling weight and body condition
 190 score at the time of the andrological examination. The maternal contribution (F2)
 191 concerns the performance of the calf from birth to weaning. F3 is about RFI itself, while
 192 F4 is about the influence of inbreeding on reproduction. The answers found have little

193 relation with inbreeding, as it mainly affects characteristics that depend on adaptation
194 to the environment.

195 Dry matter intake was the trait that most explained the variation in results (0.975),
196 followed by average daily gain (0.957), residual food intake (0.956), WW (0.916), YW
197 (0.8172), BCS (0.654) and inbreeding level (0.581).

198

199 **Table 3.** Correlations of variables with factors that contribute to the explanation of the results
200 obtained

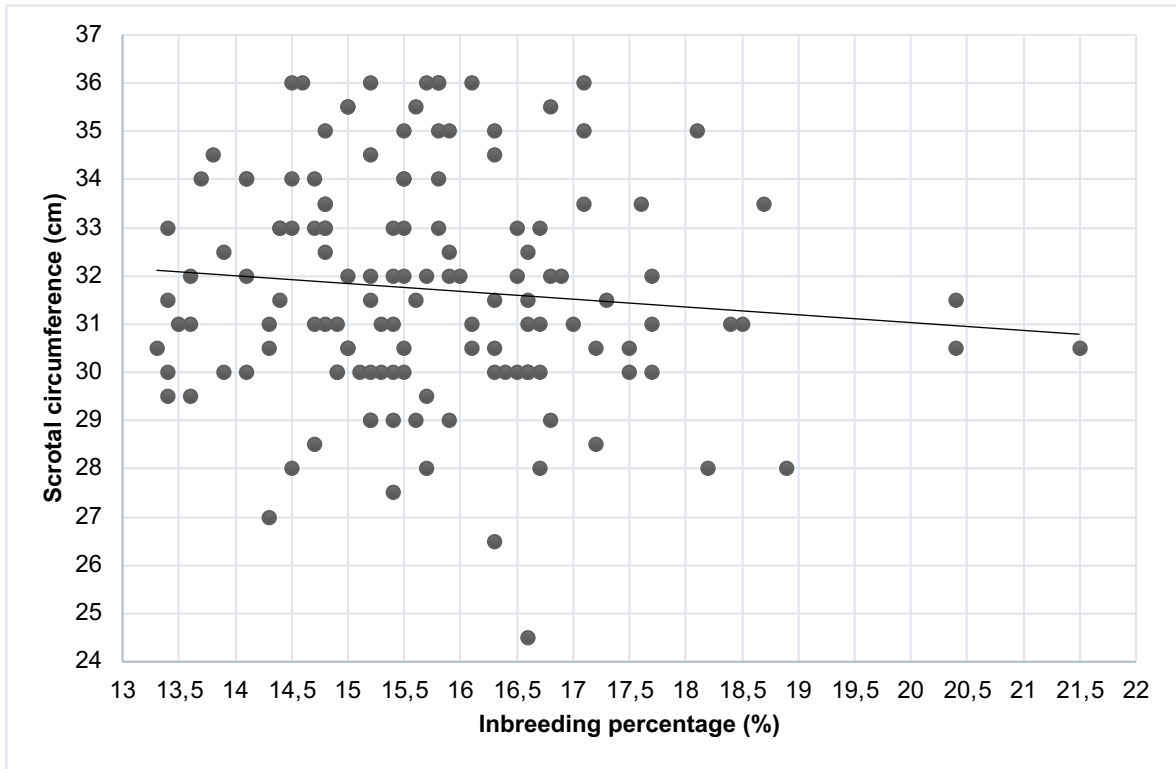
201

	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
DMI, kg/day	0.86934	-0.18779	0.28983	0.24258
ADG, kg	0.63109	-0.04384	-0.74150	-0.08772
RFI, kg/kg	0.67210	-0.39785	0.58883	0.00976
Vigor	0.01538	-0.06261	0.15287	0.19236
WW, kg	0.40140	0.84895	0.18457	-0.02216
Norm Esp, %	0.27279	0.13685	-0.36847	0.54078
YW, kg	0.76925	0.40022	0.03736	-0.25288
SC, cm	0.56536	0.10866	-0.03288	0.09304
BCS	0.57966	-0.25806	-0.12693	-0.48596
P-Inb, %	-0.02552	0.36265	0.24416	-0.62418
BW, kg	0.25791	0.61013	0.02101	0.35582

202 DMI: Dry matter intake (kg/day), RFI: Residual feed intake (kg/kg), WW: Weaning weight (kg),
203 Normal sp: Normal spermatozoides (%), YW: Yearling weight (kg), SC: Scrotal circumference
204 (cm), BCS: Body condition score, P-Inb: Inbreeding percentage (%), Birth weight (kg).
205

206 The linear regression equation obtained was: $y = - 0.1631x + 34.3$ (cm), linear
207 correlation coefficient is $- 0.0101$ and coefficient of determination (R^2) = 0.0104 ($P <$
208 0.05). For each 1% increase in inbreeding, there was a decrease in of 0.1631cm in
209 scrotal circumference (Figure 1).

210



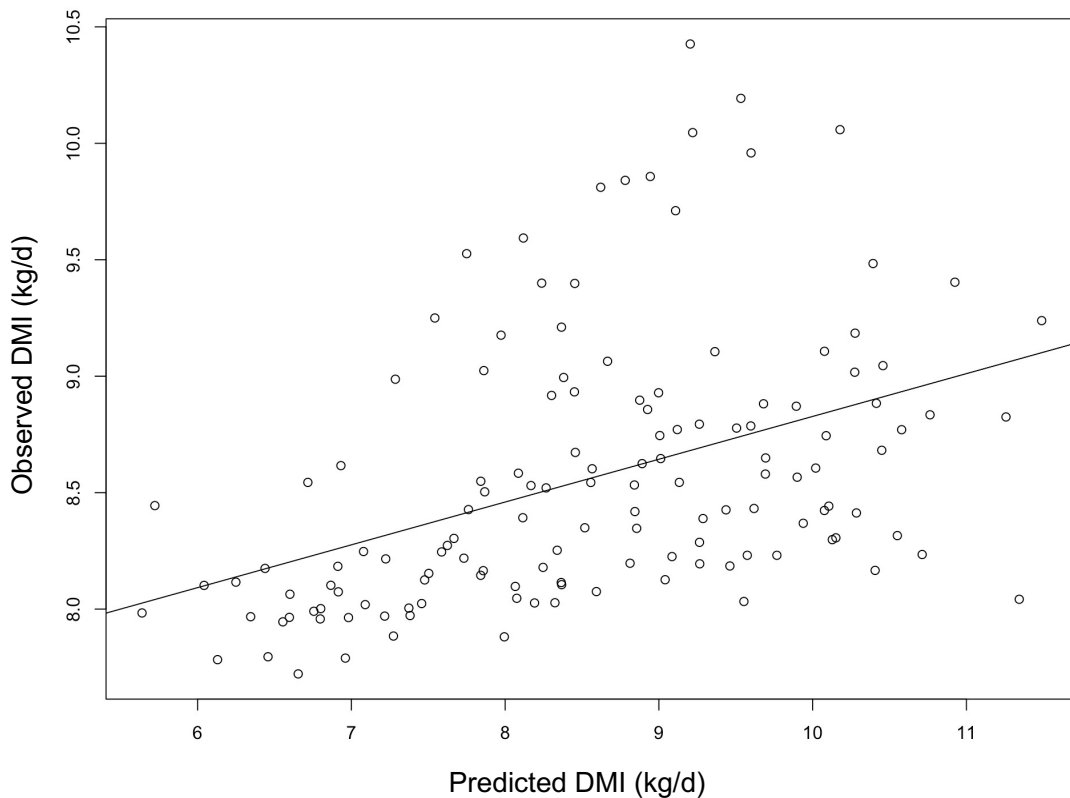
211

212 **Figure 1.** Relationship between scrotal circumference and inbreeding percentage in young
 213 Hereford bulls.

214

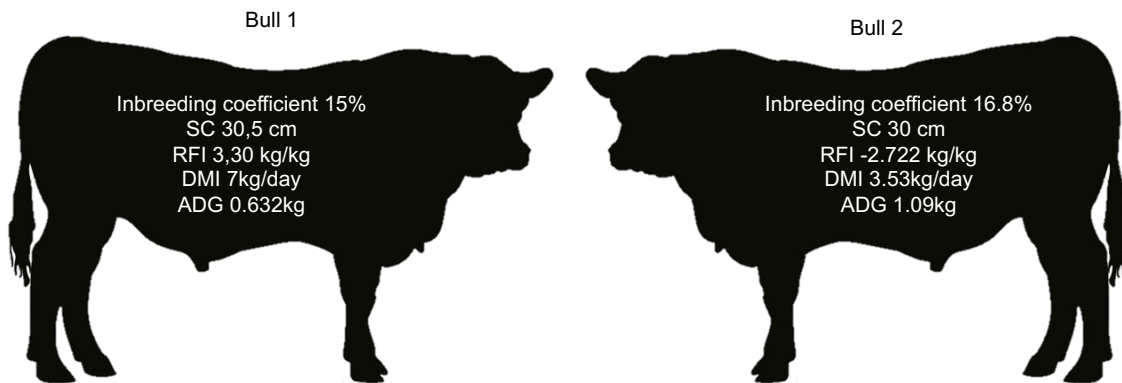
215 RFI was affected by inbreeding ($P < 0.05$) and ranged from -2.722 to 3.30 kg/kg (Figure
 216 2). Animals with negative values are more efficient and are below the trend line. The
 217 bull with an RFI of 3.30 showed 15% inbreeding. In the breeding soundness
 218 examinations, it had a scrotal circumference of 30.5 cm, consumed 7kg of dry matter
 219 per day and gained 0.632kg a day (Figure 3). The most efficient individual,
 220 metabolically, has 16.8% inbreeding, 30cm SC, consumed 3.53kg of dry matter per
 221 day, 50% less than the most inefficient animal, and gained 1.09kg a day. Although they
 222 present a significant difference in performance and feed efficiency, the two animals
 223 failed the andrological examination due to low seminal quality.

224



225
226
227
228
229

Figure 2. Predicted versus observed feed intake for all bulls tested. Bulls below the line are more efficient than animals above the line.



230
231
232
233
234
235

Figure 3. Comparison of two bulls in the dataset for different values for residual feed intake.

In the andrological examination, the RFI phenotype group did not affect the proportion of bulls that obtained satisfactory and unsatisfactory scores (Table 4).

236
237

Table 4. Chi-squared analysis of breeding soundness exam (BSE) scores of growing bulls with divergent residual feed intake (RFI)

BSE score	Low RFI	Medium RFI	High RFI	P-value
No. bulls receiving BSE score	64	22	51	-
No. bulls scored satisfactory (%)	5 (7.81)	4 (18.18)	9 (17.65)	0.43
No. bulls scored unsatisfactory (%)	59 (92.19)	18 (81.82)	42 (82.35)	0.22

238

239

240 **Discussion**

241 The influence of inbreeding on productive performance, measured through the RFI and
 242 reproductive performance, verified through the andrological examination, were
 243 evaluated. We hypothesized that increasing the degree of inbreeding in individuals
 244 would decrease Hereford bulls' reproductive and productive efficiency. Our results
 245 showed that inbreeding had little effect on the reproductive traits evaluated. On the
 246 other hand, feed efficiency increased proportionally with inbreeding, partially validating
 247 our hypothesis and indicated that increased inbreeding is favorable for RFI.

248 Our level of inbreeding in Hereford population is substantially greater than the average
 249 coefficient for the Nelore breed was 3.81% (Shimbo et al., 2000), 4.1% for the
 250 Shorthorn (Trinderup; Jørgensen, J. N.; Hansen, 1999), 5.5%, 6.5%, and 5.1% in the
 251 Holstein, Jersey, and Brown Swiss populations, respectively (VanRaden et al., 2011).

252 The percentage of a few animals with inbreeding coefficients greater than 25% was
 253 found in Indubrasil (3.07% of the population), and in Sindi (1.74% of highly inbred
 254 individuals) (Santana Junior et al., 2016). Many of these pedigree analyses
 255 underestimate the actual value of inbreeding due to a lack of information on pedigrees
 256 (McManus et al., 2019), designating zero to the first animals that appear in an animal's
 257 lineage. However, estimating the inbreeding coefficient from marker-based strains
 258 tends to be highly biased and imprecise, unless it is possible to sample all individuals
 259 in a population over many generations. (Taylor et al., 2015). The bulls in the experiment
 260 belong to a herd Hereford called Line 4. The Line 4 herd originated from Line 1 cows
 261 that were maintained at the United States Department of Agriculture (USDA) –
 262 Agriculture Research Service (ARS) Fort Keogh Livestock and Range Research
 263 Laboratory (LARRL) near Miles City, MT, which served as the base of females that
 264 have been kept by the NARC since 1962 (Nevins, 1986). The Line 4 herd has been
 265 closed since 1976, and until 1995 selection decisions for the line were made based on
 266 using an index for adjusted YW minus 3.2 times adjusted BW (Nevins, 1986; Rumph
 267 et al., 2004). Selection decision criteria changed to yearling scrotal circumference from

268 1995 to 2006 (Rumph et al., 2004). Most of the current selection is for increased YW
269 while keeping increased inbreeding at a low level.

270 The significant influence of inbreeding on growth characteristics, evaluated by weight
271 at different ages, has been shown in previous studies (Caires et al., 2012), but was not
272 verified in our research on feed efficiency. The weights at the different ranges of
273 inbreeding were similar, as found in studies on cattle growth carried out by Sumreddee
274 et al. (2019). Burrow (1993), on the other hand, saw a consistent depressive effect on
275 BW, WW and YW as inbreeding increased, not verified in our study. These authors
276 found that for every 1% increase in inbreeding, BW decreased by 0.06kg. They also
277 saw for every 1% increase in inbreeding, there was a 0.44 kg decrease in WW, a 0.69
278 kg decrease in post-WW, and a 1.30 kg decrease in mature weights.

279 Inbred animals are more sensitive to environmental influences, as inbreeding weakens
280 homeostasis (Princhner, 1983), so the animal would have more difficulties responding
281 to external stressors. This effect is due to the increase in homozygosity, leading to a
282 rise in the frequency of genotypes containing recessive genes, usually covered by
283 dominant alleles (Queiroz; Albuquerque; Lanzoni, 2000). These alleles determine
284 inbreeding depression and limit the performance of animals, causing malformations or
285 dysfunctions (Falconer, 1960). Furthermore, there is a difference in the expected and
286 actual proportion of identical alleles in the offspring, estimated when calculating the
287 inbreeding coefficient (Weir; Aver; Hill, 1980).

288 Inbreeding depression affects adaptive traits more strongly (Falconer and Mackay,
289 1996). Therefore, production characteristics such as growth rate and feed efficiency
290 are not susceptible to high degrees of inbreeding, as nutritional requirements are met
291 during evaluations. The non-linearity of inbreeding depression is challenging to
292 interpret because different elements are not directly related to inbreeding, for example,
293 the unclear relation between inbreeding trends and variation in the environment, as the
294 distribution of animals between different inbreeding classes is influenced by time
295 (Kristensen and Sorensen, 2005).

296 Seeking to understand the interaction between environment and inbreeding of the cow-
297 calf pair, the deleterious effect in calves is more accentuated under conditions of
298 greater environmental stress (Keller and Brinks, 1978). The increase in inbreeding,
299 accompanied by the greater efficiency of the CAR, suggests that, in this population,
300 residual feed intake improved with increasing inbreeding coefficient because there was
301 an increase in more efficient genotypes in feeding, consolidating the characteristics of

302 efficiency in feed conversion, due to the increase in homozygosity. Similar beneficial
303 effects of inbreeding were seen in a population of goats with an average inbreeding
304 coefficient of 4.01% (ranging from 0 to 35.94) (Dai et al., 2015). The results indicated
305 that at low levels of inbreeding, cashmere weight and fiber length increased. However,
306 the increase in inbreeding had a favorable effect on the fiber diameter, making it
307 thinner. Nelore calves showed less vigor at birth as inbreeding increased (Schmiddek
308 et al., 2013). Holstein cows with 12.5% inbreeding had milk, fat, and protein yields
309 reduced by 61.8, 5.3, and 1.2 kg, respectively and fat and protein concentrations
310 reduced by 0.05 and 0.01%, respectively (Parland et al., 2007). In our study, BW shows
311 a tendency to decrease with an increase in inbreeding. There is a consensus that
312 lighter calves have a higher risk of death than heavier animals (Koch et al., 1994;
313 Rawal & Tomar, 1994). In Romane rams, Tortereau (2020) observed no significant
314 genetic correlations between RFI and growth traits. They found a favourable low
315 negative genetic correlation was estimated between RFI and muscle depth ($-0.30 \pm$
316 0.15). The selection of low RFI sires based on their breeding values led to the
317 production of lambs eating significantly less concentrate (3% decrease in the average
318 daily feed intake per 1% inbreeding), but with the same growth as lambs from sires
319 selected based on high RFI breeding values.

320 Although the post-weaning RFI assessments take place from October until February,
321 winter in the region of our experiment, which has a very challenging climate, with an
322 average temperature in this period of -13°C and snow precipitation of 33 inches per
323 year, the animals are acclimated. They did not undergo nutritional stress as they
324 receive the diet in the trough, meeting the nutritional requirements, and do not need to
325 search for their feed. Climatic variations over the experimental years can explain the
326 difference in weights between the classes. As the environment impacts gene
327 expression, those fitness differences are likely identified as part of the environmental
328 contribution to the phenotype.

329 In animal production, feed corresponds to the highest production cost (65%; Wright,
330 2014). Therefore, it is necessary to develop more efficient systems capable of reducing
331 feed costs. RFI is a measure of feed efficiency since this characteristic is independent
332 of adult weight and weight gain. This study showed that inbreeding was beneficial for
333 this characteristic, corroborating with findings in sheep, which indicates the possibility
334 of response to individual selection (François et al., 2002). However, the repercussion
335 of the selection of animals for RFI on reproductive performance may be due to a

336 decrease in the amount of body fat, thereby delaying puberty (Tedeschi et al, 2017).
337 Delaying puberty is biologically possible because energy partitioning is different, with
338 energy demand focused on growth at the expense of reproductive function in the low
339 ranked RFI animals (Donoghue et al., 2011). Several studies have reported
340 associations between RFI and age at puberty in growing heifers (Arthur et al., 2005;
341 Shaffer et al., 2011). Arthur et al. (2005) reported that Angus cows selected for low RFI
342 after 1.5 generations tended to calve five days later than their high RFI contemporaries.
343 The same was found in tests of post-weaning heifers, as they have lower energy
344 demand at calving and additional energy associated with sexual development and
345 activity (Basarab et al., 2011).

346 Inbreeding has adverse effects on male reproductive traits (Burrow, 1993). In Angus
347 bulls, over 14 months of age, with 32.1cm SC on examination, there was a reduction
348 in scrotal circumference by 0.03 mm, sperm motility by 0.04% and the percentage of
349 live sperm by 0.14% for animals with 25% inbreeding (Elmore et al., 1978). This was
350 unlike that found here, where for each 1% increase in inbreeding, there was a decrease
351 of 0.16 cm in scrotal circumference. SC is correlated with semen production and is
352 important in assessing the reproductive health of young bulls (Menegassi et al., 2015).
353 Previous studies have reported that SC is not associated with RFI in growing bulls
354 (Schenkel et al., 2004).

355 The final evaluations of the andrological exam, considering the animals satisfactory or
356 unsatisfactory, were based on the minimum requirements to consider a bull able to
357 mating (30cm SC at one year of age, minimum sperm motility of 30% and minimum
358 sperm morphology of 70% of normal cells - Chenoweth et al., 1992). Evaluating the
359 relationship between feed efficiency, scrotal circumference and seminal quality of
360 Angus, Bonsmara and Santa Gertrudis bulls, Hafla (2012) concluded that RFI is not
361 phenotypically associated with SC or sperm motility but is unfavourably associated with
362 sperm morphology in growing bulls, similar to our findings.

363 In conclusion, inbreeding had little effect on the parameters evaluated in growing bulls.
364 This study suggests that reproductive parameters are little influenced at high levels of
365 inbreeding, and residual feed intake improved with increasing inbreeding. The
366 limitation of the study refers to data collection, as information was collected only from
367 bulls that survived until the andrological examination. Calves that died until weaning
368 were not included in the study. This probably affects the effects of inbreeding in the
369 evaluated parameters.

370

371 **Acknowledgements**

372 We thank the scholarship financiers, the National Council for Scientific and
373 Technological Development (CNPq), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal
374 do Nível Superior (CAPES), the Animal Science Research Program of the Federal
375 University of Rio Grande do Sul, and Montana State University, especially Northern
376 Agricultural Research Center, for all the support received during this research.

377

378 **Conflict of Interest Statement**

379 The authors declare no conflict of interest.

380

381 **References**

382

383 Arthur, P. F., R. M. Herd, J. F. Wilkins, and J. A. Archer. 2005. Maternal productivity
384 of Angus cows divergently selected for post-weaning residual feed intake. *Aust. J.*
385 *Exp. Agric.* 45:985– 993.

386 Arthur, P.F., J.A. Archer, D.J. Johnston, R.M. Herd, E.C. Richardson, and P.F.
387 Parnell. 2001. Genetic and phenotypic variance and covariance components for feed
388 intake, feed efficiency, and other post-weaning traits in Angus cattle. *J. Anim. Sci.*
389 79:2805-2811.

390 Basarab, J. A., M. A. Price, J. L. Aalhus, E. K. Okine, W. M. Snelling, and K. L. Lyle.
391 2003. Residual feed intake and body composition in young growing cattle. *Can. J.*
392 *Anim. Sci.* 83:189–204.

393 Basarab, J. A., M. G. Colazo, D. J. Ambrose, S. Novak, D. McCartney, and V. S.
394 Baron. 2011. Residual feed intake adjusted for backfat thickness and feeding
395 frequency is independent of fertility in beef heifers. *Can. J. Anim. Sci.* 91:573–584.

396 Beilharz, R. 1982. The effect of inbreeding on reproduction in mice. *Animal Science*,
397 34 (1), 49-54. doi:10.1017/S0003356100000465

398 Beller, I., Plesnik, J. 1974. The effect of inbreeding on performance of cows. *Anim.*
399 *Breed. Abstr.*, 43:655.

400 Blouin, M. S. (2003). DNA-based methods for pedigree reconstruction and kinship
401 analysis in natural populations. *Trends in Ecology & Evolution*, 18, 503–511.

402 Boldman, K.G., L.A. Kriese, L.D. Van Vleck, C.P. Van Tassell, and S.D. Kachman.
403 1995. A manual for use of MTDFREML. A set of programs to obtain estimates of
404 variance and covariances [Draft]. U.S. Department of Agriculture, Agriculture
405 Research Service.

- 406 Bourdon, R. M. 2000. Understanding animal breeding. 2nd ed. Prentice-Hall, Inc,
407 Upper Saddle River, New Jersey.
- 408 Burrow, H.M. 1993. The effects of inbreeding in beef cattle. *Anim. Breed. Abstr.*,
409 61(11):737-751.
- 410 Caires, D. N., Malhado, C. H. M., Souza, L. A., Teixeira Neto, M. R., Carneiro, P. S.,
411 Martins Filho, R. 2012. Tabapuã breed in Northeastern Brazil: genetic progress and
412 population structure. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 41, 1858-1865.
- 413 Chenoweth, P. J., J. C. Spitzer, and F. M. Hopkins. 1992. A new bull breeding
414 soundness evaluation form. Pages 63–71 in *Proc. Ann. Mtng. Soc. for*
415 *Theriogenology*, San Antonio, TX.
- 416 Croquet, C.; Mayeres, P.; Gillon, A.; Hammami, H.; Soyeurt, H.; Vanderick, S. and
417 Gengler, N. 2007. Linear and curvilinear effects of inbreeding on production traits for
418 Walloon Holstein cows. *Journal of Dairy Science* 90:465-471.
- 419 Curik, I., Kövér, G., Farkas, J. *et al.* 2020. Inbreeding depression for kit survival at birth
420 in a rabbit population under long-term selection. *Genet Sel Evol* 52, 39.
421 <https://doi.org/10.1186/s12711-020-00557-3>
- 422 Deroide, C. A. S., Jacopini, L. A., Delgado, J. V., Léon, J. M., Brasil, L. H. A., Ribeiro,
423 M. N. 2016. Inbreeding depression and environmental effect on milk traits of the
424 Murciano-Granadina goat breed. *Small Ruminant Research*, 134, 44-48. doi:
425 10.1016/j.smallrumres.2015.12.008
- 426 Dodenhoff, J., L.D. Van Vleck, S.D. Kachman, and R.M. Koch. 1998. Parameter
427 estimates for direct, maternal, and grandmaternal genetic effects for birth weight and
428 weaning weight in Hereford cattle. *J. Anim. Sci.* 76:2521-2527.
- 429 Doekes, H.P., Veerkamp, R.F., Bijma, P. *et al.* 2019. Inbreeding depression due to
430 recent and ancient inbreeding in Dutch Holstein–Friesian dairy cattle. *Genet Sel*
431 *Evol* 51, 54. <https://doi.org/10.1186/s12711-019-0497-z>
- 432 du Toit, J., van Wyk, J. B. and Maiwashe, A. 2012. Assessment of inbreeding
433 depression for functional herd life in the South African Jersey breed based on level and
434 rate of inbreeding. *South African Journal of Animal Science* 42 (No. 1): 55-62:
- 435 Elolimy, A.A., Abdelmegeid, M.K., McCann, J.C., Shike, D.W., and Loor, J.J. 2018.
436 Residual feed intake in beef cattle and its association with carcass traits, ruminal
437 solid-fraction bacteria, and epithelium gene expression. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 9:
438 67.
- 439 Falconer, D. S. 1960. Introduction to quantitative Genetics. Oliver & Boyd, Edinburgh
440 and London.
- 441 Falconer, D. S., and T. F. C. Mackay. 1996. Introduction to quantitative genetics. 4th
442 ed. Pearson, Essex, England.
- 443 Gipson, T.A., 2002. Preliminary observations: inbreeding in dairy goats and its effects
444 on milk production. In: *Proc. 17th Ann. Goat Field Day*, pp. 51–56.

- 445 Granleese, T., S. A. Clark, A. A. Swan, and J. H. J. van der Werf. 2015. Increased
446 genetic gains in sheep, beef and dairy breeding programs from using female
447 reproductive technologies combined with optimal contribution selection and genomic
448 breeding values. *Genet. Sel. Evol.* 47:70. doi:10.1186/s12711-015-0151-3
- 449 Hafla, A. N., Lancaster, P. A., Carstens, G. E., Forrest, D. W., Fox, J. T., Forbes, T.
450 D. A., Davis, M. E., Randel, R. D., Holloway, J. W. 2012. Relationships between feed
451 efficiency, scrotal circumference, and semen quality traits in yearling bulls. *J. Anim.
452 Sci.*, 90, 3937–3944. doi:10.2527/jas2011-4029
- 453 Herd, R. M., J. A. Archer, and P. F. Arthur. 2003. Reducing the cost of beef production
454 through genetic improvement in residual feed intake: Opportunity and challenges to
455 application. *J. Anim. Sci.* 81(E. Suppl. 1):E9–E17.
- 456 Herd, D.H. and Sprott, L.R. 1986. Body Condition, Nutrition and Reproduction of Beef
457 Cows. Texas Agricultural Extension Service, B-1526, 1-11.
- 458 Keller, D.G., Brinks, J.S. 1978. Mating systems by environment interactions for
459 weaning weight in Hereford cattle. *J. Anim. Sci.*, 46(1):54-59.
- 460 Kelly, J. K., and J. H. Willis. 2001. Deleterious mutations and genetic variation for
461 flower size in *Mimulus guttatus*. *Evolution*. doi:10.1111/j.0014-3820.2001.tb00611.x
- 462 Khan, M. S., A. Ali and A. U. Hyder. 2007. Effect of inbreeding on growth and
463 reproduction traits of Beetal goats. *Arch. Tierz.*, 50,197-203.
- 464 Koch, R. M., L. A. Swiger, D. Chambers, and K. E. Gregory. 1963. Efficiency of feed
465 use in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 22:486–494.
- 466 Koch, R.M.; Cundiff, L.V.; GREGORY, K.E. 1994. Heterosis and breed effects on
467 reproduction. In: Fields, M.J.; Sand, R.S. (Eds.) *Factors affecting calf crop* Boca
468 Raton: CRC Press, p.223-241.
- 469 Köck, A., Fürst-Waltl, B., Baumung, R. 2009. Effects of inbreeding on number of piglets
470 born total, born alive and weaned in Austrian Large White and Landrace pigs. *Archiv
471 Tierzucht*, 52, 51-64.
- 472 Kristensen, T. C. and Sorensen, A. C. 2005. Inbreeding - Lessons from animal
473 breeding, evolutionary biology, and conservation genetics. *AnimalScience* 80:121-
474 133.
- 475 Malhado, C. H. M.; Malhado, A. C. M.; Carneiro, P. L. S.; Ramos, A. A.; Carrilo, J. A.
476 and Pala, A. 2013. Inbreeding depression on production and reproduction traits of
477 buffaloes from Brazil. *Animal Science Journal* 84:289-295.
478 <https://doi.org/10.1111/asj.12006>
- 479 Mandal, A., Pant, K. P., Rout, P. K., Roy, R. 2004. Effects of Inbreeding on Lamb
480 Survival in a Flock of Muzaffarnagari Sheep. *Asian Australasian Journal of Animal
481 Sciences*, 17 (5), 594-597.

- 482 Martins, T. G., Machado, J. P. M., Ferreira, O. G. L., Cardellino, R. A., Dionello, N. J.
483 L. Coeficiente de inbreeding na raça bovina Shorthorn. In: 10o CIC CONGRESSO
484 DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA; 3o ENPÓS ENCONTRO DA PÓS- GRADUAÇÃO; 1o
485 ENCITEC ENCONTRO REGIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA; 9o LAP
486 LABORATÓRIO DE PESQUISA. UFPel/ UCPel, 2001, Pelotas. Anais. Editora
487 Universitário - UFPel, 2001. p.474.
- 488 McManus, C., Facó, O., Shiotsuki, L., de Paula Rolo, J. L. J., & Peripolli, V. 2019.
489 Pedigree analysis of Brazilian Morada Nova hair sheep. *Small Ruminant*
490 *Research*, 170, 37-42.
- 491 Menegassi, S.R.O., Barcellos, J.O.J., Dias, E.A. et al. 2015. Scrotal infrared digital
492 thermography as a predictor of seasonal effects on sperm traits in Braford bulls. *Int J*
493 *Biometeorol* 59, 357–364. <https://doi.org/10.1007/s00484-014-0847-z>
- 494 Menegassi, S.R.O., Pereira, G. R., McManus, C., Roso, V. M., Bremm, C., Koetz, C.,
495 Lopes, J. F., Barcellos, J. O. J. 2019. Evaluation and prediction of scrotal
496 circumference in beef bulls. *Theriogenology*, 140, 33-43.
- 497 National Research Council – NRC. 2000. Nutrient requirements of beef cattle. 7. rev.
498 ed. Washington, D.C.: National Academic Press, 242p.
- 499 Nevins, D. I. 1986. Effects of inbreeding and selection in a closed line of Hereford
500 cattle. M.S. Thesis. Montana State University, Bozeman.
- 501 Nicholas, F. W., and C. Smith. 2010. Increased rates of genetic change in dairy cattle
502 by embryo transfer and splitting. *Anim. Sci.* 36:341-353.
503 doi:10.1017/S0003356100010382
- 504 Nietlisbach, P., Keller, L. F., Camenisch, G., Guillaume, F., Arcese, P., Reid, J. M.,
505 Postma, E. 2017. Pedigree-based inbreeding coefficient explains more variation in
506 fitness than heterozygosity at 160 microsatellites in a wild bird population. *Proc. R.*
507 *Soc. B.*, 284, 20162763. doi:10.1098/rspb.2016.2763
- 508 Northcutt, S. L., D. S. Buchanan, and A. C. Clutter. 2004. Inbreeding in cattle. Division
509 of Agricultural Sciences and Natural Resources, Oklahoma State University.
- 510 Parland, S. M., Kearney, J. F., Rath, M., & Berry, D. P. 2007. Inbreeding Effects on
511 Milk Production, Calving Performance, Fertility, and Conformation in Irish Holstein-
512 Friesians. *Journal of Dairy Science*, 90(9), 4411–4419. doi:10.3168/jds.2007-0227
- 513 Pirchner, F. 1983. Population genetics in animal breeding 20.ed. New York: Plenum
514 Press. 414p.
- 515 Pirchner, F. 1985. Genetic structure of populations.1. Closed populations or matings
516 among related individual. In: Chapman, A.B. General and quantitative genetics.
517 Amsterdam: Elsevier. p.227-248.

- 518 Queiroz, S. A., Albuquerque, L. G., Lanzoni, N. A. 2000. Efeito da Endogamia sobre
519 Características de Crescimento de Bovinos da Raça Gir no Brasil. Rev. bras. zootec.,
520 29(4), 1014-1019.
- 521 Rawal, S.C.; Tomar, S.S. 1994. Inherited variations in mortality and culling rates in
522 Sahiwal female calves up to maturity. Indian Journal of Animal Science, v.64, p.1286-
523 1287.
- 524 Reynolds, M. K., Chibisa, G. E., Ahmadzadeh, A., Hall, J. B. 2018. Reproductive
525 development and fertility traits among heifers in different residual feed intake
526 groups, *Translational Animal Science*, Volume 2, Issue suppl_1, P. S175-
527 S179, <https://doi.org/10.1093/tas/txy039>
- 528 Rognoni, G., Rizzi, S. 1956. The effect of inbreeding in a herd of Friesian cattle.1.
529 Relationship between degree of inbreeding, age at first calving, calving interval and
530 age at culling. Atti. Soc. Ital. Sci. Vet., 9:297-299.
- 531 Rumph, J. M., D. D. Kress, K. C. Davis, D. C. Anderson, H. C. VanWagoner, and D.
532 L. Boss. 2004. Characterization of the Montana Line 4 inbred Hereford herd. Proc.
533 West. Sec. Amer. Soc. Anim. Sci. 56:116-120.
- 534 Santana Junior, M. L.; Pereira, R.J.; Bignardi, A.B.; Ayres, D.R.; Menezes, G.R.O.;
535 Silva, L.O.C; Leroy, J.; Machado, C.H.C; Josahkian, L.A.; Albuquerque, L.G. 2016.
536 Structure and genetic diversity of Brazilian Zebu Cattle breeds assessed by
537 pedigrees analysis. *Livestock Science*. n 187. p. 6-15. 2016.
- 538 Schenkel, F.S.; Miller, S.P.; Wilton, J. W. 2004. Genetic parameters and breed
539 differences for feed efficiency, growth, and body composition traits of young beef
540 bulls. *Canadian Journal of Animal Science*, v.84, p.177-185.
- 541 Schmidek, A.; Costa, M. J. R. P.; Mercadante, M. E. Z.; Toledo, L. M.; Cyrillo, J. N.
542 S. G.; Branco, R. H. 2013. Genetic and non-genetic effects on calf vigor at birth and
543 preweaning mortality in Nellore calves. *R. Bras. Zootec.* 42 (6)
544 <https://doi.org/10.1590/S1516-35982013000600006>
- 545 Shaffer, K. S., P. Turk, W. R. Wagner, and E. E. D. Felton. 2011. Residual feed
546 intake, body composition, and fertility in yearling beef heifers. *J. Anim. Sci.* 89:1028-
547 1034.
- 548 Dai, D., Caixia, W., Zhiying, W., Zhixin, W., Yanjun, Z., Qing, N., Jinqun, L., Ruijun,
549 W. 2015. Inbreeding and its effects on fleece traits of Inner Mongolia cashmere goats.
550 *Small Ruminant Research*, 128, 50-53.[doi:10.1016/j.smallrumres.2015.04.007](https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2015.04.007)
- 551 Shikano, T., Chiyokubo, T. & Taniguchi, N. 2001. Temporal changes in allele
552 frequency, genetic variation and inbreeding depression in small populations of the
553 guppy, *Poecilia reticulata*. *Heredity* 86, 153-160 <https://doi.org/10.1046/j.1365-2540.2001.00792.x>
- 555 Shimbo, M. V.; Ferraz, J.B.S.; Eler, J. P.; Oliveira, F. F.; Jubileu, J. S.; Figueiredo,
556 L.G.G.; Mattos, E. C. 2000. Efeito da endogamia sobre características de

- 557 desempenho de bovinos da raça Nelore. In Simpósio Pecuária 2000 – perspectivas
558 para o III milênio. 1., Pirassununga, 2000. Anais. Pirassununga: FZEA-USP.
- 559 Statistical Analysis Systems Institute, 2003. SAS/STAT. SAS Systems for Windows,
560 Release 9.4. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- 561 Sumreddee, P., Toghiani, S., Hay, E. H., Roberts, A., Agrrey, S. E., Rekaya, R. 2019.
562 Inbreeding depression in line 1 Hereford cattle population using pedigree and
563 genomic information. *J Anim Sci.* 97(1): 1–18.
- 564 Taylor, H. R. , Kardos, M. D. , Ramstad, K. M. , & Allendorf, F. W. 2015. Valid
565 estimates of individual inbreeding coefficients from marker-based pedigrees are not
566 feasible in wild populations with low allelic diversity. *Conservation Genetics*, 16, 901–
567 913.
- 568 Tedeschi, Luis Orlando et al. 2017. A glimpse of the future in animal nutrition science.
569 2. Current and future solutions. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 46, 5, 452-469.
570 <https://doi.org/10.1590/S1806-92902017000500012>
- 571 Todd, E.T., Hamilton, N.A., Velie, B.D. *et al.* The effects of inbreeding on covering
572 success, gestation length and foal sex ratio in Australian thoroughbred horses. *BMC*
573 *Genet* 21, 41 (2020). <https://doi.org/10.1186/s12863-020-00847-1>
- 574 Tortereau, F., Marie-Etancelin, C., Weisbecker, J.-L., Marcon, D., Bouvier, F., Moreno-
575 Romieux, C., & François, D. 2019. Genetic parameters for feed efficiency in Romane
576 rams and responses to single-generation selection. *Animal*, 1–7.
577 doi:10.1017/s1751731119002544
- 578 Trinderup, M., Jørgensen, J. N. & Hansen, M. 1999. Inbreeding and loss of founder
579 alleles in four variations of a conservation programme using circular mating, for
580 Danish shorthorn cattle. *Animal Genetic Resources* 25(April), 99–106.
581 doi:10.1017/S1014233900003485.
- 582 Uchida, H., Ohhira, K., Yamagishi, T. et al. 1995. The relationship between
583 inbreeding of cows and their calves' growth and prices traits in Japanese black cattle.
584 *Anim. Sci. Techn.*, 66(1):55-61.
- 585 VanRaden, P.M., Olson, K.M., Wiggans, G.R., Cole, J.B., Tooker, M.E. 2011.
586 Genomic inbreeding and relationships among Holsteins, Jerseys, and Brown Swiss.
587 *J Dairy Sci.* 94(11):5673-82.
- 588 Weigel, K. A. 2001. Controlling inbreeding in modern breeding programs. *J. Dairy*
589 *Sci.* 84:E177-E184. doi:10.3168/jds.S0022-0302(01)70213-5
- 590 Weir, B. S.; Avery, P. J. and Hill, W. G. 1980. Effect of mating structure on variation
591 in inbreeding. *Theoretical Population Biology* 18:396-429

CAPÍTULO III

Efeitos de diferentes graus de consanguinidade na eficiência alimentar, desempenho pós-desmame e reprodutivo em novilhas Hereford

Marcela Kuczynski da Rocha¹, Julia Dafoe², Darrin L. Boss²,
Concepta Margaret McManus Pimentel³, Júlio Otávio Jardim Barcellos¹

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Departamento de Zootecnia, Porto Alegre, Brasil.

²Montana State University (MSU), Northern Agricultural Research Center (NARC), Havre, Montana, United States.

³Universidade de Brasília (UNB), Brasília, Brasil.

Resumo

A depressão endogâmica refere-se à redução no valor fenotípico médio, relacionados à capacidade reprodutiva ou eficiência fisiológica. O objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos da endogamia no desempenho, eficiência alimentar e características reprodutivas de novilhas Hereford. Os dados foram coletados durante sete anos, usando informações de 198 novilhas (2012 n = 29, 2013 n = 32, 2014 n = 21, 2015 n = 28, 2016 n = 37, 2017 n = 27, e 2018 n = 24) na Northern Agricultural Research Center, Montana, United States, para avaliar o percentual de consanguinidade, dados de nascimento das novilhas, performance, eficiência alimentar após a desmama e dados da parição. O grau médio de consanguinidade foi de 16,20%, variando de 11,5% a 26,0%. Taxa média de concepção foi 67,51%, variando de 54,84 a 83,33%. Peso ao acasalamento das novilhas foi influenciado apenas pelo ano da avaliação ($P < 0,001$), também obteve alta relação positiva com o peso adulto ($r_p=0,942$). O peso ao nascimento da progênie das novilhas avaliadas diferiu apenas entre o sexo dos bezerros ($P < 0,001$). A consanguinidade não influenciou desempenho, eficiência alimentar e características reprodutivas das novilhas Hereford.

Palavras-chave: desempenho reprodutivo, endogamia, gado de corte, ganho de peso residual, progênie.

Introdução

A endogamia ou consanguinidade é definida como a probabilidade de que dois alelos em qualquer *locus* sejam idênticos por descendência, e ocorre quando indivíduos que possuem algum ancestral em comum são acasalados. A depressão endogâmica, como resultado da endogamia, refere-se à redução no valor fenotípico médio, relacionados à capacidade reprodutiva ou eficiência fisiológica. A perda da heterozigose e a diminuição da variabilidade genética são consequências das altas taxas de endogamia ao longo das gerações (Falconer e Mackay, 1996). Os efeitos da endogamia em bovinos foram avaliados antes do desmame (Keller e Brinks, 1978), no desempenho ao ano (Nelms e Stratton, 1967) e desempenho reprodutivo da vaca (Gutiérrez-Reinoso; Aponte; García-Herreros, 2020).

A alimentação corresponde a 65% do custo na produção animal (Wright, 2014). Portanto, é necessário desenvolver sistemas mais eficientes e capazes de reduzir os custos com a alimentação. O Consumo Alimentar Residual (CAR) é utilizado como uma medida de eficiência alimentar, uma vez que esta característica é independente do peso adulto e do ganho de peso (Basarab et al., 2003). Essa medida define melhor a habilidade dos animais para produzir eficientemente com as fontes disponíveis de alimentos, já que animais de CAR negativo ingerem menos alimento que o estimado para o seu peso vivo e ganho de peso (Leme e Gomes, 2007). Alguns estudos têm observado associações negativas entre CAR, deposição de gordura subcutânea e reprodução (Nkrumah et al., 2007).

Os efeitos da endogamia nas características de produção de bovinos de corte e leite foram bem documentados (Mac-Neil et al., 1989; Smith et al., 1998; McParland et al., 2007^a, Toit; Wyk; Maiwashe, 2012). No entanto, a maioria dos estudos sobre os efeitos da endogamia em populações de bovinos de corte foram conduzidos em períodos de tempo relativamente curtos (Dinkel et al., 1968; Krehbiel et al., 1969; MacNeil et al., 1989), e pouco se sabe desses efeitos na população de bovinos de corte à longo prazo. O objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos da endogamia no desempenho, eficiência alimentar e características reprodutivas de novilhas Hereford.

Materiais e métodos

Este estudo utilizou dados compilados da população Hereford – Linhagem 4, mantida na Northern Agricultural Research Center (NARC), Montana State University (MSU), Havre, Montana, Estados Unidos (latitude 48° 30' 2,99" N e longitude -109° 47 ' 17,99" W) durante os anos de 2012 a 2018. Durante o período de coleta dos dados, os animais foram mantidos sob aprovação do “INSTITUTIONAL ANIMAL CARE and USE COMMITTEE” da Montana State.

Os dados foram coletados durante sete anos, usando informações de 198 novilhas (2012 n = 29, 2013 n = 32, 2014 n = 21, 2015 n = 28, 2016 n = 37, 2017 n = 27, e 2018 n = 24) do rebanho de corte da NARC para avaliar o percentual de consanguinidade (CONS), dados de nascimento das novilhas (vigor ao nascimento (VIG) e peso ao nascimento (PN)), performance (peso a desmama (PD), peso da matriz ao desmame (PDMAT), escore de condição corporal da vaca ao desmame (ECC), peso ao ano (PA), peso ao acasalamento (MW) e taxa de concepção (TC)), eficiência alimentar após a desmama (consumo de matéria seca (DMI), ganho médio diário (ADG) e consumo alimentar residual (CAR)), e dados da parição (área pélvica (AP) e facilidade de parto da novilha (CDIF)).

O escore de vigor das bezerras (VIG) foram avaliados logo após o nascimento com pontuações de 1 a 6, sendo: 1 = bezerro se levanta sozinho e mama em menos de uma hora; 2 = bezerro se levanta sozinho e mama entre uma e duas horas; 3 = bezerro precisou de ajuda para se levantar depois de duas horas, mas uma vez que estava de pé, mamava sozinho; 4 = bezerro precisou de ajuda para se levantar após 2 horas e ficar em pé para mamar; 5 = bezerro teve que ser alimentado por sonda ou mamadeira após duas horas (apenas uma vez, depois mamou por conta própria); e 6 = bezerro teve que ser alimentado por sonda ou mamadeira repetidamente. O PN foi coletado até 24 horas após o nascimento, nesse mesmo momento, foi coletado o escore de condição corporal (ECC) das matrizes, em uma escala que varia de um (extremamente emaciado) a nove (severamente obeso) (Herd e Sprott, 1986).

Escore de facilidade do parto (CDIF) coletado logo que o final do parto, variou de 1 a 6: 1 = sem dificuldade; 2 = pequena assistência, por exemplo, mãos utilizadas para posicionar uma pata e puxar; 3 = parto difícil; 4 = parto extremamente difícil, incluindo cesariana; 5 = apresentação anormal do bezerro.

Todos os bezerros nasceram em março e abril. Do nascimento até o desmame (média de 198 dias), vacas e bezerros foram mantidos sob as mesmas condições alimentares, à base de silagem de milho, pasto nativo, feno de trigo ou alfafa e cevada ou grão de milho. Ao desmame, em outubro, os animais foram mantidos ao ar livre e distribuídos em baias equipadas com quatro cochos para medir o consumo alimentar residual (GrowSafe Systems Ltd., Airdrie, Alberta, Canadá). Para o teste de eficiência alimentar, as bezerras tiveram no mínimo 21 dias de adaptação às dietas experimentais, foram alimentadas *ad libitum* duas vezes ao dia, o consumo individual da dieta foi medido ao longo de 70 a 86 dias. As fêmeas foram pesadas em intervalos de 14 dias.

Os ingredientes da dieta variaram ao longo dos sete anos avaliados. Todas as dietas foram à base de silagem de milho, pasto, feno de trigo ou alfafa, grão de cevada ou milho e um pellet comercial de confinamento (Tabela 1). Os ingredientes mudaram dependendo da disponibilidade das commodities ao longo dos anos. Os ingredientes foram analisados anualmente no Midwest Labs, NE, EUA, sendo determinado os teores de Proteína bruta (PB), fibra detergente ácido, nutrientes digestíveis totais e energia líquida. As dietas foram ajustadas para atender as exigências do NRC (2000) para novilhas em crescimento com frame moderado, peso adulto de 570 kg e ganho de 1,0 kg/d. Foram fornecidos, no mínimo, 9,3% de Proteína Bruta (PB) e 1,0 Mcal/kg de Matéria Seca (MS).

Tabela 1. Ingredientes da dieta utilizados nos sete testes de consumo alimentar residual das novilhas Hereford – Linhagem 4 da Montana State University (MSU), Northern Agricultural Research Center (NARC)

% da dieta	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Silagem de milho	50	50	62	60	40	40	40
Feno de campo nativo	20	20			20	20	20
Alfalfa				9	22	22	22
Grão de cevada	20	20		19			
Milho em grão			14		18	18	18
Feno de cevada			10	12			
Palha	10	10					
Trevo			14				
NDT (%)	64.20	64.20	65.22	65.58	65.96	65.96	65.96

PB (%)	12.47	12.47	10.20	10.53	11.88	11.88	11.88
EM (Mcal/kg)	2.33	2.33	2.36	2.37	2.38	2.38	2.38

As dietas foram ajustadas diariamente ao longo dos testes. O consumo alimentar residual (CAR) foi calculado como a diferença entre o consumo de matéria seca observada (DMI; kg/dia) menos o consumo de matéria seca predito através de ajustes para peso vivo médio metabólico (MBW) e ganho diário médio em peso, utilizando o procedimento PROC MIXED do SAS 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC, EUA). O DMI predito foi obtido através do modelo de regressão múltipla (Koch et al., 1963):

$$\text{DMI predito} = \beta_0 + \beta_1\text{ADG} + \beta_2\text{MBW}^{0.75} + \varepsilon \text{ (CAR)}$$

Onde: β_0 – intercepto da regressão; β_1 – coeficiente de regressão parcial sobre o ganho médio diário (ADG); β_2 – coeficiente de regressão parcial sobre MBW; ε – erro residual do consumo predito do animal.

As fêmeas foram classificadas em grupos conforme seu desempenho no CAR, sendo alto (A) (menos eficiente; >0,5 desvio padrão (DP) acima da média), médio (M) (médio; $\pm 0,5$ DP da média) e baixo (B) (mais eficiente; <0,5 DP abaixo da média). O Ganho Médio Diário (ADG) foi calculado por meio da quantidade de peso que um animal ganhou desde o início do teste dividido pelo número de dias do teste de CAR.

A medida da área pélvica das novilhas foi realizada com um pelvímeter (Lane Manufacturing, Denver, CO) ao final do CAR. O acasalamento das novilhas, por meio da monta natural, foi realizado quando atingiram média de 308kg de peso e 377 dias de idade, com variação de 316 a 434 dias de idade. O diagnóstico de gestação foi realizado via palpação retal, 60 dias após o final da temporada reprodutiva.

O coeficiente de endogamia foi estimado com base no pedigree usando o programa REML livre de derivativos de múltiplas características (MTDFNRM do pacote MTDFREML) de Boldman *et al.* (1995) modificado por Dodenhoff *et al.* (1998). Para calcular os coeficientes de endogamia foram usados dados de

pedigree do rebanho de 1976 a 2018 da American Hereford Association Herdbook.

A análise do percentual de consanguinidade, vigor ao nascimento, peso ao nascimento, dificuldade do parto, escore de condição corporal da vaca ao parto, peso a desmama, peso ao ano, eficiência alimentar após a desmama (consumo de matéria seca, ganho médio diário e consumo alimentar residual), área pélvica e facilidade de parto foram realizadas usando o General Linear Model (GLM). Coeficientes de correlação entre características de desempenho produtivo e reprodutivo, eficiência alimentar e consanguinidade foram gerados pelo procedimento PROC CORR. Todas as análises foram realizadas usando o programa SAS 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA).

Resultados

O grau médio de consanguinidade para as novilhas Hereford foi de 16,20%, variando de 11,5% a 26,0%. O nível de consanguinidade por ano foi de 15,94; 16,99; 15,12; 16,86; 15,90; 16,11 e 16,25 de 2012 a 2018, respectivamente. A taxa média de concepção das novilhas avaliadas foi 67,51%, variando de 54,84 a 83,33% durante os anos (Tabela 2). Os pesos ao acasalamento representaram 54,06% de média do peso da vaca adulta, 58,82; 43,62; 49,82; 52,39; 54,35; 58,65 e 60,78, de 2012 a 2018, respectivamente.

Tabela 2. Estatísticas resumidas e médias de desempenho e eficiência alimentar das novilhas avaliadas por ano de nascimento.

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Média
N	29	31	22	29	36	27	24	28,29
CONS	15,94	16,99	15,12	16,86	15,90	16,11	16,25	16,17
Nascimento								
VIG	1,00	1,27	1,04	1,24	1,28	1,66	1,00	1,21
PN	29,97	35,82	35,43	34,29	36,07	33,99	32,74	34,04
Desempenho								
ID	262,55	250,48	189,81	177,68	192,16	174,33	184,04	204,44
PD	138,88	150,49	207,38	227,38	213,59	221,73	188,84	192,61
PDMAT	551,32	555,64	579,81	572,93	607,95	572,27	554,71	570,66
ECC	7,00	5,00	5,86	5,81	6,41	6,30	6,41	6,11

PA	286,01	259,19	282,56	294,68	310,57	323,39	323,79	297,17
MW	324,26	242,37	288,86	300,17	330,42	335,65	337,15	308,41
Acasalamento								
P14m	17	17	13	18	29	20	20	19,14
TC	58,62	58,84	59,09	62,07	80,56	74,07	83,33	67,51
AP	157,89	150,88	144,75	154,84	131,13	140,39	134,01	144,84
Eficiência alimentar								
DMI	6,010	4,695	5,924	5,293	6,114	5,803	5,132	5,567
ADG	1,050	0,640	0,445	0,377	0,701	0,767	0,724	0,672
CAR	-0,357	-1,261	0,112	0,208	0,973	0,181	0,043	-0,014
B	15	30	8	9	6	6	11	12,14
M	10	1	6	5	4	8	3	5,29
A	4	0	8	15	26	13	10	10,86

n – População; CONS – Consanguinidade (%); VIG – Vigor ao nascimento; PN – Peso ao nascimento (kg); ID – Idade à desmama (dias); PD – Peso à desmama (kg); PDMAT – Peso ao desmame da matriz (kg); ECC – Escore de condição corporal; PA – Peso ao ano (kg); MW – Peso ao acasalamento (kg); P14m – Prenhe aos 14 meses; TC – Taxa de concepção (%); AP – Área pélvica (cm²); DMI – Consumo de matéria seca (kg/dia); ADG – Ganho médio diário (kg); CAR – Consumo alimentar residual (kg/kg); MW – Peso ao acasalamento (kg); B – Baixo CAR; M – Médio CAR; A – Alto CAR.

O VIG ao nascimento das novilhas avaliadas foi influenciado pelo PN ($P < 0,05$) com associação negativa ($rp = -0,218$), portanto, quanto mais leves foram as terneiras ao nascimento, mais tempo demoravam para se levantar e mamar sozinhas ou obtiveram alguma interferência humana nesse processo, como fornecimento de colostro através de mamadeira ou sondagem (Tabela 4). PD apresentou correlação positiva com o PA ($rp = 0,529$), CAR ($rp = 0,512$), MW ($rp = 0,429$), PDMAT ($rp = 0,307$), e correlação negativa com o ADG ($rp = -0,350$), além de haver efeito do ano de avaliação ($P < 0,001$), bem como PA e área pélvica foram influenciados pelo ano de avaliação ($P < 0,05$), além do PA sofrer influência positiva do CAR ($rp = 0,415$). Os dados relacionados ao CAR (ADG, DMI e MWM) obtiveram influência do ano da avaliação ($p < 0,0001$), além disso, o CAR mostrou-se associado positivamente com consumo de matéria seca ($rp = 0,910$), porém, não houve associação com ganho diário médio ou peso metabólico na metade do teste.

As avaliações de eficiência alimentar da população avaliada (Figura 1) não diferiram estatisticamente das novilhas que conceberam aos 14 meses (Tabela 3).

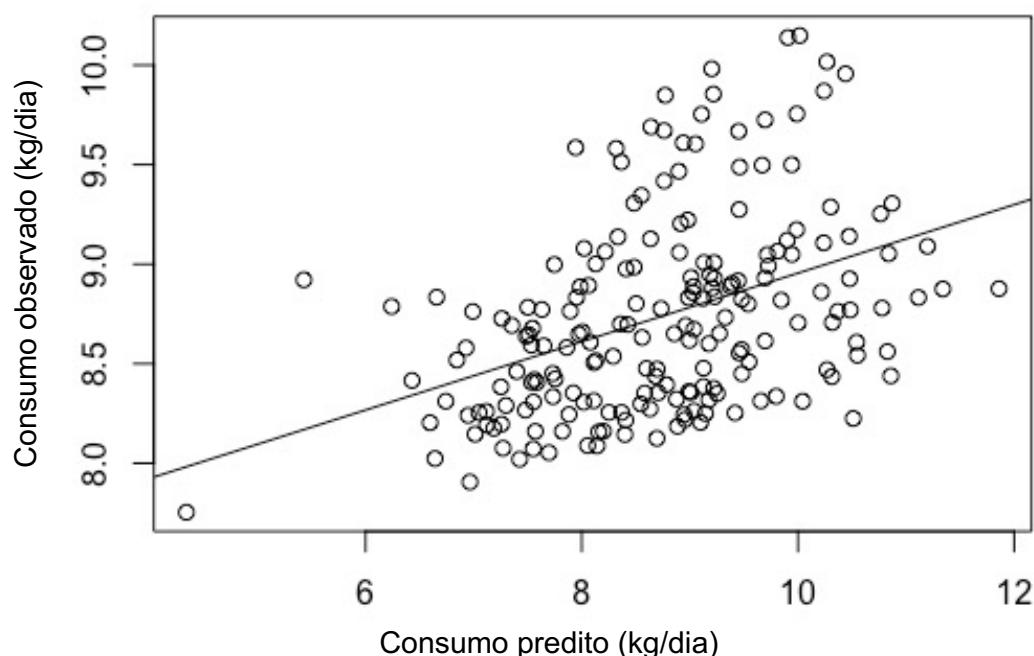


Figura 1. Consumo alimentar predito versus observado. As novilhas abaixo da linha são mais eficientes do que os animais acima da linha.

Tabela 3. Dados de eficiência alimentar por ano e classes das novilhas que empenharam aos 14 meses.

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Média
DMI	6,064	4,580	5,932	5,369	6,075	5,837	5,127	5,569
ADG	1,045	0,642	0,443	0,372	0,706	0,779	0,714	0,672
CAR	-0,272	-1,443	0,132	0,329	0,897	0,196	0,052	-0,016
Freq Baixo	47,06	100,00	30,77	22,22	17,24	20,00	45,00	40,33
Freq Médio	29,41	0,00	30,77	16,67	13,79	25,00	15,00	18,66
Freq Alto	23,53	0,00	38,46	61,11	68,97	55,00	40,00	41,01

DMI – Consumo de matéria seca (kg/dia); ADG – Ganho médio diário (kg); CAR – Consumo alimentar residual (kg/kg); Freq Baixo – Frequência da classe baixo CAR (%); Freq Médio – Frequência da classe médio CAR (%); Freq Alto – Frequência da classe alto CAR (%).

O peso ao acasalamento das novilhas foi influenciado apenas pelo ano da avaliação ($P < 0,001$), também obteve alta relação positiva com o peso adulto ($r_p=0,942$). O PN da progênie das novilhas avaliadas diferiu apenas entre o sexo dos bezerros ($P < 0,001$). As matrizes foram acompanhadas durante toda a parição, e embora nenhuma das variáveis avaliadas foram afetadas pela variação da consanguinidade, após o parto, alguma das novilhas tinham seu comportamento alterado durante a parição. Foram observadas diferentes reações comportamentais imediatamente após parir, algumas novilhas não se interessavam pelo bezerro, não lambiam ou cheiravam a cria, as matrizes permaneciam deitadas e não levantavam, como se não soubessem que já haviam parido.

Tabela 4. Coeficientes de correlações de Pearson entre as variáveis analisadas

	VIG	PD	PA	AP	DMI	ADG	MWM	CAR	MW	ECC	PN	PDMAT	CONS
PD	-0,015												
PA	0,130	0,529**											
AP	-0,054	-0,002	0,038										
DMI	0,096	0,033**	0,482**	-0,003									
ADG	0,097	-0,350**	0,248*	0,148	0,399**								
MWM	-0,110	0,343**	-0,183*	0,009	-0,276**	-0,843**							
CAR	0,069	0,512**	0,415**	-0,099	0,910**	0	0						
MW	0,135	0,427**	0,942**	0,047	0,598**	0,389**	-0,240*	0,467**					
ECC	-0,031	0,065	0,231*	-0,076	0,365**	0,425**	-0,310**	0,204*	0,361**				
PN	-0,218*	0,429**	0,108	0,023	0,026	-0,141	0,069	0,102	-0,034	-0,068			
PDMAT	-0,182	0,307**	0,127	0,053	0,143	0,01	-0,017	0,155	0,093	0,0368**	0,437**		
CONS	0,017	-0,026	-0,474	0,042	-0,081	-0,073	0,048	-0,054	-0,089	-0,144	-0,093	-0,031	
CDIF	-0,018	-0,015	-0,058	-0,08	-0,011	0,028	-0,060	-0,017	-0,082	-0,035	0,100	-0,077	0,028

**p<0,01; *p<0,05; VIG – Vigor ao nascimento; PD – Peso à desmama; PA – Peso ao ano; AP – Área pélvica; DMI – consumo de matéria seca; ADG – Ganho médio diário; MWM – Peso vivo médio metabólico; CAR – Consumo alimentar residual; MW – Peso ao acasalamento; ECC – Escore de condição corporal; PN – Peso ao nascimento; PDMAT – Peso ao desmame da matriz; CONS – Consanguinidade; CDIF – Facilidade de parto

Discussão

Foi avaliada a influência da endogamia no desempenho produtivo, eficiência alimentar, medido através do CAR, e desempenho reprodutivo, medidos pela taxa de concepção até dados do primeiro parto das novilhas Hereford. Os nossos resultados mostraram que a consanguinidade não teve efeito sobre as variáveis avaliadas. Considerando estudos com vacas Holandesas (Miglioret al.,1994), vacas Jersey (Gulisija et al.2006) e suínos (Rodriganez et al.,1998; Casellas et al.,2008), há uma grande magnitude de efeitos da consanguinidade neutros, negativos ou eventualmente positivos. Segundo Leroy (2014), esses achados sustentam a hipótese de que grande parte da carga genética pode ser devida a um pequeno número de alelos, podendo ou não ter efeitos deletérios. Para uma determinada característica e dependendo da população em estudo, a intensidade da depressão endogâmica pode depender da variância de dominância dentro da característica (Misztal; Lawlor; Gengler, 1997), ou seja, do número de genes envolvidos, seu modo de ação na depressão endogâmica (Curik; Sölkner; Stipić, 2001) e ao histórico de seleção da população estudada.

As novilhas do experimento pertencem a um rebanho Hereford chamado Linhagem 4. Esse rebanho originou-se de vacas da Linhagem 1 que foram mantidas no Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) – próximo a Miles City, MT, que serviu como base de fêmeas mantidas pela NARC desde 1962 (Nevins, 1986). O rebanho da Linhagem 4 está fechado desde 1976, e até 1995 as decisões de seleção para a linha foram feitas com base no uso de um índice para ajuste de peso ao ano e peso ao nascimento (Nevins, 1986; Rumph et al., 2004). Todos os animais dessa linhagem têm um nível de consanguinidade, em maior ou menor grau.

Os percentuais de consanguinidade encontrados nas novilhas são considerados moderados (10 – 20%) a altos, valores acima de 20% (Croquet et al.2007). Esse nível de consanguinidade encontrado nas novilhas é maior que 2,92%, na Linhagem Hereford 1 (Sumreddee et al., 2019), 5,5%, 6,5%, e 5,1% em vacas das raças Holandesa, Jersey e Pardo Suiço, respectivamente (VanRaden et al., 2011).

Era esperado que a cada geração os animais tivessem um ganho genético de endogamia, o que não foi verificado, tendo em vista que os percentuais de consanguinidade pouco variaram entre os anos avaliados e não diferiram entre eles. O animal com menor consanguinidade (11,5%) nasceu em 2014, enquanto os dois

com maiores níveis (26%), nasceram em 2013 e 2015. Diferente do encontrado por Pereira et al (2005) em um rebanho Caracu, que verificou o ganho esperado na consanguinidade, por geração, de 0,5%. Corroborando com Leroy (2014), que a depressão endogâmica é específica da população estudada, ou seja, mais relacionada às frequências alélicas segregadas dentro de cada população ou raça, do que devido às especificidades fisiológicas de uma espécie.

O ano de avaliação das coletas teve efeito sobre as variáveis avaliadas. A parição e desmama dos animais ocorreu durante outono e inverno, onde a temperatura tem média de -13°C e presença constante de neve. As interações entre consanguinidade e meio ambiente está relacionada à questão da homeostase genética, afirmando que os indivíduos heterozigotos são menos afetados aos estresses ambientais do que os homozigotos, uma vez que a endogamia enfraquece a homeostase (Princhner, 1983). A capacidade adaptativa às modificações do ambiente constitui traços de interesse crescente para os produtores, principalmente devido às preocupações relativas às mudanças climáticas (Piling e Hoffmann, 2011), Jimenez et al. (1994) mostrou diminuição na sobrevivência de camundongos endogâmicos em ambiente natural comparado ao cativo.

Nas características de crescimento (PN, PD e PA), foram encontrados resultados similares no estudo de Pereira et al. (2005), e diferentes de Sumreddee et al. (2019), onde houve influência da endogamia nesses parâmetros. A depressão endogâmica mostrou que a cada 1% de aumento na consanguinidade, diminui 1,2kg, 2,03kg e 0,004kg/dia em PD, PA e ADG, respectivamente, o que não aconteceu em nosso estudo.

Os animais considerados eficientes para CAR apresentam menores consumo de matéria seca devido a sua melhor capacidade de digerir e absorver os nutrientes advindos da dieta, o que permite a seleção de animais com menores custos produtivos oriundos da alimentação. O CAR mostrou-se associado positivamente com consumo de matéria seca, porém, não houve associação com ganho diário médio ou peso metabólico na metade do teste, em comparação, Nkrumah et al. (2004) obtiveram altas associações entre DMI, ADG e MWM ($r_p = 0,66$ e $r_p = 0,70$, respectivamente), para o consumo de matéria seca, nosso estudo encontrou uma maior associação ($r_p = 0,910$). São muitos os fatores metabólicos que podem contribuir para a variação no CAR (Herd e Arthur, 2009) e sua regulação fisiológica é controlada por vários genes (Moore; Mujibi; Sherman, 2009; Sherman et al., 2009). Os principais mecanismos

fisiológicos que influenciam a variação no CAR estão relacionados às exigências de manutenção, resposta ao estresse, metabolismo dos tecidos e incremento calórico (Richardson et al., 2004).

Não foram observadas diferenças nas taxas de concepção entre as classes de CAR, as taxas de concepção foram de 60% CAR baixo, 64,86% CAR médio e 77,63% CAR alto ($P = 0,141$). Tais resultados estão de acordo com os estudos de Basarab et al. (2007), Donoghue et al (2011) e Shaffer et al (2011), em que os autores também não obtiveram diferenças entre as taxas de concepção entre as classes. Os animais ditos eficientes, CAR baixo, possuem uma tendência a maiores espessuras de gordura, favorável à reprodução, pois o acúmulo de gordura atua no aumento das modificações no sistema neuroendócrino (Cardoso; Alves; Williams, 2018), fator esse que pode explicar o motivo de que todas as novilhas que conceberam no ano de 2013 eram da classe CAR baixo. Existe associações entre CAR e idade à puberdade em novilhas em crescimento (Shaffer et al., 2011). Vacas Angus selecionadas para baixo CAR após 1,5 gerações tenderam a parir cinco dias mais tarde do que suas contemporâneas com alto CAR (Arthur et al., 2005). O mesmo foi encontrado em testes de novilhas pós-desmame, pois apresentam menor demanda energética ao parto e energia adicional associada ao desenvolvimento e atividade sexual (Basarab et al., 2011).

O principal desencadeador da atividade reprodutiva de novilhas de corte é a ocorrência de um peso mínimo, associado à idade cronológica. Existe uma relação linear entre peso e fertilidade até os 65% do peso vivo adulto (Gasser et al., 2006), esse percentual não foi atingido pelas novilhas até o momento do início do acasalamento, mas foram alcançados até a metade da estação reprodutiva. No entanto, estudos realizados comparando sistemas intensivos com extensivos constataram que pesos alvo mais baixos, 50% do peso adulto, reduzem os custos de produção e não afetam negativamente o desempenho reprodutivo (Roberts et al., 2009; Funston and Larson, 2011; Mulliniks et al., 2013). A taxa de prenhez de acordo com o percentual do peso adulto nesse estudo foi similar ao encontrado por Landarin et al. (2016), em que novilhas acasaladas aos 14 meses com média de 52,82% do peso adulto apresentaram 62,9% de prenhez.

Conforme sugerido por Eaglen et al. (2011), os efeitos associados a partos difíceis podem ter consequências a longo prazo nos bezerros. A grande maioria das novilhas do estudo tiveram facilidade de parto, apenas uma teve que ser submetida à cesárea,

por incompatibilidade de tamanho fetal e da pelve. A mortalidade nos primeiros 30 dias de vida foi de 3,2% com coeficiente de endogamia médio de 5,14% (Fuerst-Waltl & Fuerst, 2012), diferindo do encontrado por nós, onde a média encontrada em nosso estudo, no mesmo período de 30 dias, foi de 12%, variando durante os anos de 0 a 28%.

Conclusão

A consanguinidade não influenciou o desempenho, eficiência alimentar e características reprodutivas das novilhas Hereford. O ano avaliado foi o principal responsável pelo efeito nessas variáveis avaliadas. O percentual de consanguinidade médio foi muito maior do que a maioria das populações de bovinos já estudadas, apesar disso, a média das características avaliadas está dentro dos valores médios relatados nas populações com leve ou nenhum grau de consanguinidade.

Agradecimentos

Ao CNPq pela concessão de bolsa de doutorado ao primeiro autor, CAPES, Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e Montana State University, que cedeu os animais para a realização deste estudo.

Referências bibliográficas

BASARAB, J. A. et al. Residual feed intake and body composition in young growing cattle. *Canadian Journal of Animal Science*, Ottawa, v.83, n.2, p. 189-204, 2003.

BASARAB, J. A. et al. Relationships between progeny residual feed intake and dam productivity traits. *Canadian Journal of Animal Science*, Ottawa, v.87, n.4, p. 489-502, 2007.

CARDOSO, R. C.; ALVES, B. R. C.; WILLIAMS, G. L. Neuroendocrine signaling pathways and the nutritional control of puberty in heifers. In: INTERNATIONAL RUMINANT REPRODUCTION SYMPOSIUM (IRRS 2018), Foz do Iguaçu, Paraná, Brazil. Proceedings... Foz do Iguaçu, 2018.

Carrillo J.A. & Siewerdt F. (2010) Consequences of long-terminbreeding accumulation on preweaning traits in a closednucleus Angus herd. *Journal of Animal Science*, p.88,87–95.

Casellas J., Varona L., Ibanez-Escriche N., Quintanilla R. & Noguerra J.L. (2008) Skew distribution of founder-specificin breeding depression effects on the longevity of Landrace sows. *Genetics Research*, 90, 499–508.

Croquet C., Mayeres P., Gillon A., Hammami H., Soyeurt H., Vanderick S. & Gengler N. (2007) Linear and curvilinear effects of inbreeding on production traits for Walloon Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 90, 465–71

Curik I., Solkner J. & Stipic N. (2001) The influence of selection and epistasis on inbreeding depression estimates. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 118, 247–62.

Dezetter, C, Leclerc, H, Mattalia, S, Barbat, A, Boichard, D and Ducrocq, V (2015) Inbreeding and crossbreeding parameters for production and fertility traits in Holstein, Montbéliarde, and Normande cows. *Journal of Dairy Science* 98, 4904–4913.

DONOGHUE, K. A., et al. Onset of puberty and early-life reproduction in Angus females divergently selected for post-weaning residual feed intake. *Animal Production Science*, Melbourne, v. 51, n.3, p.183–190, 2011.

Eaglen, S.A.E., Coffey, M.P., Woolliams, J.A., Mrode, R., Wall, E. Phenotypic effects of calving ease on the subsequent fertility and milk production of dam and calf in UK Holstein-Friesian heifers. *J. Dairy Sci.*, 94 (2011), pp. 5413-5423

Falconer D.S. & Mackay F.C. (1996) *Introduction to Quantitative Genetics*, 4th edn. Longman Group Ltd, Harlow, UK.

Fuerst-Waltl, B. & Fuerst, C. Effect of inbreeding depression on survival of Austrian Brown Swiss calves and heifers. *Journal of Dairy Science*, v.95 (10), p. 6086-6092, 2012.

Funston, R. N. and Larson, D. M. 2011. Heifer development system: Dry-lot feeding compared with grazing dormant winter forage. *Journal of Animal Science* 89:1595-1602.

GASSER, C. L. et al. Induction of precocious puberty in heifers I: enhanced secretion of luteinizing hormone¹. *Journal of Animal Science*, Champaign, v. 84, n. 8, p. 2035-2041, 2006.

Gulisija D., Gianola D., Weigel K.A. & Toro M.A. (2006) Between-founder heterogeneity in inbreeding depression for production in Jersey cows. *Livestock Science* 104, 244–53.

Gutiérrez-Reinoso, M., Aponte, P., & García-Herreros, M. (2022). A review of inbreeding depression in dairy cattle: Current status, emerging control strategies, and future prospects. *Journal of Dairy Research*, 89(1), 3-12.
doi:10.1017/S0022029922000188

HERD, R. M.; ARTHUR, P. F. Physiological bases for residual feed intake. *Journal of Animal Science*, Champaign, v. 87, (Suppl 14), p. 64-71, 2009.

Herd, D.H. and Sprott, L.R. 1986. *Body Condition, Nutrition and Reproduction of Beef Cows*. Texas Agricultural Extension Service, B-1526, 1-11.

- Jiménez J.A., Hughes K.A., Alaks G., Graham L. & Lacy R.C. (1994). An experimental study of inbreeding depression in a natural habitat. *Science*, 266, 271–3.
- Keller, D. G., and J. S. Brinks. 1978. Inbreeding by environment interactions for weaning weight in Hereford cattle. *J. Anim. Sci.* 46:48–53.
- Landarin, C. M., Lobato, J.F.P., Tarouco, A. K., Tarouco, J. U., Eloy, L.R., Pötter, L., Rosa, A. A. G. Growth and reproductive performance of 14- to 15-month-old Hereford heifers. *Ruminants, R. Bras. Zootec.* 45 (11), 2016
- LEME, P.R., GOMES, R.C. Características de carcaça de novilhos Nelore com diferente consumo alimentar residual. In: XX Reunión Asociación Latinoamericana de Producción Animal (ALPA). Cuzco, Perú. Anais da XX Reunión Asociación Latinoamericana de Producción Animal (ALPA), 2007.
- LEROY, G. Inbreeding depression in livestock species: review and meta-analysis. *Animal Genetics*, p. 618–628, 2014. doi: 10.1111/age.12178618
- Miglior F., Burnside E.B. & Hohenboken W.D. (1994) Heterogeneity among families of Holstein cattle in inbreeding depression for production traits. In:5th WCGALP, Guelph, Canada.
- Misztal I., Lawlor T.J. & Gengler N. (1997) Relationships among estimates of inbreeding depression, dominance and additive variance for linear traits in Holsteins. *Genetics Selection Evolution*29, 319–26.
- MOORE, S.; MUJIBI, F.D.; SHERMAN, E.L. Molecular basis for Residual Feed Intake in beef cattle. **Journal of Animal Science**, Savoy, v.87, p.41-47, 2009.
- Mulliniks, J. T.; Hawkins, D. E.; Kane, K. K.; Cox, S. H.; Torell, L. A.; Scholljegerdes, E. J. and Petersen, M. K. 2013. Metabolizable protein supply while grazing dormant winter forage during heifer development alters pregnancy and subsequent in-herd retention rate. *Journal of Animal Science* 91:1409-1416.
- National Research Council – NRC. 2000. Nutrient requirements of beef cattle. 7. rev. ed. Washington, D.C.: National Academic Press, 242p.
- Nelms, G. E., and P. O. Stratton. 1967. Selection practiced and phenotypic change in a closed line of beef cattle. *J. Anim. Sci.* 26:274–277.
- Nevins, D. I. 1986. Effects of inbreeding and selection in a closed line of Hereford cattle. M.S. Thesis. Montana State University, Bozeman.
- NKRUMAH, J. D. et al. Different measures of energetic efficiency and their phenotypic relationships with growth, feed intake and ultrasound and carcass merit in hybrid cattle. *Journal of Animal Science*, Champaign, v.82, n. 8, p. 2451–2459, 2004.

Pereira, M.C., Mercadante, M. E. Z., Albuquerque, L. G., Razook, A.G. Estimativa de Ganho Genético a Partir de Diferenciais de Seleção e Parâmetros Populacionais em um Rebanho Caracu. R. Bras. Zootec., v.34, n.6, p.2245-2252, 2005

Piling D. & Hoffmann I. (2011). Climate Change and Animal Genetic Resources for Food and Agriculture: State of Knowledge, Risks and Opportunities. FAO, Roma.

Pirchner, F. 1983. Population genetics in animal breeding 20.ed. New York: Plenum Press. 414p.

Pryce, J, Haile-Mariam, M, Goddard, M and Hayes, B (2014) Identification of genomic regions associated with inbreeding depression in Holstein and Jersey dairy cattle. Genetics Selection Evolution 46, 1–14.

RICHARDSON, E. C.; R. M. Herd. Biological basis for variation in residual feed intake in beef cattle. 2. Synthesis of results following divergent selection. Australian Journal of Experimental Agriculture, Melbourne, v.44, n. 5, p.431– 440, 2004.

Roberts, A. J.; Geary, T. W.; Grings, E. E.; Waterman, R. C. and MacNeil, M. D. 2009. Reproductive performance of heifers offered ad libitum or restricted access to feed for a one hundred forty-day period after weaning. Journal of Animal Science 87:3043-3052.

Rodriganez J., Toro M.A., Rodriguez M.C. & Silio L. (1998) Effect of founder allele survival and inbreeding depression on litter size in a closed line of Large White pigs. Animal Science 67,573–82.

Rumph, J. M., D. D. Kress, K. C. Davis, D. C. Anderson, H. C. Van Wagoner, and D. L. Boss. 2004. Characterization of the Montana Line 4 inbred Hereford herd. Proc. West. Sec. Amer. Soc. Anim. Sci. 56:116-120.

SHAFFER, K. S. et al. Residual feed intake, body composition, and fertility in yearling beef heifers. Journal of Animal Science, Champaign, v. 89, n. 4, p. 1028-1034.2011.

SHERMAN E.L. *et al.* Fine mapping quantitative trait loci (QTL) for feed intake and feed efficiency in beef cattle **Journal of Animal Science**, Savoy, v.87, p.37-45, 2009.

Statistical Analysis Systems Institute, 2003. SAS/STAT. SAS Systems for Windows, Release 9.4. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.

Sumreddee, P., Toghiani, S., Hay, E. H., Roberts, A., Agrrey, S. E., & Rekaya, R. (2019). Inbreeding depression in line 1 Hereford cattle population using pedigree and genomic information. Journal of animal science, 97(1), 1–18.
<https://doi.org/10.1093/jas/sky385>

VanRaden P., Olson K., Wiggans G., Cole J., and Tooker M.. 2011. Genomic inbreeding and relationships among Holsteins, Jerseys, and Brown Swiss. J. Dairy Sci. 94: 5673–5682. doi: 10.3168/jds.2011-4500

WRIGHT, A. D. Evaluating Residual Feed Intake in Replacement Heifer Calves for Correlation with Breed and Sire. 2014. 41 f. Dissertação (Mestrado) - Department Of Animal Science, University of Arizona, Arizona, 2014.

CAPÍTULO IV

Considerações finais

Com base nos resultados encontrados no presente estudo, o percentual de consanguinidade médio foi maior do que a maioria das populações de bovinos já estudadas, apesar disso, a média das características avaliadas está dentro dos valores médios relatados nas populações com leve ou nenhum grau de consanguinidade. Constatou-se que os diferentes graus de consanguinidade não influenciaram o desempenho produtivo, avaliado através das características de peso ao nascimento, vigor ao nascimento, peso à desmama, peso ao ano e peso ao acasalamento. Nas novilhas, essa característica também não afeta a eficiência alimentar, verificado através do consumo alimentar residual, e tampouco afeta dados de desempenho reprodutivo dessas fêmeas até o primeiro parto.

Nas novilhas Hereford, embora nenhuma das variáveis de desempenho reprodutivo avaliadas foram afetadas pela variação da consanguinidade, algumas matrizes apresentam alteração no comportamento materno após o parto, como diminuição ou falta de interesse no bezerro, não se levantar ou virar para cheirar e lamber a cria. O ano da coleta dos dados foi o principal responsável pelo efeito nas variáveis estudadas nas novilhas Hereford, possivelmente pela variação do clima durante os anos avaliados.

Nos touros Hereford da população estudada, a consanguinidade possui pouco efeito sobre os parâmetros estudados, sugerindo que a circunferência escrotal é pouco influenciada pelos altos níveis de consanguinidade. O consumo alimentar residual melhorou com o aumento dos níveis de consanguinidade, indicando uma forma alternativa de selecionar animais com menores custos produtivos, pois os touros que têm menor consumo de alimento e apresentam ganhos de peso significativos são os mais eficientes. Esta medida possibilita que produtor reduza os seus custos de produção e aumente a eficiência de seu sistema de cria.

Por fim, essencialmente todos os indivíduos de uma raça apresentam algum grau de consanguinidade. A endogamia pode ser uma ferramenta eficaz para perpetuar os genes de um ancestral geneticamente superior em destaque e de interesse dos produtores, porém, deverá ser utilizada somente por criadores que tenham compreensão clara do seu objetivo e de suas consequências.

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, D. C. *et al.* Heterosis among closed lines of Hereford cattle III: Postweaning growth and carcass traits in steers. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 62, n. 4, p. 950–957, 1986.
- ARCHER, J. A. *et al.* Potential for selection to improve efficiency of feed use in beef cattle: a review. **Australian Journal of Agricultural Research**, East Melbourne, v. 50, p. 147-161, 1999.
- ARMBRUSTER, P.; REED, D. H. Inbreeding depression in benign and stressful environments. **Heredity**, London, v. 95, p. 235–342, 2005.
- ARTHUR, P. F. *et al.* Genetic and phenotypic variance and covariance components for feed intake, feed efficiency, and other post-weaning traits in Angus cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 79, p. 2805-2811, 2001.
- ARTHUR, P. F.; RENAND, G.; KRAUSS, D. Genetic and phenotypic relationships among different measures of growth and feed efficiency in young Charolais bulls. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 68, n. 2/3, p. 131-139, 2001.
- ARTHUR, P. F. *et al.* Maternal productivity of Angus cows divergently selected for post-weaning residual feed intake. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Collingwood, v. 45, p. 985–993, 2005.
- BASARAB, J. A. *et al.* Residual feed intake and body composition in young growing cattle. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v. 83, n. 2, p. 189-204, 2003.
- BASARAB, J. A. *et al.* Relationships between progeny residual feed intake and dam productivity traits. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v. 87, n. 4, p. 489-502, 2007.
- BASARAB, J. A. *et al.* Residual feed intake adjusted for backfat thickness and feeding frequency is independent of fertility in beef heifers. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v. 91, n. 4, p. 573–584, 2011.
- BEILHARZ, R. The effect of inbreeding on reproduction in mice. **Animal Science**, Cambridge, v. 34, n. 1, p. 49-54, 1982.
- BELLER, I.; PLESNIK, J. The effect of inbreeding on performance of cows. **Animal Breeding Abstracts**, Wallingford, v. 43, p. 655, 1974.
- BLACK, W. H. Beef and dual-purpose cattle breeding. **Yearbook in Agriculture**, Washington, DC, p. 863-886, 1936.
- BLOUIN, M. S. DNA-based methods for pedigree reconstruction and kinship analysis in natural populations. **Trends in Ecology and Evolution**, Cambridge, v. 18, p. 503–511, 2003.

BOLDMAN, K. G. *et al.* **A manual for use of MTDFREML**: a set of programs to obtain estimates of variance and covariances. Lincoln: Department of Agriculture. Agricultural Research Service, 1995.120 p.

BOURDON, R. M. **Understanding animal breeding**. 2nd ed. New Jersey: Prentice-Hall, 2000.

BRINKS, J. S. *et al.* Heterosis in preweaning and weaning traits among lines of Hereford cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 26, n. 2, p. 278-284, 1967.

BRINKS, J. S.; KNAPP, B. W. **Effects of inbreeding on performance traits of beef cattle in the western region**. Fort Collins: Colorado State University Experiment Station, 1975. (Technical Bulletin, v. 123).

BROTHERSTONE, S.; GODDARD, M. Artificial selection and maintenance of genetic variance in the global cow population. **Philosophical Transactions of the Royal Society Biological Sciences**, London, v. 360, p. 1479-1488, 2005.

BURFENING, P. J.; KRESS, D. D. Heterosis for most probable producing ability in Hereford cows. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 36, p. 7-10, 1973.

BURNS, W. C. *et al.* Genotype by environment interaction in Hereford cattle: II. Birth and weaning traits. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 49, n. 2, p. 403-409, 1979.

BURROW, H. M. The effects of inbreeding in beef cattle. **Animal Breeding Abstracts**, Wallingford, v. 61, n. 11, p. 737-751, 1993.

BUTTS, W. T. *et al.* Performance of two lines of Hereford cattle in two environments. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 33, n. 5, p. 923-932, 1971.

CAIRES, D. N. *et al.* Tabapuã breed in Northeastern Brazil: genetic progress and population structure. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 41, n. 8, p. 1858-1865, 2012.

CARDOSO, R. C.; ALVES, B. R. C.; WILLIAMS, G. L. Neuroendocrine signaling pathways and the nutritional control of puberty in heifers. **Animal Reproduction**, Belo Horizonte, v.15, p. 868-878, 2018. Supl. 1. Trabalho apresentado no 10th International Ruminant Reproduction Symposium (IRRS 2018); Foz do Iguaçu, PR, Brazil, September 16th to 20th, 2018.

CARRILLO, J. A.; SIEWERDT, F. Consequences of long-term inbreeding accumulation on preweaning traits in a closed nucleus Angus herd. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 88, p. 87-95, 2010.

CASELLAS, J. *et al.* Skew distribution of founder-specific inbreeding depression effects on the longevity of Landrace sows. **Genetics Research**, London, v. 90, n. 6, p. 499-508, 2008.

CHARLESWORTH, D.; WILLIS, J. H. Fundamental concepts in genetics: the genetics of inbreeding depression. **Nature Reviews Genetics**, London, v. 10, p. 783-796, 2009.

CHENOWETH, P. J. *et al.* A new bull breeding soundness evaluation form. *In*: ANNUAL MEETING SOCIETY FOR THERIOGENOLOGY, 1992, San Antonio, Texas. **Proceeding of the [...]**. Mathews: Society of Theriogenology, 1992. p. 63–71.

CRC - COOPERATIVE RESEARCH CENTRE FOR CATTLE AND BEEF QUALITY. **CRC for beef genetic technologies prospectus**. Armidale: CRC, 2004.

CREWS, D. H. Genetics of efficient feed utilization and national cattle evaluation: a review. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v. 4, n. 2, p. 152-165, 2005.

CROQUET, C. *et al.* Linear and curvilinear effects of inbreeding on production traits for Walloon Holstein cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 90, n. 1, p. 465–471, 2007.

CURIK, I.; SÖLKNER, J.; STIPIĆ, N. The influence of selection and epistasis on inbreeding depression estimates. **Journal of Animal Breeding and Genetics**, Berlin, v. 118, p. 247–262, 2001.

CURIK, I. *et al.* Inbreeding depression for kit survival at birth in a rabbit population under long-term selection. **Genetics, Selection, Evolution**, London, v. 52, [art.] 39, 2020.

DAI, S. *et al.* Inbreeding and its effects on fleece traits of Inner Mongolia cashmere goats. **Small Ruminant Research**, Amsterdam, v. 128, p. 50-53, 2015.

DEROIDE, C. A. S. *et al.* Inbreeding depression and environmental effect on milk traits of the Murciano-Granadina goat breed. **Small Ruminant Research**, Amsterdam, v. 134, p. 44-48, 2016.

DEZETTER, C. *et al.* Inbreeding and crossbreeding parameters for production and fertility traits in Holstein, Montbéliarde, and Normande cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 98, n. 7, p. 4904–4913, 2015.

DICKENSON, H. H. The influence of Line 1 in the Hereford breed. *In*: FORT KEOGH LIVESTOCK AND RANGE RESEARCH STATION, 1984, Field Day, Miles City, Montana. **Proceedings of the [...]**. [Miles City, MT: USDA; Livestock and Range Research Laboratory], 1984. p. iii-vi.

DICKERSON, G. E. Inbreeding and heterosis in animals. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 1973, p. 54-77, 1973.

DODENHOFF, J. *et al.* Parameter estimates for direct, maternal, and grandmaternal genetic effects for birth weight and weaning weight in Hereford cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 76, n. 10, p. 2521-2527, 1998.

DOEKES, H. P. *et al.* Inbreeding depression due to recent and ancient inbreeding in Dutch Holstein–Friesian dairy cattle. **Genetics, Selection, Evolution**, London, v. 51, [art.] 54, 2019.

DONOGHUE, K. A. *et al.* Onset of puberty and early-life reproduction in Angus females divergently selected for post-weaning residual feed intake. **Animal Production Science**, Melbourne, v. 51, n. 3, p. 183–190, 2011.

DURHAM, S. Line 1 Hereford cattle: more than 75 years of research. **Agricultural Research**, New Delhi, v. 58, p. 14-15, 2010.

EAGLEN, S. A. E. *et al.* Phenotypic effects of calving ease on the subsequent fertility and milk production of dam and calf in UK Holstein-Friesian heifers. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 94, n. 11, p. 5413-5423, 2011.

ELANDT-JOHNSON, R. C. **Probability models and statistical methods in genetics**. New York: Wiley, 1971.

ELLER, A. L. A look back at BIF history. *In*: BEEF IMPROVEMENT FEDERATION. ANNUAL MEETING, 39., 2007, Fort Collins, Colorado. **Proceedings**. Manhattan: BIF, 2007. p. 10-14.

ELOLIMY, A. A. *et al.* Residual feed intake in beef cattle and its association with carcass traits, ruminal solid-fraction bacteria, and epithelium gene expression. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, London, v. 9, [art.] 67, 2018.

ERCANBRACK, S. K.; KNIGHT, A. D. Effects of inbreeding on reproduction and wool production of Rambouillet, Targhee, and Columbia ewes. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 69, p. 4734-4744, 1991.

FALCONER, D. S. **Introduction to quantitative genetics**. Edinburgh: Oliver & Boyd, 1960.

FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. **Introduction to quantitative genetics**. 4th ed. Essex: Pearson, 1996.

FLOWER, A. E. *et al.* Comparisons of inbred lines and linecrosses for performance traits in Hereford range cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 22, n. 4, p. 914-918, 1963.

FUERST-WALTL, B.; FUERST, C. Effect of inbreeding depression on survival of Austrian Brown Swiss calves and heifers. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 95, n. 10, p. 6086-6092, 2012.

FUNSTON, R. N.; LARSON, D. M. Heifer development system: dry-lot feeding compared with grazing dormant winter forage. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 89, p. 1595-1602, 2011.

GAINES, J. A. *et al.* Heterosis from crosses among British breeds of beef cattle: carcass characteristics. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 26, n. 6, p. 1217-1225, 1967.

GASSER, C. L. *et al.* Induction of precocious puberty in heifers I: enhanced secretion of luteinizing hormone. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 84, n. 8, p. 2035-2041, 2006.

GIBB, D. J.; MCALLISTER, T. A. The impact of feed intake and feeding behavior of cattle on feedlot and feed bunk management. *In*: WESTERN NUTRITION CONFERENCE, 1999, Calgary. **Proceedings of the [...]**. Mississauga, Ont.: Rhône-Poulenc Animal Nutrition, 1999. p. 101-116.

GIPSON, T. A. Preliminary observations: inbreeding in dairy goats and its effects on milk production. *In*: ANNUAL GOAT FIELD DAY, 17., 2002, Langston. **Proceedings**. Langston, Okla.: Langston University, 2002. p. 51-56.

GRANLEESE, T. *et al.* Increased genetic gains in sheep, beef and dairy breeding programs from using female reproductive technologies combined with optimal contribution selection and genomic breeding values. **Genetics, Selection, Evolution**, London, v. 47, [art.] 70, 2015.

GREGORY, K. E. *et al.* Germplasm utilization in beef cattle. *In*: WORLD CONGRESS ON GENETIC APPLIED TO LIVESTOCK PRODUCTION, 5., 1994, Guelph. **Proceedings of the [...]**. Guelph, Ontario: University of Guelph, 1994. v. 17, p. 261-268.

GULISIJA, D. *et al.* Between-founder heterogeneity in inbreeding depression for production in Jersey cows. **Livestock Science**, Amsterdam, v. 104, n. 3, p. 244-253, 2006.

GUTIÉRREZ-REINOSO, M.; APONTE, P. M.; GARCÍA-HERREROS, M. A review of inbreeding depression in dairy cattle: current status, emerging control strategies, and future prospects. **Journal of Dairy Research**, London, v. 89, n. 1, p. 3-12, 2022.

HAFLA, A. N. *et al.* Relationships between feed efficiency, scrotal circumference, and semen quality traits in yearling bulls. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 90, n. 11, p. 3937-3944, 2012.

HALL, M. B. What you feed vs. what you get: feed efficiency as an evaluation tool. *In*: ANNUAL FLORIDA RUMINANT NUTRITION SYMPOSIUM, 14., 2003, Gainesville. **[Proceedings ...]**. Gainesville: University of Florida, Florida Dairy Extension, 2003. p. 25-31. Disponível em: <http://dairy.ifas.ufl.edu/rns/2003/Hall.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2021.

HANSEN, P. J.; ARÉCHIGA, C. F. Estratégias para reduzir os efeitos do estresse térmico na eficiência reprodutiva. *In*: NOVOS ENFOQUES NA PRODUÇÃO E REPRODUÇÃO DE BOVINOS, 7., 2003, Uberlândia-MG. **Anais [...]**. Uberlândia: Unesp, 2003. p. 77-97.

HERD, D. H.; SPROTT, L. R. Body condition, nutrition and reproduction of beef cows. **Texas Agricultural Extension Service**, College Station, v. B-1526, p. 1-11, 1986.

HERD, R. M.; ARCHER, J. A.; ARTHUR, P. F. Reducing the cost of beef production through genetic improvement in residual feed intake: opportunity and challenges to application. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 81, n. 1, p. 9–17, 2003.

HERD, R. M.; ARTHUR, P. F. Physiological bases for residual feed intake. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 87, p. 64-71, 2009. Supl. 14.

HOWARD, J. T. **Utilizing genomic information to manage the diversity and minimize the unfavorable effects of inbreeding in livestock populations**. 2017. Thesis (Doctoral) - Department of Animal Science and Poultry Science, North Carolina State University, Raleigh, 2017.

HUANG, Y. *et al.* Using 50K single nucleotide polymorphisms to elucidate genomic architecture of line 1 Hereford cattle. **Frontiers in Genetics**, Lausanne, v. 3, [art.] 285, 2012.

JIMÉNEZ, J. A. *et al.* An experimental study of inbreeding depression in a natural habitat. **Science**, Washington, DC, v. 266, n. 5183, p. 271–273, 1994.

KELLER, D. G.; BRINKS, J. S. Inbreeding by environment interactions for weaning weight in Hereford cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 46, p. 48–53, 1978.

KELLY, J. K; WILLIS, J. H. Deleterious mutations and genetic variation for flower size in *Mimulus guttatus*. **Evolution**, Cambridge, v. 55, n. 5, p. 937-942, 2001.

KENNEDY, B. W.; WERF, J. H.; MEUWISSEN, T. H. Genetic and statistical properties of residual feed intake. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 71, n. 12, p. 3239-3250, 1993.

KHAN, M. S. *et al.* Effect of inbreeding on growth and reproduction traits of Beetal goats. **Archiv fur Tierzucht**, Dummerstorf, v. 50, n. 2, p. 197-203, 2007.

KINCAID, C. M. **Breed crosses with beef cattle in the south: a report of cooperative research under Southern Regional Project S-10**. [Auburn]: Alabama Agricultural Experiment Station, 1962. (Southern cooperative series bulletin, 81).

KNAPP, B. Jr.; NORDSKOG, A. W. Heritability for growth and efficiency in beef cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 5, p. 62-70, 1946.

KNAPP, B. Jr.; CLARK, R. T. Genetic and environmental correlations between growth rates of beef cattle at different ages. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 9, p. 582-587, 1947.

- KNAPP, B. Jr.; CLARK, R. T. Revised estimates of heritability of economic characteristics in beef cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 6, p. 174-181, 1950.
- KOCH, R. M. Size of calves at weaning as a permanent characteristic of range Hereford cows. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 10, p. 768–775, 1951.
- KOCH, R. M.; CLARK, R. T. Genetic and environmental relationships among economic characters in beef cattle. I. Correlation among paternal and maternal half-sibs. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 14, p. 775-785, 1955a.
- KOCH, R. M.; CLARK, R. T. Genetic and environmental relationships among economic characters in beef cattle. II. Correlation between offspring and dam and offspring and sire. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 14, n. 3, p. 786-791, 1955b.
- KOCH, R. M. *et al.* Efficiency of feed use in beef cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 22, n. 2, p. 486–494, 1963.
- KOCH, R. M. *et al.* Heterosis and breed effects on reproduction. *In*: FIELDS, M. J.; Sand, R. S. (ed.). **Factors affecting calf crop**. Boca Raton: CRC, 1994. p. 223-241.
- KÖCK, A.; FÜRST-WALTL, B.; BAUMUNG, R. Effects of inbreeding on number of piglets born total, born alive and weaned in Austrian Large White and Landrace pigs. **Archiv fur Tierzucht**, Dummerstorf, v. 52, p. 51-64, 2009.
- KOGER, M. *et al.* Genotype by environment interactions in Hereford cattle: I. Reproductive traits. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 49, n. 2, p. 396-402, 1979.
- KORVER, S. Genetic aspects of feed intake and feed efficiency in dairy cattle: a review. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 20, n. 1, p. 1-13, 1988.
- KRISTENSEN, T. N. *et al.* Research on inbreeding in the 'omic' era. **Trends in Ecology and Evolution**, Cambridge, v. 25, n. 1, p. 44–52, 2010.
- KRISTENSEN, T. C.; SORENSEN, A. C. Inbreeding - Lessons from animal breeding, evolutionary biology, and conservation genetics. **Animal Science**, Cambridge, v. 80, p. 121-133, 2005.
- LANDARIN, C. M. *et al.* Growth and reproductive performance of 14- to 15-month-old Hereford heifers. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 45, n. 11, p. 667-676, 2016.
- LEESBURG, V. L. R.; MACNEIL, M. D.; NESER, F. W. C. Influence of Miles City Line 1 on the United States Hereford population. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 92, n. 6, p. 2387-2394, 2014.
- LEME, P. R.; GOMES, R. C. Características de carcaça de novilhos Nelore com diferente consumo alimentar residual. *In*: REUNIÓN ASOCIACIÓN

LATINOAMERICANA DE PRODUCCIÓN ANIMAL, 20.; REUNIÓN ASOCIACIÓN PERUANA DE PRODUCCIÓN ANIMAL, 30., 2007, Cuzco, Perú. [**Anales de la ...**]. Lima: ALPA, APPA, 2007. p. 453.

LERNER, I. M. **Genetic homeostasis**. New York: Wiley, 1954.

LEROY, G. Inbreeding depression in livestock species: review and meta-analysis. **Animal Genetics**, Oxford, v. 45, n. 5, p. 618–628, 2014.

LIMA, L. L. N.; PEREIRA, I. G.; RIBEIRO, J. S. Consumo alimentar residual como critério de seleção para eficiência alimentar. **Acta Veterinaria Brasilica**, Mossoró, v. 7, n. 4, p. 255-260, 2013.

LONG, C. R.; GREGORY, K. E. Heterosis and management effects in carcass characteristics of Angus, Hereford, and reciprocal cross cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 41, p. 1572-1580, 1975.

MACNEIL, M. D. Invited review: Research contributions from seventy-five years of breeding Line 1 Hereford cattle at Miles City, Montana. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 87, p. 2489- 2501, 2009.

MADER, T. L. *et al.* Potential climate change effects on warm-season livestock production in the Great Plains. **Climatic Change**, Dordrecht, v. 97, p. 529–541, 2009.

MAHLER, L. E. **Recommended duration for evaluating feed intake and validating the residual feed intake model in Brangus heifers**. 2016. 106 f. Thesis (Doctoral) - Graduate Faculty of Auburn University, Auburn, Alabama, 2016.

MALHADO, C. H. M. *et al.* Inbreeding depression on production and reproduction traits of buffaloes from Brazil. **Animal Science Journal**, Richmond, v. 84, n. 4, p. 289-295, 2013.

MANDAL, A. *et al.* Effects of inbreeding on lamb survival in a flock of muzaffarnagari sheep. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, Seoul, v. 17, n. 5, p. 594-597, 2004.

MARTIKAINEN, K. *et al.* Estimation of inbreeding depression on female fertility in the Finnish Ayrshire population. **Journal of Animal Breeding and Genetics**, Berlin, v. 134, n. 5, p. 383–392, 2017.

MARTINS, T. G. *et al.* Coeficiente de inbreeding na raça bovina Shorthorn. *In*: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA - CIC, 10.; ENCONTRO DA PÓS-GRADUAÇÃO - ENPÓS, 3.; ENCONTRO REGIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA – ENCITEC, 1.; LABORATÓRIO DE PESQUISA – LAP, 9., 2001, Pelotas. **Anais [...]**. Pelotas: UFPel, UCPel, 2001. p. 474.

MCMANUS, C. *et al.* Pedigree analysis of Brazilian Morada Nova hair sheep. **Small Ruminant Research**, Amsterdam, v. 170, p. 37-42, 2019.

MENEGASSI, S. R. O. *et al.* Scrotal infrared digital thermography as a predictor of seasonal effects on sperm traits in Braford bulls. **International Journal of Biometeorology**, New York, v. 59, p. 357–364, 2015.

MENEGASSI, S. R. O. *et al.* Evaluation and prediction of scrotal circumference in beef bulls. **Theriogenology**, New York, v. 140, p. 33-43, 2019.

MIGLIOR, F. *et al.* Heterogeneity among families of Holstein cattle in inbreeding depression for production traits. *In*: WORLD CONGRESS ON GENETIC APPLIED TO LIVESTOCK PRODUCTION, 5., 1994, Guelph. **Proceedings of the [...]**. Guelph, Ontario: University of Guelph, 1994. v. 28, p. 479–482.

MISZTAL, I.; LAWLOR, T. J.; GENGLER, N. Relationships among estimates of inbreeding depression, dominance and additive variance for linear traits in Holsteins. **Genetics, Selection, Evolution**, London, v. 29, p. 319–326, 1997.

MOORE, S.; MUJIBI, F. D.; SHERMAN, E. L. Molecular basis for residual feed intake in beef cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 87, p. 41-47, 2009.

MULLINIKS, J. T. *et al.* Metabolizable protein supply while grazing dormant winter forage during heifer development alters pregnancy and subsequent in-herd retention rate. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 91, n. 3, p. 1409-1416, 2013.

NELMS, G. E.; STRATTON, P. O. Selection practiced and phenotypic change in a closed line of beef cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 26, p. 274–277, 1967.

NEVES, J. P.; GONÇALVES, P. B. D.; OLIVEIRA, J. F. C. Fatores que afetam a eficiência reprodutiva na vaca. **Revista Brasileira de Reprodução Animal**, Belo Horizonte, v. 23, n. 2, p. 99-105, 1999.

NEVINS, D. I. **Effects of inbreeding and selection in a closed line of Hereford cattle**. 1986. Thesis (Master's Degree) - Montana State University, Bozeman, 1986.

NICHOLAS, F. W.; SMITH, C. Increased rates of genetic change in dairy cattle by embryo transfer and splitting. **Animal Science**, Cambridge, v. 36, p. 341-353, 2010.

NIETLISBACH, P. *et al.* Pedigree-based inbreeding coefficient explains more variation in fitness than heterozygosity at 160 microsatellites in a wild bird population. **Philosophical Transactions of the Royal Society Biological Sciences**, London, v. 284, p. 2016-2763, 2017.

NKRUMAH, J. D. *et al.* Different measures of energetic efficiency and their phenotypic relationships with growth, feed intake and ultrasound and carcass merit in hybrid cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 82, n. 8, p. 2451–2459, 2004.

NORTHCUTT, S. L.; BUCHANAN, D. S.; CLUTTER, A. C. Inbreeding in cattle. **Oklahoma Cooperative Extension Service**, Stillwater, v. 3165, p. 3165-3169, 2004.

NRC - NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of beef cattle**. 7th rev. ed. Washington, DC: National Academic, 2000. 242 p.

OKINE, E. K. *et al.* Residual feed intake and feed efficiency: differences and implications. *In*: FLORIDA RUMINANT NUTRITION SYMPOSIUM, 15., 2004, Gainesville. **Proceedings of the [...]**. Gainesville: University of Florida, 2004. p. 27-38

PAHNISH, O. F. *et al.* Genotype × environment interaction in Hereford cattle: IV. Postweaning traits of bulls. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 61, n. 5, p. 1146-1153, 1985.

PARIACOTE, F.; VAN VLECK, L. D.; MACNEIL, D. Effects of inbreeding and heterozygosity on preweaning traits in a closed population of Herefords under selection. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 76, p. 1303-1310, 1998.

PARLAND, S. M. *et al.* Inbreeding effects on milk production, calving performance, fertility, and conformation in Irish Holstein-Friesians. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 90, n. 9, p. 4411–4419, 2007.

PEREIRA, M. C. *et al.* Estimativa de ganho genético a partir de diferenciais de seleção e parâmetros populacionais em um rebanho Caracu. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 34, n. 6, p. 2245-2252, 2005.

PILING, D.; HOFFMANN, I. **Climate change and animal genetic resources for food and agriculture: state of knowledge, risks and opportunities**. Rome: FAO, 2011.

PIRCHNER, F. **Population genetics in animal breeding**. 20th ed. New York: Plenum, 1983. 414 p.

PIRCHNER, F. Genetic structure of populations.1. Closed populations or matings among related individual. *In*: CHAPMAN, A. B. **General and quantitative genetics**. Amsterdam: Elsevier, 1985. p. 227-248.

PRYCE, J. *et al.* Identification of genomic regions associated with inbreeding depression in Holstein and Jersey dairy cattle. **Genetics Selection Evolution**, London, v. 46, [art.] 71, [p. 1–14], 2014.

QUEIROZ, S. A.; ALBUQUERQUE, L. G.; LANZONI, N. A. Efeito da endogamia sobre características de crescimento de bovinos da raça Gir no Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 29, n. 4, p. 1014-1019, 2000.

RAWAL, S. C.; TOMAR, S. S. Inherited variations in mortality and culling rates in Sahiwal female calves up to maturity. **Indian Journal of Animal Science**, New Delhi, v. 64, p. 1286-1287, 1994.

REYNOLDS, M. K. *et al.* Reproductive development and fertility traits among heifers in different residual feed intake groups. **Translational Animal Science**, Oxford, v. 2, p. 175–179, 2018. Supl. 1.

- RICHARDSON, E. C.; HERD, R. M. Biological basis for variation in residual feed intake in beef cattle. 2. Synthesis of results following divergent selection. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Melbourne, v. 44, n. 5, p. 431–440, 2004.
- ROBERTS, A. J. *et al.* Reproductive performance of heifers offered ad libitum or restricted access to feed for a one hundred forty-day period after weaning. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 87, n. 9, p. 3043-3052, 2009.
- RODRIGAÑEZ, J. *et al.* Effect of founder allele survival and inbreeding depression on litter size in a closed line of Large White pigs. **Animal Science**, Cambridge, v. 67, n. 3, p. 573–582, 1998.
- ROGNONI, G.; RIZZI, S. The effect of inbreeding in a herd of Friesian cattle. 1. Relationship between degree of inbreeding, age at first calving, calving interval and age at culling. **Italian Society of the Veterinary Sciences**, Grado, v. 9, p. 297-299, 1956.
- RUMPH, J. M. *et al.* Characterization of the Montana Line 4 inbred Hereford herd. *In*: Western Section American Society of Animal Science, 2004, Salt Lake City. **Proceedings** [...]. [Illinois, EUA]: American Society of Animal Science, 2004. v. 56, p. 116-120.
- SANTANA JUNIOR, M. L. *et al.* Structure and genetic diversity of Brazilian Zebu Cattle breeds assessed by pedigrees analysis. **Livestock Science**, Amsterdam, n. 187. p. 6-15, 2016.
- SAURA, M. *et al.* Genome-wide estimates of coancestry and inbreeding in a closed herd of ancient Iberian pigs. **PLoS ONE**, San Francisco, v. 8, n. 10, [art.] e78314, 2013.
- SCHENKEL, F. S.; MILLER, S. P.; WILTON, J. W. Genetic parameters and breed differences for feed efficiency, growth, and body composition traits of young beef bulls. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v. 84, p. 177-185, 2004.
- SCHMIDEK, A. *et al.* Genetic and non-genetic effects on calf vigor at birth and preweaning mortality in Nellore calves. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 42, n. 6, p. 421-427, 2013.
- SHAFFER, K. S. *et al.* Residual feed intake, body composition, and fertility in yearling beef heifers. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 89, n. 4, p. 1028-1034, 2011.
- SHERMAN, E. L. *et al.* Fine mapping quantitative trait loci (QTL) for feed intake and feed efficiency in beef cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 87, n. 1, p. 37-45, 2009.
- SHIKANO, T.; CHIYOKUBO, T.; TANIGUCHI, N. Temporal changes in allele frequency, genetic variation and inbreeding depression in small populations of the guppy, *Poecilia reticulata*. **Heredity**, London, v. 86, p. 153–160, 2011.

SHIMBO, M. V. *et al.* Efeito da endogamia sobre características de desempenho de bovinos da raça Nelore. *In: SIMPÓSIO PECUÁRIA 2000 – PERSPECTIVAS PARA O III MILÊNIO*, 1., 2000, Pirassununga, 2000. **Anais [...]**. Pirassununga: FZEA-USP, 2000. p. 40-41.

SAS - STATISTICAL ANALYSIS SYSTEMS INSTITUTE. **SAS Systems for Windows, Release 9.4**. Cary: SAS Institute, 2003.

SUMREDDEE, P. *et al.* Inbreeding depression in line 1 Hereford cattle population using pedigree and genomic information. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 97, n. 1, p. 1–18, 2019.

TAYLOR, H. R. *et al.* Valid estimates of individual inbreeding coefficients from marker-based pedigrees are not feasible in wild populations with low allelic diversity. **Conservation Genetics**, Dordrecht, v. 16, p. 901–913, 2015.

TEDESCHI, L. O. *et al.* A glimpse of the future in animal nutrition science. 2. Current and future solutions. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 46, n. 5, p. 452-469, 2017.

TODD, E. T. *et al.* The effects of inbreeding on covering success, gestation length and foal sex ratio in Australian thoroughbred horses. **BioMed Central Genetics**, London, v. 21, [art.] 41, 2020.

TOIT, J.; WYK, J. B.; MAIWASHE, A. Assessment of inbreeding depression for functional herd life in the South African Jersey breed based on level and rate of inbreeding. **South African Journal of Animal Science**, Pretória, v. 42, n. 1, p. 55-62, 2012.

TORTEREAU, F. *et al.* Genetic parameters for feed efficiency in Romane rams and responses to single-generation selection. **Animal**, Cambridge, v. 14, n. 4, p. 681-687, 2020.

TRINDERUP, M.; JØRGENSEN, J. N.; HANSEN, M. Inbreeding and loss of founder alleles in four variations of a conservation programme using circular mating, for Danish shorthorn cattle. **Animal Genetic Resources**, Paris, v. 25, p. 99–106, 1999.

UCHIDA, H. *et al.* The relationship between inbreeding of cows and their calves' growth and prices traits in Japanese black cattle. **Journal of Animal Science and Technology**, Seoul v. 66, n. 1, p. 55-61, 1995.

URICK, J. J. *et al.* Heterosis in postweaning traits among lines of Hereford cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 27, n. 2, p. 323-330, 1968.

VANRADEN, P. *et al.* Genomic inbreeding and relationships among Holsteins, Jerseys, and Brown Swiss. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 94, n. 11, p. 5673–5682, 2011.

VERGEER, P.; WAGEMAKER, N.; OUBORG, N. J. Evidence for an epigenetic role in inbreeding depression. **Biology Letters**, London, v. 8, p.798-801, 2012.

WEIGEL, K. A. Controlling inbreeding in modern breeding programs. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 84, p. E177-E184, 2011.

WEIR, B. S.; AVERI, P. J.; HILL, W. G. Effect of mating structure on variation in inbreeding. **Theoretical Population Biology**, New York, v. 18, n. 3, p. 396-429, 1980.

WILLIS, M. B.; WILSON, A. Factors affecting birth weight of Santa Gertrudis calves. **Animal Science**, Cambridge, v. 18, n. 3, p. 231-236, 1974.

WOODWARD, R. R.; CLARK, R. T. The repeatability of performance of several Hereford sires as measured by progeny records. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 9, p. 588-592, 1950.

WRIGHT, S. Genetic principles governing the rate of progress of livestock breeding. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 1, p. 18-26, 1939.

WRIGTH, A. D. Evaluating residual feed intake in replacement heifer calves for correlation with breed and sire. 2014. 41 f. Thesis (Master's Degree) - Department of Animal Science, University of Arizona, Tucson, 2014.

WYKES, D. L. Robert Bakewell (1725-1795) of Dishley: farmer and livestock improver. **Agricultural History Review**, Oxford, v. 52, p. 38-55, 2004.

ZENG, J. A. *et al.* Genomic selection of purebred animals for crossbred performance in the presence of dominant gene action. **Genetics Selection Evolution**, London, v. 45, [art.] 11, 2013.

Vita

Marcela Kuczynski da Rocha é brasileira, nascida em Rio Pardo (RS), no dia vinte e sete de junho de 1991, filha de Ana Adalma Kuczynski Rocha e Felipe Mendes Ribeiro da Rocha. Iniciou o ensino fundamental na Escola Municipal de Ensino Fundamental Sotero Hermínio Frantz em Pantano Grande (RS). Em 1998, cursou a sétima e oitava série no Colégio Nossa Senhora Auxiliadora em Rio Pardo (RS). Cursou o ensino médio no Colégio Estadual Júlio de Castilhos em Porto Alegre (RS), de 2006 a 2008. Em 2009 ingressou no curso técnico em Biotecnologia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, em Porto Alegre (RS) e graduou-se em agosto de 2011. Em 2011 ingressou no Curso de Medicina Veterinária da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), em Porto Alegre (RS) e graduou-se em janeiro de 2017. Foi Bolsista de Iniciação Científica sob orientação do Professor Júlio Otávio Jardim Barcellos de 2013 a 2016. Foi aprovada no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, vinculado à Faculdade de Agronomia da UFRGS, cursando o Mestrado de março de 2017 até março de 2018, com bolsa da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), sob orientação do Professor Júlio Otávio Jardim Barcellos. Em abril de 2018 ingressou no Doutorado, no mesmo Programa, também sob orientação do Professor Júlio Otávio Jardim Barcellos. De setembro de 2019 à junho de 2020 realizou doutorado sanduíche na Montana State University, sob coorientação de Darrin Boss. Foi bolsista do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Submeteu sua tese a exame em junho de 2022.