



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE VETERINÁRIA

**EFEITO DA IDADE À COBRICÃO E ÉPOCA DE NASCIMENTOS SOBRE AS
CARACTERÍSTICAS (RE) PRODUTIVAS DAS NOVILHAS ANGONE CRIADAS
EM CONDIÇÕES TROPICAIS**

ABÍLIO PAULO CHANGULE

ORIENTADOR: Prof. Doutor Custódio Bila

CO-ORIENTADORES: Doutor Manuel Garcia-Herreros
Doutor Félix King

Maputo, Outubro 2024



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE VETERINÁRIA

**EFEITO DA IDADE À COBRIÇÃO E ÉPOCA DE NASCIMENTOS SOBRE AS
CARACTERÍSTICAS (RE) PRODUTIVAS DAS NOVILHAS ANGONE CRIADAS
EM CONDIÇÕES TROPICAIS**

ABÍLIO PAULO CHANGULE

ORIENTADOR: Prof. Doutor Custódio Bila

CO-ORIENTADORES: Doutor Manuel Garcia-Herreros
Doutor Félix King

CONSTITUIÇÃO DO JÚRI

Prof. Doutor

Doutor

Maputo, Outubro 2024

DECLARAÇÃO DE ORIGINALIDADE

“Declaro que esta dissertação nunca foi apresentada para a obtenção de qualquer grau acadêmico ou em qualquer outro âmbito e que constitui o resultado do meu trabalho individual.

Esta dissertação é submetida em cumprimento parcial dos requisitos para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (Produção Animal) na Faculdade de Veterinária da Universidade Eduardo Mondlane”.

AGRADECIMENTOS

À **DEUS**, que me permitiu a graça, força e coragem em todos os momentos e, especialmente, nos de desânimo. Aos meus pais **Paulo Maquelene Changule** e **Ana Maria Mondlane** pelo incentivo dado e aos demais membros da minha família e amigos, que estiveram ao meu lado durante todo este tempo. À minha esposa **Mafalda Frenklin António Changule** pelo incentivo e atenção dada numa demonstração de amor e carinho, por entender a minha ausência e cuidar das nossas princesas **Késsya Luana Abílio Changule** e **Kemilly Emanuella Abílio Changule**, nos momentos dos estudos. Ao meu orientador, Professor Doutor **Custódio Gabriel Bila**, por ter aceite este desafio e pelos conhecimentos transmitidos aliados à seriedade e comprometimento no auxílio das actividades e discussões sobre o andamento e normatização desta dissertação. Aos meus co-orientadores, Doutor Manuel Garcia-Herreros pela incrível disposição em transmitir os conhecimentos e dedicação para o alcance dos objectivos, e ao Doutor **Félix João Manuel King** pela atenção, incentivo e troca de informações em todos os momentos solicitados. Ao Eng. **Leonel Joaquim** por todo suporte e amizade. Ao Instituto de investigação Agrária de Moçambique e à **Intermed Mozambique Lda** pelo financiamento concedido para a realização deste estudo.

EPIGRAFE

Não se glorie o sábio na sua sabedoria, nem se glorie o forte na sua força; não se glorie o rico nas suas riquezas. Mas o que se gloriar, glorie-se nisto: em me entender e me conhecer, que eu sou o Senhor, que faço beneficência, juízo e justiça na terra; porque destas coisas me agrado, diz o Senhor. Jeremias 10.23-24.

PUBLICAÇÕES CIENTÍFICAS

Dados colhidos e processados, no âmbito desta dissertação, permitiram a produção de:

a) Publicações científicas

1. Joaquim LA, **Changule AP**, da Glória Taela M, Novela M, Pinto SC, Bila CG. The generation interval and season of birth do not affect age at first calving, birth weight and calving interval of Mozambican Angoni cattle. *Trop Anim Health Prod.* 2024 May 27;56(5):177. doi: 10.1007/s11250-024-04030-x. PMID: 38801479.
2. **Changule AP**, Joaquim LA, Morrombe MP, Novela M, Petersburgo H, Chilala FD, Guimarães TG, King FJM, Garcia-Herreros M, Bila CG. Age at first mating and season of dam births reveal significant effect on reproductive and productive traits of Mozambican Angoni cattle under tropical conditions. Submetido na revista *Animal Bioscience*.

b) Resumos em eventos científicos

1. Joaquim LA, **Changule AP**, da Glória Taela M, Novela M, Pinto SC, Bila CG. The generation interval and season of birth do not affect age at first calving, birth weight and calving interval of Mozambican Angoni cattle. 13^a Jornadas Científicas do FNI, Maputo – Outubro de 2023.
2. Joaquim LA, **Changule AP**, da Glória Taela M, Novela M, Pinto SC, Bila CG. The generation interval and season of birth do not affect age at first calving, birth weight and calving interval of Mozambican Angoni cattle. XII Conferência Científica da UEM, Maputo – Setembro de 2023. LIVRO DE RESUMOS DA XII CONFERÊNCIA CIENTÍFICA DA UEM - Pagina 274.

ÍNDICE

DECLARAÇÃO DE ORIGINALIDADE.....	i
AGRADECIMENTOS.....	ii
EPÍGRAFE.....	iii
PUBLICAÇÕES CIENTÍFICAS	iv
RESUMO E PALAVRAS-CHAVE.....	I
RESUMO EM INGLÊS.....	II
LISTA DE ABREVIATURAS	III
LISTA DE TABELAS.....	IV
LISTA DE FIGURAS.....	V
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. PROBLEMA	4
3. QUESTÕES DE PESQUISA E HIPÓTESE(S)	5
3.1. QUESTÕES.....	5
3.2. HIPÓTESES.....	5
4. OBJECTIVOS	6
4.1. Geral.....	6
4.2. Específicos	6
5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
5.1. Fisiologia reprodutiva da fêmea bovina	8
5.1.1. Puberdade.....	8
5.1.2. Ciclo estral.....	10
5.1.3. Anestro.....	13
5.2. Eficiência reprodutiva	14
5.2.1. Maximização da eficiência reprodutiva	15
5.2.2. Factores com influência directa na maximização da eficiência reprodutiva	19
6. MATERIAIS E MÉTODOS.....	28
6.1. Local de estudo.....	28
6.2. Maneio dos animais	29
6.3. Delineamento experimental	29
6.4. Análise estatística	30
7. RESULTADOS.....	31
7.1. Efeitos da idade à cobertura sobre peso dos vitelos ao nascimento (PN), idade ao primeiro parto (IPP) e intervalo entre partos (IEP).....	31
7.2. Efeito da época de nascimentos sobre peso ao nascimento (PN), idade ao primeiro parto (IPP) e intervalo entre partos (IEP) do gado Angone criado em condições tropicais	33

8. DISCUSSÃO.....	36
9. CONCLUSÕES.....	41
10. RECOMENDAÇÕES.....	41
11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	42

RESUMO E PALAVRAS-CHAVE

O gado bovino Angone desempenha um papel socio-económico importante em Moçambique. A idade à cobertura (IC) e a época de nascimento da vaca (EN) são factores cruciais que devem ser observados para maximizar a eficiência reprodutiva e aumentar a produtividade das explorações de bovinos de corte. O presente trabalho teve como objectivo estudar os efeitos da IC e da EN sobre a idade ao primeiro parto (IPP), peso dos vitelos ao nascimento (PN) e intervalo entre partos (IEP) em bovinos da raça Angone criados em condições tropicais em Moçambique. A presente pesquisa utilizou 1.418 registos recolhidos durante 25 anos (1995 a 2020) na Estação de Zootécnica de Angónia (EZA). A base de dados foi analisada usando o pacote de software R 4.3.2. Os efeitos da IC e da EN nas características reprodutivas e produtivas foram determinados usando o teste de Kruskal-Wallis e posteriormente analisados com o teste de Dunn para comparar as médias entre os grupos em caso de significância. O método dos mínimos quadrados foi aplicado para avaliar a relação entre IC, PN e IPP através da análise de regressão linear simples. Relativamente à IC e a EN, foram calculados os valores máximos e mínimos para o PN (Kg), IPP (dias) e para o IEP (dias). A idade à primeira cobertura afectou significativamente os parâmetros IPP, PN, e IEP ($p < 0,05$). Por outro lado, a época de nascimentos da vaca afectou significativamente os indicadores de PN e IEP ($p < 0,05$); no entanto, não foram observados efeitos significativos da época de nascimento da vaca na característica IPP ($p > 0,05$). Em conclusão, tanto a época de nascimentos como a idade à primeira cobertura influenciaram as características reprodutivas e produtivas do gado Angone de Moçambique. Finalmente, com base nestes resultados, recomenda-se que se preste mais atenção às práticas de manejo, especialmente as relacionadas com os parâmetros IC e EN, com o objectivo de maximizar a eficiência reprodutiva e produtiva em novilhas e vacas da raça Angone criadas em ambientes tropicais em Moçambique.

Palavras-chave: Idade à primeira cobertura; Época de nascimento da vaca; Características reprodutivas; Bovinos de corte; Raça Angoni; Moçambique.

RESUMO EM INGLÊS

Angone cattle play an important socio-economic role in Mozambique. The age at first mating (AFM) and season of dam birth (SB) are crucial factors that must be observed to maximize reproductive efficiency and to increase productivity of beef cattle farms. The present research aimed to study the effects of AFM and SB on age at first calving (AFC), birth weight of calves (BW), and calving interval (CI) in Angoni cattle breed raised under tropical conditions in Mozambique. The present research used 1,418 records collected during 25 years (1995 to 2020) at the Angonia Research Station (EZA). The database was analyzed using the R 4.3.2 software package. The effects of AFM and SB on reproductive and productive traits were determined using the Kruskal-Wallis test and further analyzed with Dunn's test to compare means between groups in case of showing significance. The least squares method was applied to assess the relationship among AFM, BW, and AFC through simple linear regression analysis. Regarding AFM and SB, the maximum and minimum values for BW (Kg), AFC (days) and for the CI (days) were calculated. Age at first mating significantly affected BW, AFC, and CI parameters ($p < 0.05$). On the other hand, the season of dam birth significantly affected BW and CI indicators ($p < 0.05$); however, no significant effects of season of dam birth were observed on AFC trait ($p > 0.05$). In conclusion, both the season of dam birth and age at first mating influenced the reproductive and productive traits of Mozambican Angoni cattle. Finally, based on these findings, it is recommended to pay more attention to management practices, especially those related to AFM and SB parameters, with the aim of maximizing both the reproductive and productive efficiency in heifers and cows of the Angoni cattle breed raised under tropical environments in Mozambique.

Keywords: Age of first mating; Season of dam birth; Reproductive traits; Beef cattle; Angoni breed; Mozambique.

LISTA DE ABREVIATURAS

ACTH – Hormona adrenocorticotrópica
CC – Condição corporal
ECC – Escore da condição corporal
EN – Época de nascimentos
EZA – Estação Zootécnica de Angónia
GnRH – Hormona libertadora das gonadotrofinas
H0 – Hipótese nula
H1 – Hipótese alternativa
IC – Idade à cobrição
IEP – Intervalo entre partos
IPP – Idade ao primeiro parto
Kgs – Kilogramas
Kiss1R – Receptor de kisspeptina
LH – Hormona luteinizante
RNAm – RNA mensageiro
P – Probabilidade
PC – Peso corporal
PD – Peso ao desmame
PN – Peso ao nascimento
PGF2 α – Prostaglandina F2 α
PVM – Peso vivo médio
P4 – Progesterona
TD – Taxa de desmame
TF – Taxa de fertilidade
Tx – Taxa
TG – Taxa de gestação
X – Média

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Metas para uma exploração de corte otimizar a sua eficiência reprodutiva.	15
Tabela 2: Efeito da idade à cobertura (IC) sobre peso ao nascimento (PN), idade ao primeiro parto (IPP) e intervalo entre partos (IEP) do gado Angone criado em condições tropicais.	31
Tabela 3: Efeitos sazonais das época de nascimento da vaca sobre o peso dos vitelos ao nascimento (PN), idade ao primeiro parto (IPP) e intervalo entre partos (IEP) em gado bovino Angone criados em condições tropicais	33

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema simplificado de regulação do ciclo estral pelo Eixo Hipotálamo-Hipófise-Ovário.	11
Figura 2: Perfil hormonal durante o ciclo estral.....	13
Figura 3: Localização da área de estudo na região tropical-húmida de Moçambique (continente, país, província, distrito e área) onde foi efectuada a recolha de dados, incluindo dados sazonais e desempenho reprodutivo e produtivo do gado Angone de Moçambique criado em condições tropicais.	28
Figura 4: Esquema resumido do de lineamento experimental.	29
Figura 5: Efeito da idade à cobertura sobre o peso ao nascimento (PN) de vitelos nascidos entre 1995-2020, na Estação Zootécnica de Angónia, idade ao primeiro parto (IPP) e intervalo entre partos (IEP) do gado Angone.	32
Figura 6: Efeitos da época de nascimentos da vaca (EN) no peso ao nascimento dos vitelos (PN), idade ao primeiro parto (IPP) e intervalo entre partos (IEP) analisados pelo teste de Kruskal-Wallis em bovinos Angone, de Moçambique, criados em condições tropicais.	34

1. INTRODUÇÃO

Na bovinocultura de corte, descrevem-se quatro pilares responsáveis pela sustentabilidade económica dos sistemas de produção que incluem o melhoramento genético (Michi *et al.*, 2016), a sanidade (Oguejiofor *et al.*, 2019), a nutrição (D'Occhio e Baruselli, 2019) e a reprodução (Cooke *et al.*, 2019), sendo que esta última pode ser considerada o principal pilar que sustenta a cadeia, visto que dela depende a produção da matéria-prima elementar dessa indústria – o vitelo, determinando directamente a eficiência da produção animal e garantindo o sucesso dos sistemas de produção. Um dos grandes problemas que acometem os sistemas de bovinos de corte, quase sempre está relacionado à eficiência reprodutiva dos animais de exploração (Burns *et al.*, 2010; Fernandez-Novo *et al.*, 2020).

A eficiência reprodutiva pode ser definida como o número de vitelos produzidos durante o período de vida da vaca na exploração (Johnston *et al.*, 2014; Washaya *et al.*, 2019; Jiménez *et al.*, 2023), e a idade ao primeiro parto (Fernandez-Novo *et al.*, 2020) e o intervalo entre partos (Butler *et al.*, 2020), são os principais factores que afectam o desempenho reprodutivo da fêmea. A baixa taxa de natalidade, o reduzido percentual de ventres produtivos na exploração e a elevada idade ao abate ainda são outros factores responsáveis pela baixa eficiência (Bitencourt *et al.*, 2020). Deste modo, um adequado manejo animal e uma alta eficiência reprodutiva do gado, associada a elevados índices de produção, devem ser metas consolidadas dentre os criadores de gado, visando a alta lucratividade da actividade.

Moçambique é um país com extensas terras férteis e condições agroecológicas favoráveis para a produção de bovinos (Capaña, 2020). Contudo, dados demonstram que os bovinos apresentam baixa eficiência em virtude da fraca ou inexistente produção dos insumos necessários para a produção pecuária, a baixa produtividade do efectivo existente (peso de carcaça) devido à qualidade genética dos reprodutores (PEDSA, 2011; Aleixo, 2023) e como resultado, o país apresenta uma taxa de dependência externa para o abastecimento aos principais centros urbanos, importando de países vizinhos mais de 40% do total consumido (PEDSA, 2011; Aleixo, 2023) pois a baixa eficiência é reflectida em baixas taxas de gestação, partos, natalidade, desmame e produção de quilos de vitelos desmamados por vaca.

Face à baixa produção nacional, o consumo é garantido em grande parte por pequenos produtores, que se baseiam num sistema de produção extensivo à base de pastoreio natural, o que torna o ciclo de produção mais longo, aumentando a idade ao abate e influenciando negativamente a qualidade final da carcaça e da carne, levando os consumidores mais exigentes

a optarem por carne de proveniência de países vizinhos, principalmente da África do Sul, propagando o preconceito de que “a carne nacional é rija e de má qualidade” (Aleixo, 2023).

Um dos motivos por detrás dessa dependência é a idade tardia em que as novilhas iniciam a vida reprodutiva e isto impacta directamente no intervalo entre partos e por conseguinte o número de vitelos nascidos, novilhos desmamados, engordados e abatidos para o fornecimento do mercado interno, resultando em baixa produção e produtividade (Ng’Ang et al., 2018; Cumbe, 2023). Associado a índices reprodutivos muito baixos e insatisfatórios, descreve-se um manejo muitas vezes precário, com pouco ou nenhum controlo acerca das diferentes fases que envolvem o ano reprodutivo, como selecção dos reprodutores, época de cobrições, época de nascimentos e processo de desmame (Cumbe, 2019; Cumbula e Taela, 2020; Aleixo, 2023).

Neste contexto, para o manejo reprodutivo e a inclusão de estratégias de manejo que maximizem a eficiência reprodutiva, torna-se crucial e de suma importância para a melhoria do desempenho produtivo e, conseqüentemente, da lucratividade na criação de gado no país. Entretanto, informações sobre o manejo reprodutivo das raças nativas e particularmente do bovino Angone no país são muito escassas (Tomo, 1997). As poucas informações disponíveis sobre o desempenho reprodutivo das raças nativas e especialmente do bovino Angone, estão sendo extrapoladas de estudos feitos noutras raças nativas como o bovino Landim e o bovino Angone de outros países da região e são bastante desactualizadas. Hetzel (1988) reportou que o bovino Landim (Sanga) é altamente produtivo e com altas taxas de fertilidade. Por outro lado, o Zebu, do qual o Angone faz parte (King *et al.*, 2022), geralmente possui baixo desempenho (Dawuda et al., 1988; Oyedipe *et al.*, 1988; Mukasa *et al.*, 1991; Tomo, 1997). Além disso, Mukasa-Mugerwa et al. (1991) mencionaram que o gado Zebu atinge a maturidade mais tardiamente e possui longos intervalos entre partos. A escassez de informação sobre o manejo reprodutivo das raças nativas locais de Moçambique em geral, e da raça Angone em particular, faz com que a produção pecuária moçambicana que é dependente destas raças visto que 90% do efectivo total (1,2 milhões de cabeças) do país, criado pelos pequenos criadores é raça nativa (Cumbe, 2019) tenha baixa produção e baixo contributo na economia.

Por isso, analisar as características reprodutivas e produtivas das novilhas Angone através deste estudo gerará mais conhecimentos que possam ajudar o sector produtivo a tirar mais vantagens da utilização desta raça pela possibilidade de maximizar a sua eficiência reprodutiva aliada ao facto de ser uma raça nativa que possui características adequadas ao sistema extensivo que caracteriza o sector pecuário de Moçambique. Assim, esta pesquisa buscou avaliar o efeito da

idade à cobertura e época de nascimentos em relação ao peso ao nascimento, idade ao primeiro parto e intervalos entre partos no gado Angone da Estação Zootécnica de Angónia.

2. PROBLEMA

Existe em Moçambique uma quantidade muito limitada de informações sobre o manejo reprodutivo e produtivo da raça Angone no país e como consequência a sua utilização para os propósitos comerciais torna-se inviável pois há falta de conhecimentos técnico-científicos que possam orientar os criadores a melhorar o desempenho e a produtividade pecuária desta raça assim como obter mais lucros.

3. QUESTÕES DE PESQUISA E HIPÓTESE(S)

3.1. QUESTÕES

Qual é o efeito da idade à cobertura sobre a idade ao primeiro parto, peso ao nascimento e intervalo entre partos em bovinos de raça Angone criados em condições tropicais de Moçambique?

Qual é o efeito de épocas de nascimentos sobre a idade ao primeiro parto, peso ao nascimento e intervalo entre partos em bovinos de raça Angone criados em condições tropicais de Moçambique?

3.2. HIPÓTESES

Primeira hipótese:

H0: A idade à cobertura e época de nascimentos não afectam as características reprodutivas das novilhas Angone através do aumento da idade ao primeiro parto;

H1: A idade à cobertura e época de nascimentos afectam as características reprodutivas das novilhas Angone através do aumento da idade ao primeiro parto.

Segunda hipótese:

H0: A idade à cobertura e época de nascimentos não afectam as características produtivas das novilhas Angone através do aumento do peso ao nascimento;

H1: A idade à cobertura e época de nascimentos afectam as características produtivas das novilhas Angone através do aumento do peso ao nascimento.

Terceira hipótese:

H0: A idade à cobertura e época de nascimentos não afectam as características reprodutivas das novilhas Angone através do aumento do intervalo entre partos;

H1: A idade à cobertura e época de nascimentos afectam as características reprodutivas das novilhas Angone através do aumento do intervalo entre partos.

4. OBJECTIVOS

4.1. Geral

Analisar o efeito da idade à cobertura e época de nascimentos sobre a idade ao primeiro parto da vaca, peso ao nascimento dos vitelos e idade entre partos da vaca em bovinos Angone criados em condições tropicais e contribuir para a otimização da sua eficiência reprodutiva.

4.2. Específicos

Analisar o efeito da idade à cobertura e época de nascimentos das novilhas sobre a idade ao primeiro parto de bovinos Angone criados em condições tropicais.

Avaliar o efeito da idade à cobertura e época de nascimentos das novilhas sobre o peso ao nascimento de vitelos da raça Angone criados em condições tropicais.

Determinar o efeito da idade à cobertura e época de nascimentos das novilhas sobre o intervalo entre partos de bovinos Angone criados em condições tropicais.

5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nos sistemas de produção de bovinos de carne, o número de vitelos produzidos por vaca e por ano é um factor fulcral na eficiência biológica e económica (Carolino *et al.*, 2000). Assim, é imprescindível a optimização produtiva e reprodutiva das explorações para garantir a sustentabilidade económica das mesmas.

A gestão das explorações de bovinos de corte e o manejo que nelas se pratica representam um desafio para os médicos veterinários, particularmente quando o regime de produção é extensivo, na medida em que a existência de dados é, por vezes, escassa ou até duvidosa, dificultando a avaliação dos parâmetros produtivos e reprodutivos (Mourão, 2022). Ainda assim, na maioria das vezes, é feito o registo das datas dos partos, o que permite traçar um plano de gestão reprodutiva através da determinação da idade ao primeiro parto e intervalo entre partos, o qual representa o número de dias entre dois partos consecutivos (Bettencourt, 2021). Idealmente, pretende-se que cada fêmea reprodutora produza um vitelo a cada trezentos e sessenta e cinco dias, porém, em condições de produção extensiva, característica de Moçambique, é muito difícil atingir-se esse indicador embora muitas vezes os produtores afirmem que as vacas das suas explorações parem todos os anos, porém uma vaca pode ter um parto em Janeiro e outro em Abril do ano seguinte (Aleixo, 2023). Isto significa que registou partos em dois anos consecutivos, mas os índices reprodutivos costumam ser superiores aos desejados trezentos e sessenta e cinco dias.

Bettencourt e Romão (2009) e Mourão (2022) mostraram que cada dia improdutivo acarreta pelo menos um custo de um a dois euros diários na alimentação de uma vaca em regime extensivo (cerca de 140 Meticais). Considerando este custo, é fundamental que os produtores compreendam a importância da gestão técnica focada no manejo reprodutivo visando optimizar a eficiência e que estejam dispostos a assumir isso como um custo inerente à actividade, mas que lhes pode trazer maior rentabilidade (Romão, 2014). Esta gestão consiste numa redução da idade à cobrição, idade ao primeiro parto, intervalo entre partos; havendo necessidade de refúgio de fêmeas improdutivas, selecção dos touros a utilizar na exploração e das novilhas de substituição, ou seja, os criadores devem saber quais os melhores animais dos seus efectivos. Por vezes, deve ser ainda ponderada a aquisição de animais noutras explorações (Carolino *et al.*, 2000; Mourão, 2022).

Assim, buscando trazer mais informações de como se pode alcançar mais lucros na produção de bovinos de corte, esta secção da revisão descreverá, sumariamente, as informações

existentes na literatura a respeito da importância da eficiência reprodutiva, efeito da idade à cobertura e época de nascimentos sobre o desempenho reprodutivo e produtivo das vacas de corte.

5.1. Fisiologia reprodutiva da fêmea bovina

Para melhor compreensão da eficiência reprodutiva e efeito da idade à cobertura e época de nascimentos sobre o desempenho reprodutivo e produtivo das vacas de corte é necessário conhecer a fisiologia do ciclo estral da fêmea bovina.

5.1.1. Puberdade

A puberdade é um momento dinâmico e crítico na vida de uma fêmea bovina. Definida como a idade em que um animal ovula pela primeira vez (Fortes *et al.*, 2012; Warburton *et al.*, 2020), que na fêmea bovina pode ocorrer entre 8 e 36 meses de idade, variando em função da raça ou ainda do estado nutricional (Hafez e Hafez, 2004). O surgimento da primeira ovulação e expressão de comportamento sexual marcam o início da puberdade. Entretanto, nessa fase o animal ainda não apresenta maturidade sexual, que geralmente ocorrerá após três a quatro ciclos estrais (Franco *et al.*, 2016). A puberdade também é comumente usada para avaliar a fertilidade da fêmea e a precocidade sexual em bovinos de corte tropicais (Fernandes *et al.*, 2022). Na puberdade, a fêmea atinge uma ciclicidade regular e é capaz de conceber e reproduzir. As vacas que apresentam ciclicidade alterada ou irregular são frequentemente identificadas na puberdade e diagnosticadas com distúrbios reprodutivos, como a síndrome do ovário policístico (Rosenfield *et al.*, 2000; Carmina *et al.*, 2010; Hardy e Norman, 2013).

O momento da puberdade, o estabelecimento da prenhez e a retomada dos ciclos estrais pós-parto são referências importantes de produtividade para vacas de corte (Johnston *et al.*, 2014). Este critério de produtividade da carne bovina depende de características reprodutivas precoces, que dependem do fenômeno biológico da puberdade. Atingir a puberdade é necessário para conseguir a gravidez (Roberts *et al.*, 2017). Como tal, as taxas de prenhez têm sido correlacionadas com a porcentagem de novilhas que atingem a puberdade antes ou no início da estação reprodutiva (Short e Bellows, 1971; Perry *et al.*, 1991). Segundo Perry (2016) e Barroso (2023), a introdução de novilhas de corte de reposição na época de monta deve ser precoce para alcançar maior eficiência num sistema de produção de bezerros. Nafziger *et al.* (2021) referem que novilhas com ciclicidade descontinuada ou atrasada durante a puberdade podem ter ciclos reprodutivos irregulares, anovulação e infertilidade na primeira época reprodutiva contribuindo para uma vida reprodutiva mais curta.

A puberdade é um processo fisiológico complexo em fêmeas de mamíferos que requer mudanças físicas e comportamentais resultantes da activação do eixo hipotálamo-hipófise-ovariano e posterior início da ciclicidade estral (Garza *et al.*, 2023). A obtenção da puberdade é coordenada através de mecanismos de *feedback* negativo e positivo. Os ovários, através da sinalização de estrogénio, mantêm o *feedback* negativo no hipotálamo para prevenir a secreção de GnRH antes da puberdade (Dubois *et al.*, 2016). A maturação puberal é amplamente controlada pelo hipotálamo e é caracterizada por uma activação aumentada dos neurónios da hormona libertadora de gonadotrofinas (GnRH) e um aumento associado na frequência de pulso do hormónio luteinizante (LH) secretado pela hipófise anterior. Este aumento da secreção gonadotrópica apoia o desenvolvimento final dos folículos antrais e a esteroidogénese necessária para a primeira ovulação (Garza *et al.*, 2023).

Na puberdade, o *feedback* negativo do estrogénio no hipotálamo é revertido para o *feedback* positivo, o que permite a produção de GnRH. Neurónios Kisspeptina, GABAérgicos, glutamatérgicos e colinérgicos coordenam-se com neurónios GnRH (Clarkson *et al.*, 2008; Krsmanovic *et al.*, 2009; Iremonger *et al.*, 2010). Esses neurónios, através dos seus neurotransmissores, activam cascatas de sinalização, incluindo a de cálcio, de cAMP e sinalização de MAPK em neurónios GnRH para secretar GnRH (Arai *et al.*, 2017). A sinalização do GnRH através do receptor GnRH (GNRHR) faz com que a hipófise libere FSH e LH activando as vias do cálcio e do AMPc (Pawson e McNeilly, 2005). Nos ovários, o FSH facilita o crescimento folicular, enquanto o LH está envolvido na maturação do oócito e na ovulação (Tahir *et al.*, 2021).

5.1.1.1. Controlo neuroendócrino da puberdade

Na maioria das fêmeas de mamíferos, incluindo a novilha, os processos finais de desenvolvimento subjacentes à maturação puberal ocorrem no hipotálamo (Cardoso *et al.*, 2018). Durante a transição puberal, a liberação de pulsos de GnRH de baixa frequência na vasculatura portal hipotálamo-hipófise, em última análise, transita para um padrão de liberação de frequência mais alta. Segue-se um aumento correspondente na secreção de pulsos de LH pelos gonadotróficos na hipófise anterior e promove a maturação final dos folículos antrais, que por sua vez produzem maiores quantidades de estradiol para desencadear a primeira ovulação (Day *et al.*, 1984). O aumento na frequência do pulso de LH ocorre apenas aproximadamente 50 dias antes do início da puberdade em novilhas (Day *et al.*, 1987). É importante ressaltar que os estoques inadequados de LH na hipófise anterior não são um factor limitante durante a transição puberal, uma vez que a secreção de GnRH em baixa frequência é

suficiente para estimular a produção de LH pelos gonadotróficos e promover níveis normais de armazenamento de LH em novilhas pré-púberes (Kinder *et al.*, 1987). Embora a secreção de FSH também seja amplamente controlada pelo GnRH, o FSH não é um factor limitante durante o desenvolvimento puberal (Kinder *et al.*, 1987). O padrão episódico de secreção de LH está directamente associado à despolarização sincrónica dos neurónios GnRH (Clarke e Cummins, 1982) e marcado por rápidos aumentos na actividade eléctrica na região basal medial do hipotálamo (Tanaka *et al.*, 1995). O processo de despolarização síncrona dos neurónios GnRH tem sido historicamente referido como gerador de pulsos GnRH (Goodman, 1981).

Na maioria dos mamíferos fêmeas, incluindo bovinos e ovinos, um subconjunto de neurónios dentro do núcleo arqueado colocaliza três peptídeos, kisspeptina, neuroquinina B (NKB) e dinorfina (Lehman *et al.*, 2010a). Os neurónios KNDy também co-expressam receptores para NKB e dinorfina (Lehman *et al.*, 2010b); no entanto, eles não expressam receptores para a kisspeptina (Lehman *et al.*, 2010a). Os neurónios KNDy liberam kisspeptina em resposta à sua estimulação por NKB (autócrino e parácrino), o que por sua vez resulta na estimulação da kisspeptina dos corpos celulares do GnRH e nas projecções neuronais do GnRH (denominadas dendrons) para a eminência mediana do hipotálamo (Goodman *et al.*, 2014; Goodman *et al.*, 2018). A kisspeptina actua como sinal de saída dos neurónios KNDy e desencadeia a despolarização síncrona dos neurónios GnRH. A despolarização dos neurónios KNDy inicia a libertação de dinorfina, que por sua vez hiperpolariza e suprime a actividade dos neurónios KNDy. A libertação sequencial desses três neuropeptídeos pelos neurónios KNDy representa uma hipótese plausível para o chamado gerador de pulsos de GnRH (Herbison, 2018). Praticamente todos os neurónios KNDy expressam receptor de estrogénio- α (ER- α ou ESR1) (Franceschini *et al.*, 2006) e o estradiol demonstrou suprimir a expressão de mRNA de Kiss1 no núcleo arqueado (Franceschini *et al.*, 2006, Mayer *et al.*, 2010).

5.1.2. Ciclo estral

A fêmea bovina é considerada poliéstrica anual ou não estacional, apresentando intervalos de ciclos regulares durante todo o ano, independentemente da estação ou da luminosidade. O ciclo estral compreende o intervalo entre dois períodos de receptividade sexual (estro), com durabilidade média de 21 dias, podendo variar entre 17 a 24 dias nas raças zebuínas. Sendo assim, o ciclo é subdividido em quatro fases distintas que são o proestro, estro, metaestro e diestro, caracterizadas por diversas alterações morfo-funcionais no sistema hipotálamo-hipófise-ovário-útero capazes de preparar a fêmea para a ovulação e concepção (Swenson *et al.*, 1996). O desencadeamento dos eventos do ciclo estral ocorre a partir da libertação de uma

série de hormonas. Inicialmente o hipotálamo secreta a hormona libertadora de gonadotrofinas (GnRH), via sistema porta-hipofisário, estimulando a síntese e libertação pela adenohipófise das hormonas foliculo estimulante (FSH) e luteinizante (LH), que irão actuar nos ovários (Hafez e Hafez, 2004). O FSH promove o recrutamento folicular e estimula o crescimento inicial dos foliculos ovarianos, enquanto o LH promove o crescimento final do foliculo dominante (FD), a ovulação e formação do corpo lúteo (CL) por meio do processo de luteinização. O FD, em resposta à acção dessas duas hormonas, secreta estradiol promovendo um *feedback* positivo com aumento significativo na libertação de LH, cerca de 3 dias antes da ovulação. Uma vez iniciado o pico de LH, a ovulação ocorrerá após uma média de 24 a 32 horas (Gonsalves *et al.*, 2002). Após a ovulação, as células remanescentes do foliculo onde ocorreu a libertação do oócito multiplicam-se e sofrem alterações morfo-funcionais, dando origem ao CL, uma estrutura altamente vascularizada, responsável pela libertação de progesterona (P4) que, por meio de um *feedback* negativo, inibe a secreção de GnRH pelo hipotálamo (Hafez e Hafez, 2004).

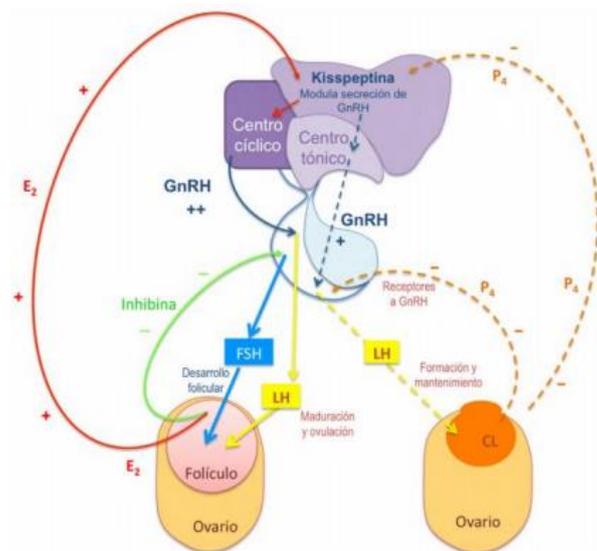


Figura 1: Esquema simplificado de regulação do ciclo estral pelo Eixo Hipotálamo-Hipófise-Ovário. (Fonte: Rangel, 2018).

No entanto, durante o ciclo estral não há somente o crescimento do CL, pois ocorre, concomitantemente, o processo de crescimento e regressão continuada de foliculos ovarianos (onda folicular), denominado dinâmica folicular. Esse padrão de ondas acontece em todos os estágios da vida de uma fêmea, até mesmo em períodos anovulatórios, tais como a fase pré-púbere, durante a gestação e no período pós-parto, sendo comum o surgimento de duas ou três ondas foliculares por ciclo (Sá Filho e Vasconcelos, 2010).

A onda de crescimento folicular consiste na emergência simultânea de um grupo de folículos com diâmetro de aproximadamente 2 ou 3 mm. Esse recrutamento estimulado por um aumento transitório da hormona FSH, cessa em aproximadamente três dias, quando o maior folículo atinge, em média, 8,5 mm em vacas *Bos taurus* e 6,1 mm em vacas *Bos indicus*. Nessa fase, denominada desvio (ou divergência), apenas o maior folículo continua a crescer e torna-se o FD, enquanto os demais sofrem regressão (Sá Filho e Vasconcelos, 2010).

Na presença de um CL funcional, com secreção de P4 acima de 1 ng/mL, o estradiol libertado pelo FD da primeira onda folicular é incapaz de induzir o pico de LH e de provocar estro comportamental e ovulação, com consequente perda de dominância e atresia. Entre o oitavo e décimo dia do ciclo, o processo reinicia-se com a ocorrência da segunda onda folicular, e não havendo pico de LH o FD regride novamente, dando sequência à terceira onda folicular, entretanto, em caso de pico de LH o FD torna-se o folículo ovulatório (Hafez e Hafez, 2004).

Em caso de gestação positiva, o CL mantém a secreção de P4 até a fase de reconhecimento materno da gestação, que na fêmea bovina ocorre entre 16 a 25 dias após a fecundação. Caso contrário, na ausência de gestação ocorre a lise do corpo lúteo (luteólise) em função da secreção pulsátil de prostaglandina F2 α (PGF2 α) produzida pelo endométrio, desencadeando o início de um novo ciclo estral (Gordon, 2004). Um importante factor a ser considerado é que o recrutamento e crescimento folicular inicial são controlados pelo FSH e ocorrem mesmo em períodos anovulatórios (anestro), uma vez que a secreção de FSH parece ser inibida apenas em função de desnutrição severa. Por outro lado, após a fase de desvio folicular, como o crescimento do FD ocorre por influência directa e proporcional à secreção de LH, mesmo havendo emergência contínua de folículos e crescimento até a fase de desvio, factores que interfiram na frequência de pulsos de LH podem impedir o crescimento e ovulação do FD (Sá Filho e Vasconcelos, 2010).

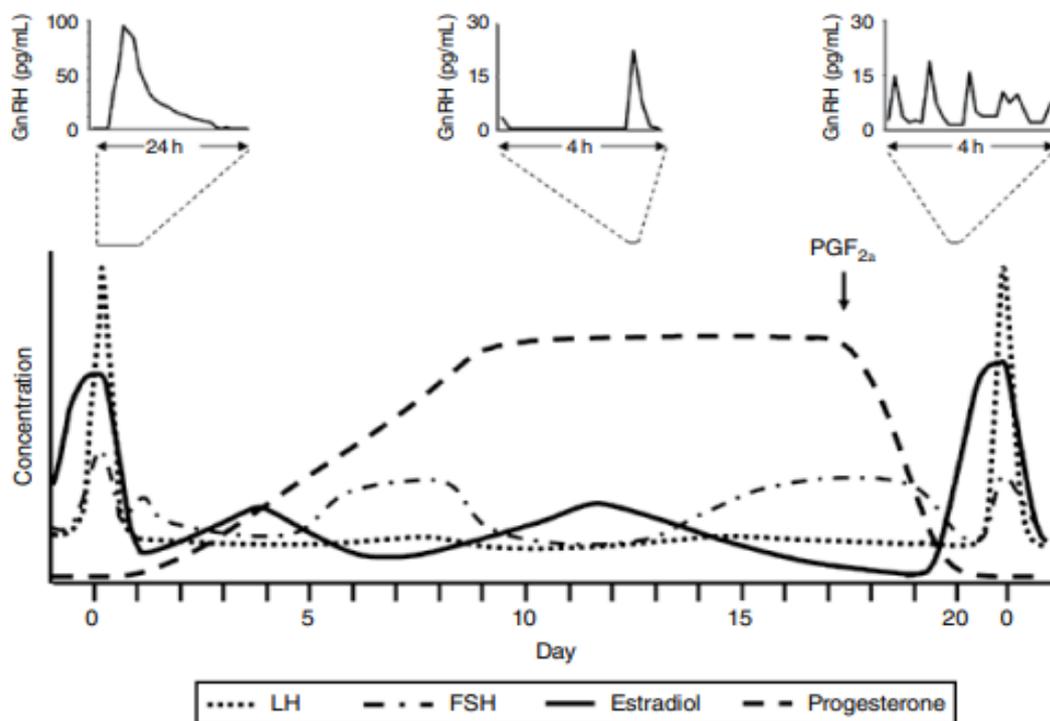


Figura 2: Perfil hormonal durante o ciclo estral. GnRH: Hormona libertadora das gonadotropinas. LH: Hormona luteinizante. FSH: Hormona folículo estimulante. $PGF_{2\alpha}$: Prostaglandina. (Fonte: Amstalden e Williams, 2014).

5.1.3. Anestro

A ocorrência de falhas na fertilidade das vacas de corte está relacionada à baixa taxa de serviço e de concepção durante a estação de cobrição, em virtude principalmente da situação de anestro reprodutivo em que as fêmeas se encontram. O anestro é caracterizado pela ausência de ciclo estral, período em que a fêmea não está apta a estabelecer uma nova gestação, sendo que na vaca, pode ocorrer em função de desnutrição ou no período pós-parto (Sá Filho e Vasconcelos, 2010; Risques *et al.*, 2020). O anestro pós-parto é um período de transição no qual o eixo hipotálamo-hipófise ovário-útero se recupera da prenhez anterior, ocorrendo, nas primeiras 2 a 4 semanas pós-parto, a reposição das reservas de LH na hipófise anterior e a involução uterina, restabelecendo a ciclicidade (Risques *et al.*, 2020).

A duração do anestro pós-parto é, na bovinocultura de corte, o factor de maior importância para a determinação do intervalo entre partos, a qual pode ser influenciada pela presença do vitelo, balanço energético da vaca, estação do ano, idade e raça da matriz, presença de touros, ocorrência de partos gemelares, além de problemas como distócia e retenção de placenta, em função de doenças do tracto reprodutor ou deficiências nutricionais (Sá Filho e Vasconcelos, 2010). A condição anovulatória no período pós-parto consiste na emergência de ondas foliculares, que atingem a fase de divergência e dominância, porém sem que haja uma taxa

adequada de crescimento do FD, levando a uma produção insuficiente de estradiol e consequentemente a ausência de um pico de LH, ocasionando a atresia do folículo. Assim, a fase de anestro pós-parto na vaca é caracterizada por diversas ondas anovulatórias de curta duração (Montiel e Ahuja, 2005).

O anestro pode ocorrer em função de uma hipersensibilidade do hipotálamo ao estradiol, sendo que baixas concentrações desta hormona são capazes de inibir a secreção pulsátil de GnRH, e, consequentemente, a secreção de LH, não havendo estímulo para a manutenção do crescimento folicular após a fase de divergência, gerando atresia e nova onda folicular (Sá Filho e Vasconcelos, 2010). O retorno da ciclicidade ocorre quando, em condições nutricionais favoráveis, há diminuição da sensibilidade do hipotálamo ao estradiol, aumento nos pulsos de LH até que o FD se desenvolva e produza estradiol suficiente para induzir o pico de LH e a ovulação (Sá Filho e Vasconcelos, 2010).

O estado nutricional da vaca tem influência sobre o atraso na ovulação pós-parto, pois, quanto maior o balanço energético negativo (BEN), maior o tempo para retorno à ciclicidade. Assim, a divisão de nutrientes para suprir as exigências da vaca, bem como a mobilização das reservas corporais durante o período pós-parto leva o animal a uma perda de escore da condição corporal (ECC) podendo gerar uma parada do ciclo estral em vacas de corte (D'Occhio *et al.*, 2019; Montiel e Ahuja, 2005).

5.2. Eficiência reprodutiva

A eficiência reprodutiva é o factor-chave para o sucesso da actividade pecuária e afecta tanto a produtividade quanto a lucratividade, e é definido como a capacidade de uma vaca se tornar prenhe em tempo útil e normalmente é medido pelo número de vitelos desmamados após uma época (Moorey e Biase, 2020).

Num correcto manejo reprodutivo, os parâmetros (Tabela 1) que permitem avaliar a eficiência reprodutiva da exploração e que traduzem a sua eficiência, são a idade ao primeiro parto, a fertilidade anual, IEP, taxa de desmame (TD) e peso vivo médio (PVM) dos vitelos ao nascimento e ao desmame (Mourão, 2022). Outros índices reprodutivos que interessa controlar incluem a distribuição dos partos ao longo do ano, o refugo médio, a mortalidade média perinatal e o desmame (Palmeiro, 2013). Também Romão (2013) refere os seguintes critérios reprodutivos como aqueles que têm maior importância na análise do desempenho reprodutivo de uma exploração: a) Intervalo entre partos (IEP): corresponde ao intervalo entre dois partos consecutivos e deve ser, como já referido anteriormente, próximo de trezentos e sessenta e

cinco dias; b) Taxa de fertilidade (TF): representa o número de vacas que pariram das colocadas à cobertura e deve considerar-se a taxa anual e não a taxa de fertilidade aparente; c) Taxa de gestação (TG): corresponde ao número de vacas diagnosticadas gestantes de entre as colocadas em reprodução. Deve ser comparada com a TF, uma vez que podem surgir mortes embrionárias ou abortos; d) Taxa de desmame (TD): corresponde ao total de vitelos desmamados sobre o total de vacas colocadas à reprodução. Quando comparada com a TF pode dar informações sobre a ocorrência de nados mortos ou sobre a mortalidade perinatal; e) Idade ao primeiro parto (IPP): idade média das fêmeas primíparas aquando do primeiro parto.

Tabela 1: Metas para uma exploração de corte otimizar a sua eficiência reprodutiva.

Indicador	Meta
Intervalo entre partos	365 dias
Vacas abatidas anualmente como estéreis	<5%
Vacas parindo para desmamar um vitelo	>95%
Idade ao primeiro parto	24 meses
Parto compacto com 80% das vacas paridas	42 dias
Taxa de substituição	16% a 18%,
Período de serviço (PS)	60 dias
Taxa detecção do cio	90%
Vacas em cio 60 dias pós-parto	> 90%
Dias ao 1º cio observado	< 40 dias
Serviços por concepção	1,4 1
Taxa de concepção ao 1º serviço	65%
Taxa de concepção com menos de 3 serviços	100%
Percentual de vacas com PS > 120 dias	< 5%
Idade média ao 1º parto	24 meses
Taxa de natalidade	> 85%
Taxa de aborto	< 7%

Fonte: Diskin e Kenny, 2014

5.2.1. Maximização da eficiência reprodutiva

Maximizar a eficiência reprodutiva é de grande importância económica para os produtores de leite e carne bovina (Garverick e Smith, 1993). O manejo reprodutivo torna-se, portanto, fundamental para a maximização da eficiência reprodutiva de bovinos, pois possui impacto

directo sobre a eficiência produtiva e reprodutiva do gado, ou seja, da produção de quilos de vitelos desmamados/hectare/ano (Torres Junior *et al.*, 2009). Dentro deste cenário, inúmeras estratégias de manejo vêm sendo amplamente utilizadas de forma racional em explorações de criação de bovinos visando, além de um adequado manejo reprodutivo, a prevenção de doenças, o atendimento das exigências nutricionais nas diversas fases da vida reprodutiva e à máxima exploração do potencial genético dos animais. Dentre as práticas de manejo empregadas para melhorar a eficiência reprodutiva do gado, destacam-se as seguintes:

5.2.1.1. Idade à Cobrição

A idade à cobrição (IC) corresponde à idade com que as novilhas iniciam a sua vida reprodutiva (Mourão, 2022). A IC, aos 14 meses, em novilhas é uma realidade de poucos sistemas de produção devido, principalmente, a dois factores: más condições nutricionais encontradas nas propriedades de gado de corte (González *et al.*, 1986; Cardoso *et al.*, 2020) e falta de selecção genética para a precocidade sexual das novilhas (Campos *et al.*, 1994; Bakae *et al.*, 2022).

Um baixo nível nutricional e de crescimento adiam a IC, assim como o alto nível nutricional e rápido crescimento aceleram o seu aparecimento (Martins *et al.*, 2021). A deficiência nutricional em novilhas de corte pode suprimir a geração de picos hormonais ocasionando, assim, o prolongamento da idade em que as novilhas ficam aptas para as actividades reprodutivas (Cardoso *et al.* 2020). As novilhas criadas em regiões tropicais e com uma condição nutricional adequada podem apresentar o início da puberdade entre 12,3 a 15 meses, que poderá reduzir a idade ao primeiro parto (Forde *et al.*, 2011; Codognoto *et al.*, 2022). Dziuk e Bellows (1983) e Fontes *et al.* (2020) recomendam o estabelecimento de um manejo nutricional e sanitário adequado para garantir que ao início da estação reprodutiva as novilhas já estejam maduras sexualmente e capazes de conceber.

A idade, o peso corporal e as variações genéticas são considerados os principais factores envolvidos para o desencadeamento da IC (Cardoso *et al.*, 2020; Martins *et al.*, 2021). As relações entre a idade ao primeiro parto e a IC são factores que podem determinar a precocidade sexual (Fabre-Nys e Martin, 1991; Dyck, 1988; Bertogna *et al.*, 2021). As novilhas zebuínas atingem a IC por volta de 22 a 36 meses (González *et al.*, 1986; Martins *et al.*, 2021), e a idade ao primeiro parto entre 44 a 48 meses (Carvalho *et al.*, 1995; Aranda-Avila *et al.*, 2010; Maciel *et al.*, 2016; Martins *et al.*, 2021) enquanto que nas raças taurinas, a primeira ovulação ocorre entre 7 e 12 meses, com a primeira monta em torno de 15 meses (Patterson *et al.*, 1990; Hanotte *et al.*, 2000; Cooke *et al.*, 2021; Delchiaro *et al.*, 2022).

O acompanhamento do gado em relação ao ganho de peso diário e avaliação do peso corporal é crucial pois permite a predição do momento em que as novilhas estarão aptas, para a sua primeira estação reprodutiva (Houghton *et al.*, 1990; Ayres *et al.*, 2014; D'Occhio *et al.*, 2019; Cooke *et al.*, 2021).

As raças de maior porte geralmente são mais tardias e mais pesadas quando atingem a IC (Heslin *et al.*, 2020). As novilhas de corte precisam de atingir cerca de 60 a 65% do peso vivo adulto para alcançarem o peso ideal para a cobertura (Dickinson *et al.*, 2019) sendo imprescindível que as novilhas de reposição sejam desmamadas com o maior peso possível, de acordo com os padrões da raça, sem se tornarem obesas, visto que o excesso de tecido adiposo em novilhas durante a fase pré-desmame pode resultar em redução do desempenho subsequente desses animais (Cooke *et al.*, 2021; Kasimanickam *et al.*, 2021).

Existem, porém, variações genéticas dentro e entre as raças, relativamente aos efeitos da idade e peso à cobertura entre *Bos taurus* e *Bos indicus*. Em novilhas taurinas a IC geralmente acontece entre 10 - 15 meses e 270 - 350 kg de peso corporal, com o parto estimado para 24 - 26 meses de idade. Nos zebuínos, a puberdade acontece em idade mais avançada e com maior peso em relação ao peso adulto, apresentando uma idade, à primeira cria, que pode chegar aos 44 - 48 meses (Maciel *et al.*, 2016; Carvalheira *et al.*, 1995; Aranda-Avila *et al.*, 2010; Figueiredo *et al.*, 1997).

5.2.1.2. Período de gestação

O período de gestação compreende o intervalo entre a concepção e o parto, e é também uma importante característica relacionada com a reprodução de bovinos, uma vez que as vacas com menores períodos de gestação têm vantagem reprodutiva sobre as de gestação mais longa (Rocha *et al.*, 2005). A duração média da gestação da vaca é de 280 a 290 dias, com variações entre raças e dependendo do sexo da cria. Geralmente, a gestação é mais longa em vacas zebuínas, menor em vacas de raças europeias, como a Holandês e a Jersey, e intermediária nas vacas mestiças.

5.2.1.3. Taxa de Gestação (TG)

A Taxa de gestação (TG) é um dos indicadores de eficiência reprodutiva. Como proposto e definido por VanRaden *et al.* (2004) é a percentagem do número de ciclos estrais (que biologicamente se repetem de 21 em 21 dias) após um período voluntário de espera (60 dias) no pós-parto, que foram necessários para a vaca ficar gestante. Neste processo, uma condição é que os registos tenham, no mínimo, 250 dias após o parto para serem utilizados no cálculo da TG. Observa-se que a maior TG ou maior eficiência reprodutiva está inversamente relacionada

ao Período de serviço; cada 1% da TG corresponde a uma diminuição de 4 dias no Período de serviço (Mourão, 2022).

5.2.1.4. Idade ao primeiro parto

A idade ao primeiro parto (IPP) é o período em que a vaca atinge a maturidade e se reproduz pela primeira vez, e determina a capacidade reprodutiva das vacas, ou seja, quão cedo elas são capazes de conceber, gestar e parir (Shin *et al.*, 2021). A idade ao primeiro parto é um factor importante para determinar a duração do período não produtivo (Dickinson *et al.*, 2019), bem como para a fertilidade (Pleshkov *et al.*, 2022) e produtividade posteriores.

A IPP define o início da vida reprodutiva do animal na exploração e a sua importância económica está associada ao custo de produção das novilhas de reposição. O primeiro parto em idade mais jovem significa precocidade sexual, possibilitando maior potencial de reposição de vacas em produção e redução do intervalo de gerações. A antecipação da IPP está directamente ligada à precocidade sexual, eficiência reprodutiva e à lucratividade da produção de carne bovina (Dyck, 1988; Bertogna *et al.*, 2021). Esta característica pode ser utilizada como critério de selecção por estar relacionada com a idade. A puberdade dos animais (Solano *et al.*, 2000), correlaciona-se com o potencial de longevidade das fêmeas (Diskin e Kenny, 2014; Baruselli *et al.*, 2018), além de ser de fácil medição, não implicando no custo adicional para o sistema (Heslin *et al.*, 2020). A redução da idade ao primeiro parto promove a diminuição do intervalo entre gerações, possibilitando maior intensidade de selecção nas fêmeas, além de aumentar a sua vida útil (Dickinson *et al.*, 2019).

Para produtores comerciais de gado de corte, a IPP é importante porque pode afectar o tamanho das vacas e também o peso e o número de vitelos disponíveis para venda. Para produtores de sêmen, este indicador é considerado de grande importância pois também afecta o potencial do progresso genético (Núñez-Dominguez *et al.*, 1991). É amplamente aceite que as novilhas devem parir pela primeira vez com cerca de 2 anos de vida mas a maioria dos países relata uma média de primeiro parto superior a 3 anos (Lesmeister *et al.*, 1973; Lusby *et al.*, 1981; Lepen, 1993; Aranda-Avila *et al.*, 2010; Masello *et al.*, 2019).

O atraso na IPP, segundo Adoligbe *et al.* (2020), ocorre devido à influência ambiental. Um dos principais motivos é nutricional, em situação em que o manejo suplementar e a falta de forragem devido às estacionalidades climáticas não supre a exigência do animal. A idade em que as fêmeas são expostas ao macho também pode ter influência na idade ao primeiro parto (Fontes *et al.*, 2020).

Partindo do pressuposto de que a IPP é um dos aspectos que reflectem directamente na determinação da eficiência reprodutiva do gado, tendo grande influência no número de vitelos produzidos durante toda a vida produtiva da futura vaca (Machado *et al.*, 2001, Stygar *et al.*, 2014), a inclusão de novilhas em idades mais jovens na reprodução pode aumentar a taxa de desfrute na propriedade (Zervoudakis *et al.*, 2002). Ao se reduzir o custo com a exclusão de um ano de recria aumenta-se 0,5 a 0,8 vitelos por vaca durante a sua vida produtiva (Eler *et al.*, 2002).

5.2.1.5. Intervalo entre partos (IEP)

O intervalo entre partos (IEP) é definido como o período de tempo decorrido entre dois partos consecutivos, e compreende o intervalo do parto ao primeiro cio (intervalo pós-parto), número e duração dos serviços da vaca até à gravidez (duração da concepção), que é frequentemente referido como período aberto em gado leiteiro, e a duração da gestação (Shin *et al.*, 2021). O IEP tem sido amplamente utilizado e aceite como uma medida adequada da eficiência reprodutiva de vacas reprodutoras de corte e é um dos indicadores económicos mais importantes na unidade de produção pois define a lucratividade ou perdas económicas (Olori *et al.*, 2002). Um IEP longo devido à baixa fertilidade aumenta os custos de produção tais como custo de inseminação, retornos reduzidos de vitelos nascidos, e substituição forçada em caso de abate (Van Arendonk *et al.*, 1989; Esselmont *et al.*, 2001). Aumentar o intervalo entre partos em 1 dia custa ao criador cerca de 1,8 dólares americanos na Irlanda, sem contabilizar os custos de um abate mais elevado devido à pobreza de fertilidade (Veerkamp *et al.*, 2001), e pode ser de até 4,5 dólares americanos, dependendo do nível de produção e a extensão do atraso (Esselmont *et al.*, 2001).

5.2.2. Factores com influência directa na maximização da eficiência reprodutiva

A actividade de cria e sua eficiência económica baseia-se na produção de vitelos, que ao serem desmamados e vendidos geram receita ao produtor. Para garantir a máxima eficiência reprodutiva e conseqüente aumento na rentabilidade, é imprescindível que o maior número possível de fêmeas fique gestante durante a estação de monta (Mourão, 2022). O conhecimento de factores que interferem no sucesso das técnicas de reprodução e a busca por ferramentas que possibilitem a melhoria nesses índices faz-se indispensável. Neste contexto, a eficiência reprodutiva destaca-se como de grande importância, principalmente por concentrar a ocorrência das gestações nos momentos mais oportunos da estação reprodutiva.

Entre as principais causas da redução da eficiência reprodutiva na carne bovina, encontramos doenças infecciosas (Givens *et al.*, 2006; Mee *et al.*, 2012), como a diarreia viral bovina

(Grooms, 2004; Oguejiofor *et al.*, 2019), rinotraqueíte infecciosa bovina (Newcomer *et al.*, 2017), tricomoniase por *Tritrichomonas foetus* (Michi *et al.*, 2016; Collantes-Fernández *et al.*, 2019) e campilobacteriose por *Campylobacter foetus* spp. (Michi *et al.*, 2016); programas nutricionais inadequados (D’Occhio *et al.*, 2019) que revelaram subnutrição e nutrição desequilibrada; infertilidade de touros (Butler *et al.*, 2020), revelando a necessidade de confirmar a saúde reprodutiva de um touro antes de introduzi-lo para acasalamento natural numa exploração de corte (Barth, 2018); genética, com alguns aspectos do desempenho reprodutivo em vacas de corte provando ser mais de 50% hereditário (Johnston *et al.*, 2014) e bem-estar animal inadequado (Rioja-Lang *et al.*, 2020).

5.2.2.1. Maneio nutricional

O manejo nutricional dos bovinos de carne criados em regime extensivo é influenciado pela disponibilidade forrageira local, frequentemente dependente das variações climáticas, assim como pelas necessidades nutritivas dos animais que poderão ser maiores ou menores em função do estado fisiológico em que se encontrem (Subtil, 2019). Num estudo realizado por Vinatea *et al.* (2010), em explorações de bovinos de carne criados em sistema extensivo na Espanha, verificou-se que as condições naturais nestas explorações pioram no verão e no inverno, dada a escassez de pastagem, decorrente da estagnação do crescimento das forragens, nestas estações do ano. Blasco (2022) refere que nos sistemas extensivos, as vacas estão sujeitas a deficiências nutricionais que têm repercussões na fertilidade.

Para que sejam atingidos índices reprodutivos de excelência é fundamental que uma reprodutora se encontre em boa condição corporal, pelo que se torna essencial avaliar este parâmetro nas diversas fases produtivas, a fim de se corrigir eventuais desequilíbrios nutricionais, dado que este apresenta uma maior influência na duração do anestro pós-parto e, naturalmente, na idade à primeira cobrição (IC) e na taxa de gestação (TG), sendo impreterível um manejo nutricional adequado no período pré-parto (Diskin e Kenny, 2016; Mourão, 2022).

Assim, é prioritário o manejo nutricional de vacas aleitantes, pois estas necessitam de reservas energéticas para a manutenção do peso corporal, desenvolvimento fetal, lactação, crescimento e reprodução (Dourado, 2018). Na recria (machos e fêmeas), é fundamental assegurar um acompanhamento que permita a obtenção de bons reprodutores, uma vez que a puberdade está relacionada com a idade e peso vivo (PV) e este é directamente influenciado pela nutrição (Engelken, 2008).

5.2.2.1.1. O peso corporal

O peso corporal (PC) é um determinante primário do alcance da puberdade em novilhas. As novilhas de corte geralmente atingem a puberdade quando alcançam 55% a 60% do PC adulto (Funston e Deutscher, 2004).

Existem várias estratégias diferentes para alimentar novilhas desde o pós-desmame até à pré-reprodução, todas dependendo do ganho médio diário ser calculado adequadamente para atingir a percentagem desejada de PC de vaca adulta na reprodução. Realisticamente, as novilhas devem ser alimentadas com uma dieta de alta energia durante um mínimo de 80 dias antes de atingirem a meta de 65% do peso corporal adulto na reprodução (Funston e Deutscher, 2004).

As novilhas com taxa de crescimento mais rápido (maior ganho médio diário) antes do desmame, atingem a puberdade mais rapidamente (Roberts *et al.*, 2017). Em novilhas, alterando as taxas de ganho e a percentagem total de peso corporal maduro alcançado antes da reprodução, é possível influenciar o desempenho dos seus vitelos e a subsequente taxa de gestação (Clanton, 1993). Além disso, as vitelas de primeira geração retidas para reposição, independentemente da sua estratégia alimentar, podem potencialmente carregar as suas características reprodutivas definidas pela percentagem de peso corporal adulto da sua mãe na reprodução (Ferrell, 1982; Kasimanickam *et al.*, 2021).

5.2.2.1.1.1. Monitorização da condição corporal

Os métodos utilizados para a monitorização da CC são: observação manual, ecografia e imagem digital, através de uma escala que varia entre um (extremamente magra) e cinco (extremamente gorda). O controlo individual da gordura corporal de cada vaca, bem como a manutenção de uma CC adequada, permite fiscalizar a fertilidade de um animal e monitorizar, manualmente, a gordura corporal dos animais, permitindo superar a subida nos preços da alimentação (Bell *et al.*, 2018). A quantidade de gordura subcutânea de cada animal é avaliada através de uma combinação de palpação e observação da gordura da anca e da área do lombo.

A profundidade da gordura é avaliada através de ecografia, ao obter-se uma imagem longitudinal da gordura intramuscular (marmoreado) (Ferrario, 2022). A imagem digital serve para mediar a distância da largura da cauda, entre as tuberosidades isquiáticas e a distância entre as tuberosidades ilíacas. Estas distâncias são medidas em pixéis e a largura da cauda é expressa como uma percentagem da distância entre as tuberosidades isquiáticas ou ilíacas (Bell *et al.*, 2018). O principal benefício de uma melhor monitorização da CC das vacas é melhorar a CC dos animais que são demasiado magros ou demasiado gordos e, conseqüentemente,

detectar aqueles que poderão colocar em risco a produtividade de uma exploração devido a problemas de saúde e fertilidade (Bell *et al.*, 2018).

5.2.2.2. Maneio sanitário

Relativamente ao maneio sanitário, é imprescindível estabelecer um plano de acções no âmbito das afecções reprodutivas (bacterianas, virais, parasitárias), possibilitando o seu rastreio, a profilaxia e a eliminação de animais que sejam um foco de doença. Definir esquemas de profilaxia médica e sanitária será uma ferramenta útil para melhorar o estado de saúde tanto das reprodutoras quanto dos recém-nascidos, bem como a identificação correcta das doenças circulantes nas explorações (Bettencourt, 2021).

Para que os protocolos vacinais sejam eficientes é necessário adequá-los a cada efectivo considerando o risco de doença e a prevalência dos agentes patogénicos, que variam de exploração para exploração (Dohlman, 2016). O controlo de doenças, nomeadamente daquelas que têm um impacto nefasto na fertilidade das explorações, visa a prevenção da ocorrência de abortos e de doenças que reduzem as taxas de ovulação, a qualidade dos oócitos e a fertilização e, ainda, das doenças que predispoem a mortes embrionárias e perinatais (Daly, 2012).

Considerando que determinadas vacinas geram imunidade durante um período restrito, a vacinação deve ser executada de acordo com a fase reprodutiva em que os agentes patogénicos actuam, para que a imunização seja bem-sucedida. Para tal, é necessário que se conheçam os agentes e em que fases reprodutivas geralmente actuam (Caldwel, 2019).

5.2.2.2.1. Doenças infecciosas que afectam a reprodução

De acordo com Daly (2012), as afecções patológicas do foro reprodutivo são as que causam maior impacto na produção e rentabilidade das explorações de bovinos de carne. A identificação dos agentes etiológicos é uma tarefa complexa, segundo estes autores. Identificar as causas de aborto, morte embrionária ou infertilidade, por baixas taxas de concepção, é bastante difícil, pois não são automaticamente diagnosticadas visto que existem diversas doenças infecciosas capazes de prejudicar o desempenho reprodutivo na espécie bovina, nomeadamente, a fertilidade e o IEP (Daly, 2012). Os agentes patogénicos envolvidos podem ser, genericamente, bactérias, vírus ou parasitas e da sua acção resultam diferentes entidades nosológicas, como aborto, morte embrionária, perdas perinatais, metrite ou infertilidade (Engelken e Dohlman, 2015). Walker (2005) identifica os seguintes agentes como sendo de maior preocupação, devido à sua capacidade de causar maiores perdas produtivas e reprodutivas em bovinos de carne: *Leptospira serovar hardjo*, *Campylobacter fetus*, *Coxiella*

burnetti; *Brucella abortus*; *Besnoitia Besnoiti*, *Neospora caninum*, o vírus da rinotraqueíte infecciosa (IBR) e o vírus da Diarreia Viral Bovina (BVD).

Determinada doença manifesta-se numa população de acordo com uma tríade epidemiológica: hospedeiro, agente infeccioso e ambiente. Torna-se, assim, fundamental, não só detectar a entrada de um problema infeccioso na exploração, mas também aplicar medidas de biossegurança, no sentido de prevenir ou controlar estas doenças: impedir a entrada dos agentes patogénicos nas explorações, aplicar planos profiláticos adequados e restringir as condições que favorecem a transmissibilidade (Daly, 2012). Para Caldwell (2019), é ainda fundamental conhecer os agentes patogénicos e saber em que fases produtivas irão actuar, considerando que algumas vacinas criam uma imunidade restringida a um determinado período temporal. Desta forma, é mais seguro que a imunização ocorra na altura adequada, contribuindo para o sucesso do plano profilático utilizado.

De referir que um estado nutricional adequado e a ausência de factores causadores de *stress* contribuem fortemente para minorar a expressão de doenças infecciosas (Dohlman, 2016).

5.2.2.3. Genética e ambiente

A genética (Amstalden *et al.*, 2011; Nepomuceno *et al.*, 2017; Cardoso *et al.*, 2018; Ferraz Jr *et al.*, 2018), bem como o ambiente (Kasimanickam *et al.*, 2021) são descritos como os principais controladores de idade na puberdade. Corroborando com isso, Johnston *et al.* (2009) mostraram que a idade na puberdade é moderadamente hereditária (0,52 a 0,57) em novilhas de corte adaptadas tropicalmente e também está favoravelmente correlacionada geneticamente (- 0,40 e - 0,33 para Brahmans e Compostos Tropicais, respectivamente) à reprodução ao longo da vida produtiva em vacas (Johnston *et al.*, 2014), tornando-a ideal para a inclusão em programas de selecção. O temperamento excitável comumente observado em bovinos *Bos indicus* (Hearnshaw e Morris, 1984; Fordyce *et al.*, 1988), é referido como impactando na função reprodutiva em fêmeas de corte e provavelmente contribui para o atraso da puberdade em novilhas *B. indicus* (Cooke *et al.*, 2019). O temperamento é definido como as respostas comportamentais relacionadas ao medo do gado quando exposto ao manejo humano (Fordyce *et al.*, 1988). Os bovinos com temperamento excitável apresentam taxas de crescimento reduzidas em comparação com aqueles com temperamento adequado (Francisco *et al.*, 2015), enquanto o ganho de peso corporal pós-desmame está negativamente associado à idade e à puberdade em novilhas (Schillo *et al.*, 1992).

O temperamento excitável também está associado ao aumento da síntese e das concentrações circulantes de ACTH e cortisol durante o manuseio, o que pode interromper os principais eventos fisiológicos necessários para atingir a puberdade, incluindo o primeiro pico ovulatório de LH (Dobson e Smith, 2000; Cooke, 2014).

5.2.2.4. Maneio reprodutivo no pós-parto

Sabe-se que quanto mais pronunciada for a perda de CC após o parto, maior será o intervalo até à primeira ovulação, o que se traduz no alongamento do IEP. Para que se consiga um IEP de trezentos e sessenta e cinco dias é necessário que a fêmea fique gestante entre os setenta e cinco a oitenta dias após o parto (Romão e Bettencourt, 2009). O seu encurtamento ou alongamento pode, respectivamente, melhorar ou piorar os índices de fertilidade de uma exploração, ou seja, o número de vitelos que nascem por ano, influenciando no número de vitelos desmamados e vendidos, o que se repercutirá na rentabilidade das explorações (Reis, 2010). A variabilidade de IEP entre os animais deve-se a factores genéticos e ambientais como o efeito exploração, alimentação, idade da fêmea, a época do ano, entre outros (Carolino *et al.*, 2000). Posto isto, a fertilidade pós-parto pode ser afectada pelos seguintes factores:

Involução uterina: Após o parto, há uma série de mecanismos responsáveis pela recuperação do tracto reprodutor, nomeadamente da função uterina e da dinâmica ovárica que, conjuntamente, irão permitir à fêmea uma nova gestação. Porém, a involução uterina não é, em si, um factor limitante ao reinício da actividade ovárica pós-parto. É um fenómeno complexo, estreitamente associado aos níveis de prostaglandina $F2\alpha$ ($PGF2\alpha$) (Mourão, 2022).

Nos bovinos, nos dois dias que precedem o parto, pode observar-se uma quebra brusca dos níveis de progesterona ($P4$), acompanhada de um incremento dos níveis de $PGF2\alpha$. Durante o parto, há uma libertação acentuada de $PGF2\alpha$ devido a um mecanismo desencadeado pela oxitocina num endométrio sensibilizado pela $P4$ e aos níveis elevados de estrogénios. Esta libertação de $PGF2\alpha$ mantém-se por um período relativamente longo após o parto, sendo a principal responsável pela involução uterina. Embora esteja comprovado que as fêmeas que apresentam níveis elevados de $PGF2\alpha$ no pós-parto revelam maior capacidade de regeneração do endométrio e uma involução uterina mais precoce, há autores que defendem que a involução uterina está relacionada com a proporção entre os teores de $PGF2\alpha$ e prostaglandina $E2$ ($PGE2$) (Carreira, 2007).

Ciclos éstricos curtos: devido à presença de corpo lúteo de curta duração, decorrente dos elevados níveis de $PGF2\alpha$ em circulação (Reis, 2010).

Anestro pós-parto: corresponde a uma fase de aciclia ovárica, que se reflecte numa inactividade sexual, durante a qual não se observam comportamentos característicos de cio (Carreira, 2007). Pode ser afectado por diversos factores, como a estação de parição, o genótipo, a idade da vaca, o número de partos, a presença do touro ou do vitelo, a amamentação e a nutrição (Carolino *et al.*, 2000; Tauck *et al.*, 2010).

5.2.2.5. Peso ao nascimento

O peso ao nascimento (PN) é um indicador económico muito bom na indústria pecuária de corte, e está positivamente correlacionado com o ganho de peso diário e o peso na fase adulta (Cho *et al.*, 2021). A taxa de sobrevivência de vitelos com menor PN é menor, enquanto os vitelos com maior PN aumentam o risco de dificuldade de parto (Upadhyay *et al.*, 2017). O peso dos vitelos ao nascimento desempenha um papel significativo na sua sobrevivência, saúde e bem-estar dos vitelos e impacta na produtividade e no desempenho reprodutivo da manada.

O PN é o primeiro carácter poligénico observável do animal e pode ser considerado como a primeira expressão fenotípica do genótipo do indivíduo e a diferença do seu crescimento subsequente (Yadav *et al.*, 2001; Kuthu e Hussain, 2020).

Thiruvankadan *et al.* (2009) e Hossein-Zadeh *et al.* (2012) referem que existem vários factores que influenciam o PN tais como ambientais, por exemplo, sexo do vitelo, idade materna, época de nascimento. O estudo realizado por Parikh *et al.*, 2022 com o objectivo de avaliar o efeito dos factores vitelo, vaca e touro sobre o peso ao nascimento de vitelos Gir concluiu que a idade e a paridade da vaca teve efeito significativo no PN dos vitelos e que as matrizes com idade inferior ou até 4 anos pariram vitelos com menor PN, enquanto aquelas com idades entre 9 e 10 anos pariram vitelos com maior PN. Outros factores que também tiveram efeito significativo sobre os PN no estudo incluíram o sexo em que vitelos machos apresentaram PN de 2,2 kg (10%) maior que as fêmeas ($23,40 \pm 0,14$ vs. $21,21 \pm 0,14$ kg). Neste estudo constatou-se ainda que a época dos nascimentos influenciou nos pesos, e o menor peso foi observado nos meses de Agosto a Setembro e o maior no mês de Dezembro. Esses factores podem suprimir o verdadeiro potencial genético de crescimento do animal (Thevarnanoharan *et al.*, 2001).

Cho *et al.* (2021) afirmaram que o PN apresenta uma correlação negativa com a idade de abate e positiva com o peso da carcaça, e que durante diferentes meses e estações do ano este indicador pode influenciar a taxa de crescimento após o desmame. Assim, num programa de melhoramento genético, o PN do vitelo é considerado uma das características importantes que actuam como um indicador do crescimento pré-natal e do crescimento e desenvolvimento pós-

natal (Wakchaure e Meena, 2010). O peso ao nascimento também afecta outras características futuras, como puberdade, maturidade sexual, idade ao primeiro parto e subsequente produtividade das vitelas (Selvan *et al.*, 2018).

5.2.2.6. Época de nascimentos

A produção de carne bovina em quase todas as situações é de natureza sazonal para coordenar os recursos alimentares com as necessidades nutricionais da mãe (Cardoso *et al.*, 2020). Uma das variáveis mais importantes que afectam a eficiência produtiva e económica na produção de carne bovina é o número de vitelos nascidos por ano por vaca montada. É, portanto, essencial que o manejo seja projectado para garantir um bom desempenho reprodutivo.

A época de nascimentos tem uma relação directa com a optimização da eficiência reprodutiva pois influencia no nível nutricional das fêmeas e, deste modo, impacta tanto na idade ao primeiro parto, peso ao nascimento assim como nos intervalos entre partos. Daí que a época do ano é uma das variáveis que se deve tomar em conta quando se pretende maximizar a eficiência reprodutiva e produtiva nas explorações pecuárias.

Segura-Correa *et al.* (2017) estimando os pesos ao nascimento (PN) e desmame (PD) e intervalo entre partos (IEP) de Brahman, Guzarat, Nelore e seus cruzamentos com Pardos Suíços, e determinando os efeitos de alguns factores ambientais sobre essas características nos trópicos do sudoeste de México, constataram que a época de nascimentos foi significativa no PN, PD e IEP. Observou-se ainda que os vitelos nascidos na estação seca foram os mais pesados enquanto os nascidos no período chuvoso, foram os o mais leves. Pinedo e De Vries (2017) também constataram que as influências ambientais relacionadas com a época de nascimentos durante os diferentes estágios da vida da matriz podem induzir mudanças ao longo da vida na estrutura, fisiologia e metabolismo dos vitelos. Um estudo realizado por Hammoud *et al.* (2010) com o objectivo de estudar alguns factores que afectam o desempenho reprodutivo de um gado frísio nascido localmente no Egipto demonstrou a existência do efeito significativo da época do nascimento em relação à idade ao primeiro parto, e outras características reprodutivas tais como taxa de serviços pós-parto e dias abertos.

Evans *et al.* (2006), no seu estudo sobre o efeito da paridade, idade ao parto, percentagem da raça Holandesa Norte-Americana e data do parto no intervalo subsequente de partos e sobrevivência para facilitar a estimativa das probabilidades de transição por mês de parto demonstraram que a IPP sofre efeitos negativos quando as vacas parem com uma idade superior a 24 meses resultando em intervalos mais longos entre partos. Para além disso, este estudo

demonstrou que os intervalos mais curtos entre partos foram associados a vacas parindo em épocas mais tardias do ano.

Maximizar a eficiência reprodutiva é essencial para o alcance das metas produtivas e para melhorar os rendimentos nas explorações de gado de corte. Desta forma, as informações arroladas nesta secção evidenciam os efeitos positivos que podem ser alcançados quando se planificam as actividades de gestão e manejo tendo a maximização da eficiência reprodutiva como um guião da actividade pois os diferentes maneios e investimentos empregados serão orientados em consequência dela.

6. MATERIAIS E MÉTODOS

6.1. Local de estudo

Os dados deste estudo foram recolhidos na Estação Zootécnica de Angónia (EZA) do Centro Zonal do Instituto de Investigação Agrária de Moçambique. A EZA está localizada no distrito de Angónia (14° 38' 43" S, 34° 14' 38" E), província de Tete, na zona centro-região oeste de Moçambique, com altitude superior a 1000 m em relação ao nível do mar, caracterizada por clima tropical-húmido, com temperatura média anual variando de 18°C a 22°C, humidade relativa de 70% e precipitação média mensal de 265 milímetros (Setâ *et al.*, 2022). A estação chuvosa normalmente ocorre entre Novembro e Abril, e a estação seca entre Maio e Outubro. O gado predominante é de raça Angone. O número total de bovinos naquela zona é de 33.864 (Cumbe *et al.*, 2021). A precipitação média anual varia de 1100 a 1200 mm, com precipitações concentradas no período de Dezembro a Fevereiro. O solo é profundo e plano ou relevo suavemente ondulado e a agricultura é a principal actividade económica desenvolvida pela população local (A. Atanásio-Nhacumbe *et al.*, 2017) (Figura 3).

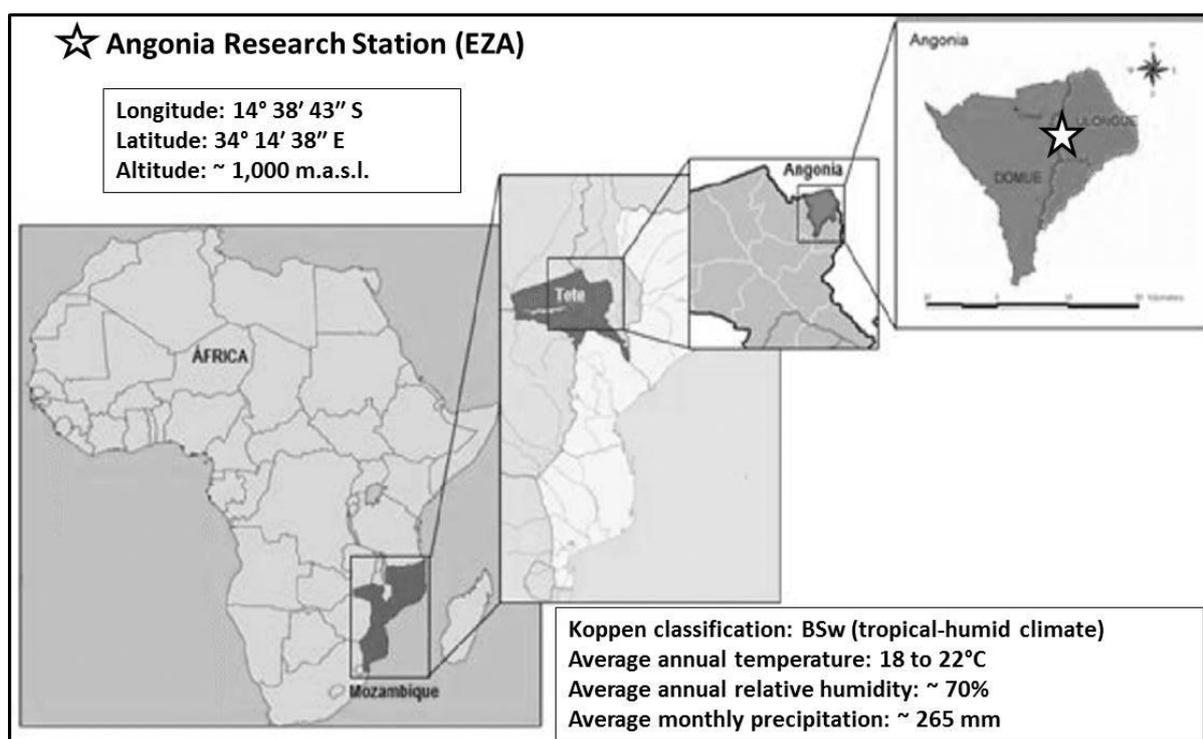


Figura 3: Localização da área de estudo na região tropical-húmida de Moçambique (continente, país, província, distrito e área) onde foi efectuada a recolha de dados, incluindo dados sazonais e desempenho reprodutivo e produtivo do gado Angone de Moçambique criado em condições tropicais. Continente: África; País: Moçambique; Província: Tete; Distrito: Angónia; Área: Ulongué. Área de estudo tropical-húmida (estações anuais: chuvosa e seca) localizada na Estação Zootécnica de Angónia (EZA) (estrela branca).

6.2. Maneio dos animais

Na EZA, os animais são mantidos nos currais durante a noite, e, diariamente pela manhã, são conduzidos para as áreas de pastagem, e no final do dia são conduzidos de volta aos respectivos currais. O sistema de alimentação da EZA é baseado em pastagem natural, e os animais são mantidos em pastagens naturais por 8 horas. O manejo alimentar foi similar em todas as épocas de nascimento. Aos 6-8 meses, os vitelos são desmamados com 30-40% do peso adulto.

Todos os anos, são desparasitados no início e no final da estação chuvosa. Banhos carracicidas são utilizados sempre que o nível de infestação for alto, sendo mais frequentes no período chuvoso. Além destes tratamentos, os animais são imunizados contra doenças de notificação obrigatória em Moçambique, que incluem os carbúnculos, febre aftosa, brucelose, tuberculose e dermatose nodular. O sistema de reprodução é natural e contínuo durante todo o ano com os nascimentos e cobrições ocorrendo ao longo do ano.

6.3. Delineamento experimental

O delineamento usado foi uma adaptação do Joaquim et al. (2024) onde dados retrospectivos da idade ao primeiro parto (IPP) das vacas, o peso ao nascimento (PN) dos vitelos e o intervalo entre partos (IEP) foram extraídos das folhas de registo de 1995 a 2020. Os animais com dados incompletos ou que não tinham completado o seu primeiro parto na altura da recolha de dados não foram seleccionados para o estudo (Figura 4).

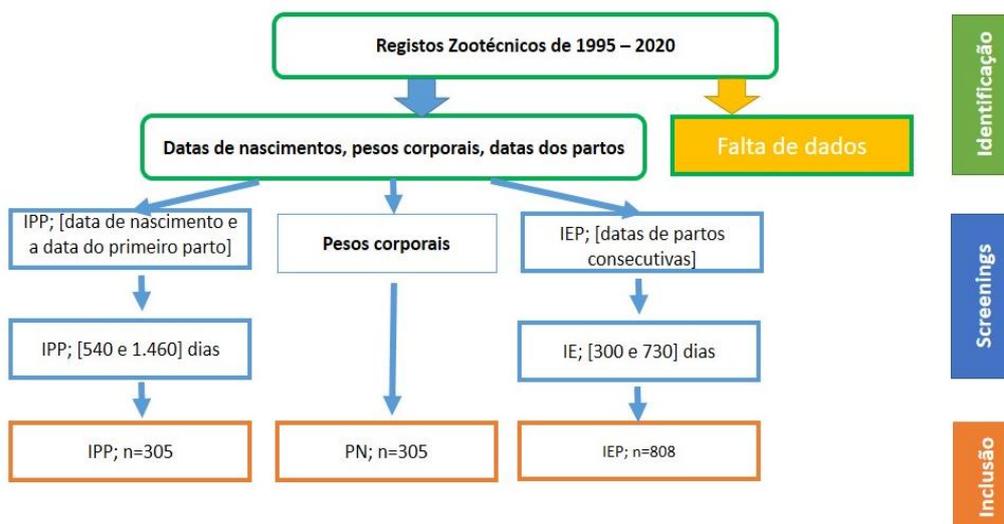


Figura 4: Esquema resumido do delineamento experimental. IPP: Idades ao primeiro parto das vacas. IEP: Intervalos entre partos das vacas. PN: Pesos ao nascimento dos vitelos. Fonte: Autor.

A idade à primeira cobertura foi estimada com base na idade ao nascimento, e as épocas de nascimento foram categorizadas em quatro trimestres anuais (Janeiro-Março: final da estação chuvosa; Abril-Junho: início da estação seca; Julho-Setembro: final da estação seca; Outubro-Dezembro: início da estação chuvosa). A idade ao primeiro parto foi calculada como o período, em dias, entre a data de nascimento da novilha e a data do seu primeiro parto. Apenas as vacas (n= 808) com uma IPP entre 540 e 1.460 dias foram incluídas na análise, excluindo as que se encontravam fora deste intervalo. O peso ao nascimento dos vitelos (n= 305) foi obtido a partir das fichas de registo e agrupado de acordo com a data de nascimento, tendo sido excluídos do estudo os vitelos que não tinham registo de nascimento. O intervalo entre partos (IEP) foi calculado como o período, em dias, entre datas de nascimento consecutivas. Apenas os valores de IEP entre 300 e 730 dias foram incluídos na análise, sendo excluídos os valores fora deste intervalo.

6.4. Análise estatística

A análise estatística dos dados de desempenho reprodutivo das novilhas Angone foi realizada no pacote estatístico R 4.3.2. Os dados foram submetidos ao teste de normalidade (Shapiro Wilk) e homogeneidade de variância (Levene). Para avaliar o efeito da época de nascimento em relação ao peso ao nascimento, idade ao primeiro parto e intervalo entre partos, foi utilizado o teste de Kruskal-Wallis. Os resultados com diferença significativa foram submetidos ao teste de Dunn para comparação de médias entre os grupos. Foi utilizado também o método de mínimos quadrados para medir a relação de causa-efeito entre idade à cobertura, peso ao nascimento e idade ao primeiro parto, usando a análise de regressão linear simples. A verificação de linearidade, homoscedasticidade e normalidade dos resíduos antecederam a análise de regressão. Todas as análises foram feitas ao nível de significância de 5%.

7. RESULTADOS

Os efeitos da idade à primeira cobertura (IC) e da época de nascimento (EN) sobre o peso dos vitelos ao nascimento (PN), a idade ao primeiro parto (IPP) e o intervalo entre partos (IEP) estão apresentados nas tabelas 2 e 3. A análise considera estes parâmetros para avaliar o impacto da IC e da EN.

7.1. Efeitos da idade à cobertura sobre peso dos vitelos ao nascimento (PN), idade ao primeiro parto (IPP) e intervalo entre partos (IEP)

A análise do efeito da IC sobre o PN revela que os maiores valores do PN foram obtidos na IC G (18,230±0,325 kg) e na IC H (18,324±0,324 kg), enquanto os menores valores do PN foram observados na IC A (17,530±0,765 kg) e na IC B (17,615±0,623 kg). Foram observadas diferenças significativas entre os grupos IC ($p < 0,05$), particularmente entre os grupos IC A, B, C e E quando comparados com os grupos D, G e H (Tabela 2).

Tabela 2: Efeito da idade à cobertura (IC) sobre peso ao nascimento (PN), idade ao primeiro parto (IPP) e intervalo entre partos (IEP) do gado Angone criado em condições tropicais.

Idade à Cobrição (IC; Meses)	PN n	Peso Corporal (PC; kg)	IPP n	Idade ao Primeiro Parto (IPP; dias)	CI n	Intervalo Entre Partos (IEP; dias)
A (< 22)	13	17.530±0.765 ^a	13	838.530±2.559 ^a	31	493.480±7.784 ^a
B (22-24.5)	26	17.615±0.623 ^a	26	981.231±3.610 ^b	58	523.845±13.637 ^b
C (24.5-27)	45	17.767±0.293 ^a	45	1,059.609±3.571 ^{bc}	138	520.729±10.099 ^{bc}
D (27-29.5)	46	18.130±0.358 ^b	46	1,139.804±3.025 ^c	133	533.068±9.905 ^b
E (29.5-32)	45	17.578±0.300 ^a	45	1,207.913±3.181 ^{cd}	111	512.280±11.524 ^{bc}
F (32-34.5)	40	17.975±0.390 ^{ab}	40	1,287.244±3.566 ^{de}	91	511.848±11.463 ^{bc}
G (34.5-37)	56	18.232±0.325 ^b	56	1,361.018±2.888 ^e	167	513.821±8.699 ^{bc}
H (37-39.5)	34	18.324±0.324 ^b	34	1,430.750±3.099 ^e	79	508.534±12.212 ^{ac}
Média	305	17.916±0.134	305	1,203.900±3.141	808	516.010±4.022

Os valores são apresentados como Média ± S.E.M. Diferentes sobrescritos (a-e) dentro de uma coluna mostram diferenças estatísticas entre os pesos corporais, idades ao primeiro parto e intervalos entre os partos, respectivamente ($p < 0,05$).

Em relação à idade ao primeiro parto (IPP), este parâmetro aumentou com a idade à cobertura (IC), e a relação entre IPP e IC foi linear (Figura 5B).

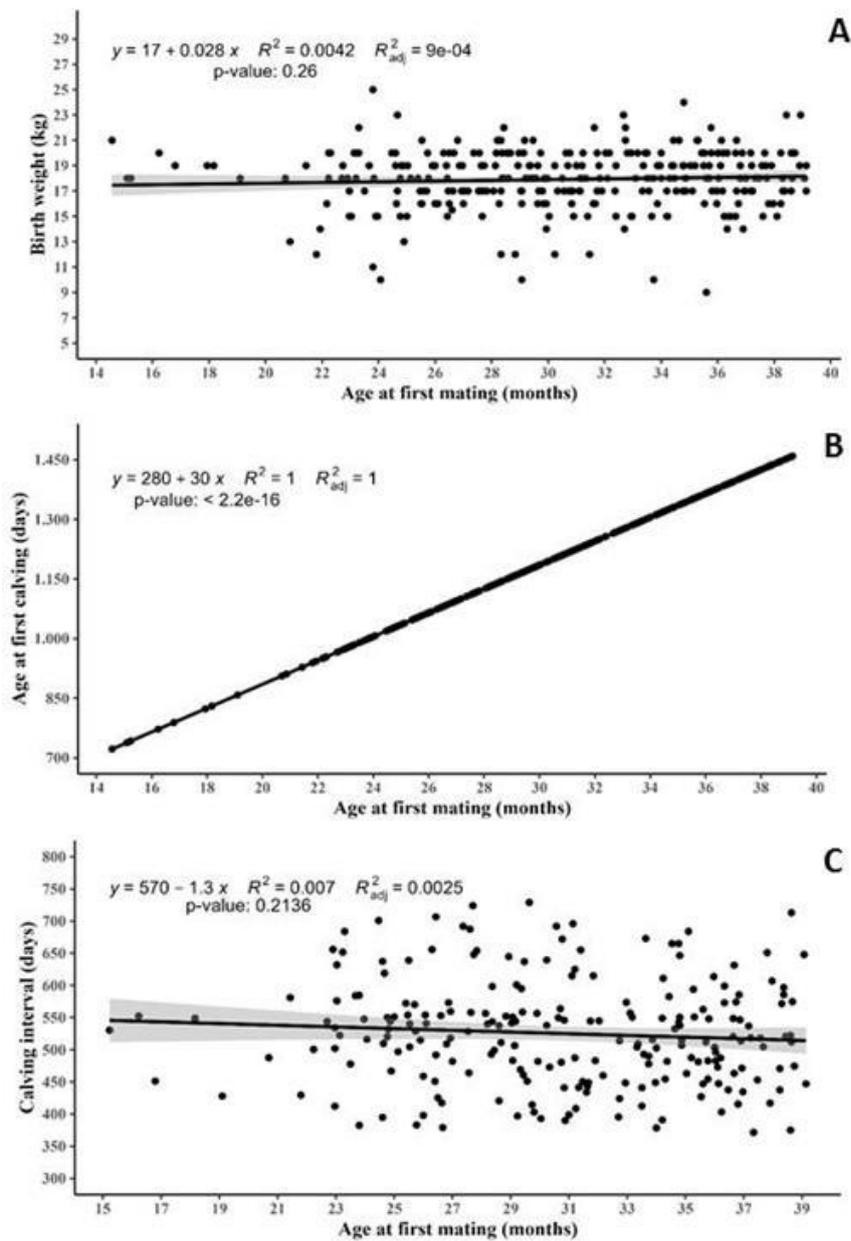


Figura 5: Efeito da idade à cobertura sobre o peso ao nascimento (PN) de vitelos nascidos entre 1995-2020, na Estação Zootécnica de Angónia, idade ao primeiro parto (IPP) e intervalo entre partos (IEP) do gado Angone. Médias dos mínimos quadrados e S.E.M. (bandas transparentes) para a interação entre características: A) Médias dos mínimos quadrados e S.E.M. para a interação entre o peso ao nascer (kg) e idade ao primeiro acasalamento (dias); B) Médias dos mínimos quadrados e S.E.M. para a interação entre idade ao primeiro parto (dias) e idade ao primeiro acasalamento (dias); C) Médias dos mínimos quadrados e S.E.M. para a interação entre o intervalo entre os partos (dias) e idade ao primeiro acasalamento (dias). Valores de p dos efeitos fixos: $p = 2,2 \times 10^{-16}$; AFC (n= 305 novilhas), BW (n= 305 vitelos), e CI (n= 808 vacas) nascidas de 1995 a 2020, na Estação Zootécnica de Angónia, em Moçambique.

Os valores mais baixos de IPP foram observados nas IC A, B e C, com $838,530 \pm 2,559$, $981,231 \pm 3,610$ e $1.059,609 \pm 3,571$ dias, respectivamente. Por outro lado, os valores mais altos de IPP foram observados em IC F, G e H, com $1.287,244 \pm 3,566$, $1.361,018 \pm 2,888$ e $1.430,750 \pm 3,099$ dias, respectivamente (tabela 2). Foi observado um efeito significativo da IC na IPP entre os grupos ($p < 0,05$).

No que diz respeito à relação entre a IC e o intervalo entre partos (IEP), este último aumentou com a idade à cobertura (IC) até o grupo IC D. O valor mais baixo do IEP foi observado no grupo IC A, com aproximadamente $493,48 \pm 17,784$ dias, enquanto o valor mais alto do IEP foi no grupo IC D, com aproximadamente $533,068 \pm 9,905$ dias. Verificou-se um efeito significativo da IC no indicador reprodutivo IEP, com a IC A a diferir significativamente dos outros grupos, excepto do grupo G ($p < 0,05$).

7.2. Efeito da época de nascimentos sobre peso ao nascimento (PN), idade ao primeiro parto (IPP) e intervalo entre partos (IEP) do gado Angone criado em condições tropicais

A época de nascimentos (EN) teve um efeito significativo no peso ao nascimento dos vitelos (PN) ($\chi^2 = 9,31$; $p = 0,025$). As vacas nascidas no último trimestre (início da estação chuvosa) produziram vitelos mais pesados ($18,23 \pm 0,191$ kg) em comparação com as nascidas no primeiro trimestre (final da estação chuvosa) ($p < 0,05$; Tabela 3).

Tabela 3: Efeitos sazonais das época de nascimento da vaca sobre o peso dos vitelos ao nascimento (PN), idade ao primeiro parto (IPP) e intervalo entre partos (IEP) em gado bovino Angone criados em condições tropicais

Época de nascimentos	PN n	Peso Corporal (PC; kg)	IPP n	Idade ao Primeiro Parto (IPP; dias)	IEP N	Intervalo Entre Partos (IEP; dias)
1 Fim da Época Chuvosa (Jan-Mar)	86	17.530 ± 0.258^a	86	$1,201.15 \pm 17.255^a$	66	519.640 ± 7.457^a
2 Início da Época Seca (Abr-Jun)	40	17.850 ± 0.406^a	40	$1,173.47 \pm 21.298^a$	142	503.130 ± 14.186^b
3 Fim da Época Seca (Jul-Set)	55	17.855 ± 0.281^a	55	$1,203.50 \pm 19.989^a$	237	501.560 ± 10.415^b
4 Início da Época Chuvosa (Out-Dez)	124	18.230 ± 0.191^b	124	$1,215.840 \pm 15.400^a$	363	521.050 ± 5.787^a
Média	305	17.910 ± 0.134	305	$1,203.920 \pm 9.140$	808	516.010 ± 4.022

Os valores são apresentados como Média \pm S.E.M. Diferentes sobrescritos (a,b) dentro de uma coluna mostram diferenças estatísticas entre pesos corporais, idades ao primeiro parto e intervalos entre partos, respectivamente ($p < 0,05$).

Além disso, os dados dos vitelos nascidos no primeiro trimestre (final da estação chuvosa) apresentaram maior variabilidade em relação aos nascidos nas outras estações (Figura 6A).

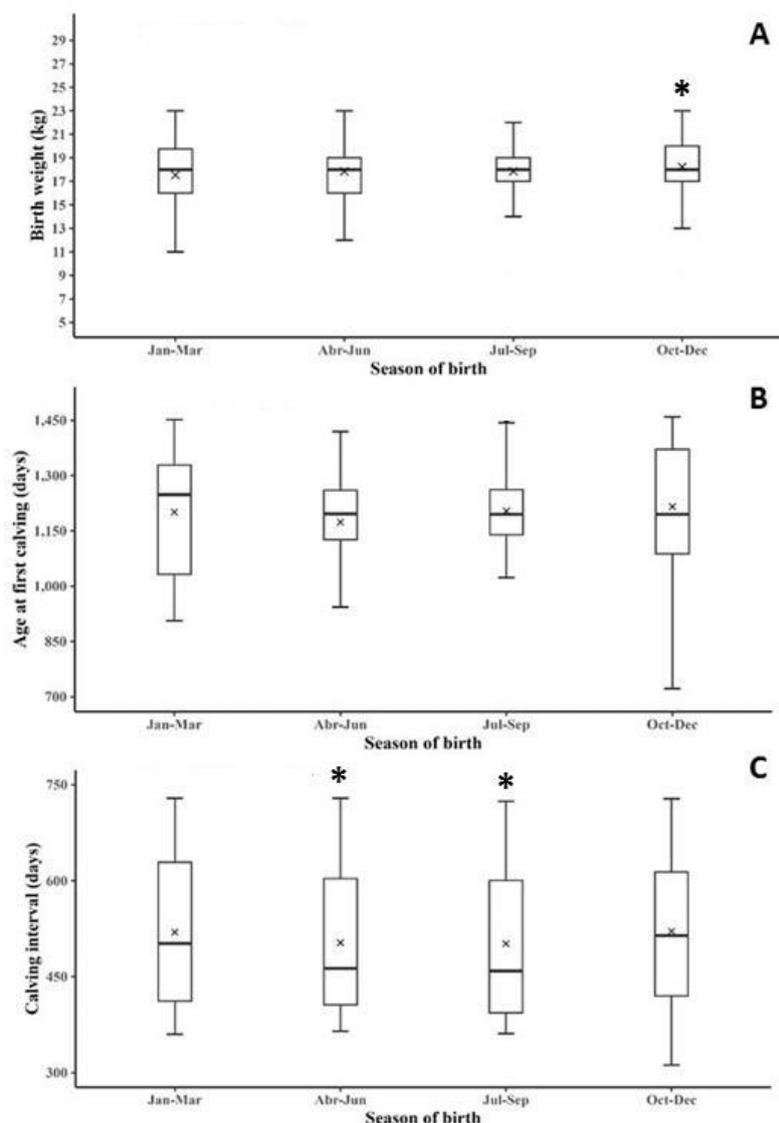


Figura 6: Efeitos da época de nascimentos da vaca (EN) no peso ao nascimento dos vitelos (PN), idade ao primeiro parto (IPP) e intervalo entre partos (IEP) analisados pelo teste de Kruskal-Wallis em bovinos Angone, de Moçambique, criados em condições tropicais. Box-and-whisker plots mostrando variações nas características produtivas e reprodutivas (PN: peso ao nascimento dos vitelos; kg, IPP: idade ao primeiro parto; dias, e IEP: intervalo entre partos; dias) e época de nascimento da vaca (EN; Jan-Mar: final da época chuvosa, Abr-Jun: início da época seca, Jul-Sep: final da época seca, Out-Dec: início da época chuvosa). A) PN vs. EN; B) IPP vs. EN e C) IEP vs. EN. Cada caixa inclui o percentil 25, a linha no meio representa a mediana e as barras verticais estendem-se aos percentis 5 e 95 dos valores médios (símbolo 'x') \pm DP. * ($p < 0.05$).

Em relação à idade ao primeiro parto (IPP), as vacas nascidas no segundo trimestre (início da época seca) apresentaram menor IPP ($1.173,475 \pm 21,298$ dias) em relação aos nascidos nas demais estações. Em contrapartida, as nascidas no quarto trimestre (início da época chuvosa)

apresentaram maior IPP ($1.215,847 \pm 15,400$ dias). De qualquer forma, a estação de nascimento da mãe não influenciou significativamente a IPP no gado Angoni ($\chi^2 = 2,79$; $p = 0,42$).

No que diz respeito ao intervalo entre partos (IEP), a época de nascimento da vaca teve um efeito significativo no valor do IEP ($\chi^2 = 85,60$; $p = 2,2 \times 10^{-16}$). Além disso, foram observadas diferenças significativas no valor do IEP entre partos na primeira (final da época chuvosa) e segunda (início da época seca) ($p < 0,05$), segunda (início da época seca) e quarta (início da época chuvosa) ($p < 0,0001$), e terceira (final da época seca) e quarta (início da época chuvosa) ($p < 0,0001$). O valor mais longo do IEP foi registado nos partos ocorridos na quarta época (início da época das chuvas) ($521,050 \pm 5,787$ dias), enquanto o valor mais curto do IEP foi observado nos partos ocorridos na terceira época (final da época seca) ($501,560 \pm 10,415$ dias) (Tabela 5). Estes resultados realçam o impacto significativo da estação de nascimento da mãe no peso dos vitelos ao nascimento e no intervalo entre partos no gado Angone, embora a idade ao primeiro parto não tenha sido significativamente afectada pela época de nascimento da vaca ($p > 0,05$).

8. DISCUSSÃO

Melhorar o desempenho reprodutivo do gado Angone através de práticas estratégicas de manejo e selecção é essencial para otimizar a produção de gado de carne, em Moçambique. A optimização dos programas de produção de gado Angone envolve o estudo do desempenho reprodutivo e produtivo em vários cenários de manejo e em várias épocas de reprodução.

No presente estudo, o peso corporal dos vitelos recém-nascidos foi menor para as vacas que pariram pela primeira vez com menos de 22 meses de idade. Estes resultados estão de acordo com os descritos por Van Eetvelde et al. (2020) e Meesters et al. (2024) que afirmam que a idade da vaca nulípara também influencia o desenvolvimento fetal, associando a idade muito jovem a pesos mais baixos ao nascimento. No entanto, não foi encontrada diferença significativa em relação às novilhas que foram acasaladas pela primeira vez com idades entre 34 e 39 meses ($p > 0,05$). Uma relação curvilínea entre a idade da vaca e o peso do vitelo ao nascimento foi encontrada por Kamal et al. (2014) que sugeriu que em vacas muito jovens, o crescimento contínuo da mãe compete com o crescimento fetal. Por outro lado, os nossos resultados foram consistentes com os descritos por Šlyžienė et al. (2023), que notou que a dependência do peso do vitelo ao nascimento com a idade da novilha à cobrição não é linear. Isto poderia explicar as flutuações no peso médio ao nascimento entre diferentes idades de cobrição. Por outro lado, a cobrição precoce aumenta o tempo de vida produtiva das vacas, mas suscita preocupações no que respeita aos partos distócicos. Além disso, o acasalamento tardio das vacas precisa de ser controlado, pois leva a perdas económicas (Šlyžienė *et al.*, 2023).

Existe uma controvérsia constante sobre o impacto da idade à cobrição no desempenho do crescimento do vitelo. Um estudo de Stádník et al. (2008) reportou que enquanto os vitelos de vacas acasaladas precocemente tinham pesos corporais significativamente maiores, eles também tinham ganhos de peso significativamente menores. Bitencourt et al. (2020) também avaliaram a influência de dois sub-períodos da estação de parto – parto precoce (6 de Setembro a 15 de Outubro) e parto tardio (16 de Outubro a 30 de Novembro) – e dois estágios de maturidade (vacas jovens ou adultas). Eles descobriram que os vitelos nascidos de vacas adultas com parto precoce pesavam ~4,2 kg a mais do que os nascidos de vacas adultas com parto tardio.

Quanto ao efeito da idade à cobrição sobre a idade ao primeiro parto (IPP), observou-se uma relação directa e linear entre estes dois indicadores. Assim, quando a idade à cobrição aumenta, a IPP também aumenta. Esta relação directa é evidente no grupo A, que apresentou o valor

mais baixo da IPP. Por outro lado, nos grupos em que as novilhas foram introduzidas na reprodução mais tarde, como os grupos F, G e H, a IPP aumentou significativamente. Estes resultados estão de acordo com os valores registados por Joaquim et al. (2024) para o gado Angone. Além disso, neste estudo, o maior número de novilhas (56) teve uma IPP de $1.361,018 \pm 2,888$ dias, o que corresponde à idade à cobrição entre 34,5 e 37 meses. Isto sugere que, nesta idade, as novilhas estão a atingir o peso corporal ideal necessário para a reprodução. Estudos efectuados por Larson et al. (2016) e Perry et al. (2016) apoiam esta observação, indicando que as novilhas atingem a puberdade quando o seu peso vivo é aproximadamente 55-65% do peso médio das vacas adultas. As deficiências nutricionais podem atrasar o início da actividade ovárica, reforçando ainda mais a importância de uma nutrição adequada para um desenvolvimento reprodutivo atempado (Sammad *et al.*, 2022). Mourão (2022) salienta que o início da actividade reprodutiva depende da taxa de crescimento, sendo que as novilhas de crescimento mais rápido atingem mais cedo a IPP. No presente estudo, o número de novilhas que pariram, pela primeira vez, dentro da IPP antes dos 22 meses foi de 13, ilustrando ainda mais a variabilidade no desempenho reprodutivo com base na idade à cobrição.

Com relação ao intervalo entre partos (IEP), as novilhas pariram aproximadamente entre 24 e 31 meses, o que é desejável para maximizar a eficiência reprodutiva. Neste estudo, o IEP mostrou-se ligado à longevidade reprodutiva e produtiva das vacas, característica crucial para o estabelecimento de programas bem sucedidos de criação de gado de corte. O IEP, entre outros indicadores reprodutivos, é uma das principais razões para o descarte de vacas, pois dificulta o alcance dos objectivos reprodutivos e produtivos da unidade (Summers et al., 1028). Embora os resultados obtidos indiquem que as novilhas Angone têm potencial para serem utilizadas na produção de carne, de forma sustentável, é necessário intensificar a selecção para características relacionadas com a precocidade sexual. Isto pode ser conseguido através da selecção de pais e do abate de animais com idade tardia ao primeiro parto (IPP).

As novilhas que foram acasaladas até aos 22 meses apresentaram valores de IEP mais curtos, indicando que a implementação de um sistema de manejo melhorado para garantir que mais novilhas estejam prontas para a reprodução mais cedo pode aumentar a produtividade e o rendimento da exploração (Turiello *et al.*, 2020). Portanto, a redução do IEP deve ser uma prioridade para os produtores. Uma vez que a Estação Zootécnica de Angónia (EZA) não implementou a suplementação específica para novilhas antes da época de reprodução, esta pode ser a razão pela qual apenas algumas novilhas tiveram sucesso na primeira época de reprodução antes dos 22 meses. Estudos efectuados por Mourão (2022) e Wichman et al. (2022) sublinham

que as novilhas devem atingir 70-75% do seu peso adulto trinta a quarenta e cinco dias antes de entrarem na época de reprodução. Este aumento de peso permite que as novilhas completem dois a três ciclos de cio antes da introdução de touros, aumentando assim a probabilidade de concepção no início da época de reprodução (Mourão, 2022). A implementação de estratégias nutricionais específicas e a concentração em características reprodutivas precoces podem contribuir significativamente para a sustentabilidade e eficiência do sistema de produção (Mourão, 2022).

Neste estudo, os pesos ao nascimento (PN) dos vitelos Angone alinham-se com os resultados de Joaquim et al. (2024), que relataram um PN de 18,49 kg em sua pesquisa baseada no intervalo de geração e no impacto da época de parto sobre os principais parâmetros reprodutivos e produtivos do gado Angoni. No presente estudo, as vacas que pariram na última época (entre Outubro e Dezembro: início da época chuvosa), produziram vitelos mais pesados. De acordo com Maciel et al. (2016), em Moçambique, a época de reprodução é dividida em duas fases: a época de acasalamento de Janeiro a Abril (final da época das chuvas) e a época de parto de Outubro a Dezembro (início da época das chuvas). Esta divisão deve-se à sazonalidade do pasto nativo, que é crucial para a produção de gado. Consequentemente, as actividades reprodutivas seguem esse padrão, com o acasalamento ocorrendo no final da estação chuvosa, quando as vacas estão em boas condições corporais, apresentam cio prolongado e são mais férteis. O parto, portanto, ocorre no início da estação chuvosa, facilitando o nascimento de vitelos mais pesados. Este fenómeno pode ser atribuído ao aumento do fluxo sanguíneo placentário durante este período sazonal, que redirecciona aproximadamente 30% do fornecimento de nutrientes da mãe para apoiar o crescimento fetal (Vonnahme *et al.*, 2018). Além disso, as temperaturas ambiente favoráveis durante este período asseguram um fornecimento adequado de nutrientes para um desenvolvimento fetal intrauterino óptimo (Tuska *et al.*, 2022). Este período coincide com a estação chuvosa de Moçambique, proporcionando condições favoráveis para que as matrizes atinjam um bom escore de condição corporal, resultando no nascimento de vitelos mais pesados e mais viáveis (Maciel *et al.*, 2016; Joaquim *et al.*, 2024). No entanto, com excepção da última estação, os PN dos vitelos nascidos durante as outras estações de nascimento consideradas neste estudo não foram significativamente diferentes entre si.

Resultados similares foram observados nos estudos de Barroso et al. (2023), que investigou os efeitos da época de nascimento no PN do gado Hanwoo, uma raça local nativa da Coreia, e não encontrou diferenças significativas nos PN dos vitelos nascidos na primavera, outono e

inverno. Outro estudo no Brasil relatou que o peso médio ao nascimento dos vitelos não variou significativamente entre as épocas (Rezende *et al.*, 2022). Finalmente, Wichman *et al.* (2022), sugeriram que o PN depende de factores como localização geográfica, práticas de manejo, o momento específico do nascimento, e outras variáveis que podem restringir o crescimento intrauterino. No entanto, ao avaliar o efeito da época de nascimento das matrizes sobre o peso ao nascer de seus vitelos, verificou-se que as matrizes nascidas no primeiro trimestre do ano (final da estação chuvosa) produziram vitelos menos pesados. Neste estudo, a época de nascimento das matrizes teve um efeito significativo sobre o peso à nascença dos seus descendentes.

No que diz respeito à época de nascimento da matriz e à idade ao primeiro parto (IPP), os resultados obtidos no presente estudo alinham-se com os descritos por Joaquim *et al.* (2024) para o gado Angone do Malawi e de Moçambique. A segunda época (início da estação seca) teve a IPP mais baixa, enquanto a última época (início da estação chuvosa) teve a mais alta. No entanto, a época de nascimento não teve influência significativa na IPP no presente estudo. Estes resultados são consistentes com os obtidos por Earnhardt *et al.* (2021), que avaliaram a influência do grupo de parto, época de nascimento e ano de nascimento na idade ao primeiro parto e grupos de parto em novilhas Brahman. De acordo com esses autores, muitos factores podem afectar a idade ao primeiro parto em novilhas, como a mãe, o pai, a estação de nascimento, o ano de nascimento, a nutrição, a contagem de folículos antrais e a saúde.

O intervalo entre partos (IEP) mais curto foi observado nas vacas nascidas durante os meses de Julho a Setembro, em Moçambique (final da estação seca) em comparação com outras épocas, o que confirma que a época de nascimento das vacas afecta significativamente a vida reprodutiva e, conseqüentemente, a produtividade média das vacas ao longo da sua vida. Este efeito pode ser atribuído à adaptação natural das vacas às mudanças ambientais para satisfazer as suas necessidades nutricionais, tanto para amamentar o vitelo quanto para recuperar as suas reservas de energia e condição corporal para voltar a acasalar após o puerpério (Mourão, 2022).

Em Moçambique, logo após a época de parto natural, a forragem de alta qualidade está mais facilmente disponível, exigindo pouca ou nenhuma suplementação. Isto leva a uma melhor produção de leite, permitindo que os vitelos cresçam e se desenvolvam mais efectivamente, o que aumenta a sua produtividade potencial e encurta o IEP. Por outro lado, os vitelos nascidos fora da época natural, quando os recursos forrageiros são mais limitados, enfrentam maiores exigências em termos de alimentação e manejo sanitário, levando a uma menor produtividade

e IEP mais longos (Harvey-Sky et al., 2024). Além disso, há evidências de que a época de parto pode influenciar a duração da gestação, o que pode contribuir para o IEP mais curto observado em vacas que parem durante a época natural. Fernandez-Novo et al. (2022), relataram diferenças sazonais no número e tamanho dos folículos em bovinos de carne, alterações nas concentrações séricas de progesterona e variações na duração do ciclo estral, que afectam o desempenho reprodutivo. Por último, Maciel et al. (2016) observou que as taxas de fertilidade em Moçambique eram mais baixas de Abril a Agosto (início e fim da estação seca) em comparação com outras épocas do ano, o que apoia ainda mais os efeitos sazonais observados.

9. CONCLUSÕES

Em conclusão, a idade à cobertura influenciou significativamente a idade ao primeiro parto das vacas, peso ao nascimento de vitelos e intervalo entre partos de bovinos Angone criados em condições tropicais de Moçambique. Da mesma forma, a época de nascimentos das novilhas teve um efeito notável no peso dos vitelos ao nascimento e nos intervalos entre partos, contudo nenhum efeito significativo foi verificado em relação à idade ao primeiro parto. Estes resultados sugerem que a optimização da idade à cobertura e época de nascimentos pode aumentar a produtividade e a eficiência reprodutiva do gado Angone no País. Finalmente, estes conhecimentos podem melhorar as práticas de criação e de manejo para a sustentabilidade da produção de gado, concentrando-se nas características reprodutivas precoces e implementando programas estratégicos para o gado Angone criado em condições tropicais em Moçambique.

10. RECOMENDAÇÕES

- Realizar o manejo desde o nascimento até à idade em que as fêmeas são incorporadas na reprodução tendo em conta as diferentes épocas do ano.
- Realizar mais estudos, com a mesma raça, num sistema de manejo e condições climatológicas diferentes, para se poder ter resultados conclusivos em relação ao efeito da idade à cobertura e época de nascimentos, sobre as características reprodutivas e produtivas analisadas no presente estudo.

11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aleixo, J. A. C. Projeto de Implementação de uma Exploração de Bovinos Angus X Landim no Sul de Moçambique. Dissertação de Mestrado. Universidade de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, Faculdade de Medicina Veterinária. Lisboa, Portugal. 2023. 1 p.
2. Alves, B.R.C.; Cardoso, R.C.; Prezotto, L.D. et al. Elevated body weight gain during the juvenile period alters neuropeptide Y-gonadotropin-releasing hormone circuitry in prepuberal heifers. *Biol. Reprod.*, v.92, p.1-10, 2015.
3. Amstalden M, Alves B R, Liu S, Cardoso R C, and Williams G L. 2011. Neuroendocrine pathways mediating nutritional acceleration of puberty: insights from ruminant models. *Front. Endocrinol. (Lausanne)*. 2:109. doi: 10.3389/fendo.2011.00109.
4. Arai, Y.; Ishii, H.; Kobayashi, M.; Ozawa, H. Subunit profiling and functional characteristics of acetylcholine receptors in GT1-7 cells. *J. Physiol. Sci.* **2017**, *67*, 313–323.
5. Arthur, P.F.; Herd, R.M.; Wilkins, J.F. et al. Maternal productivity of Angus cows divergently selected for post-weaning residual feed intake. *Aust. J. Exp. Agrar.*, v.45, p.985-993, 2005.
6. Bailey CB, Mears GJ. Birth weight in calves and its relation to growth rates from birth to weaning and weaning to slaughter. *Can J Anim Sci.* 1990;70:167–73.
7. Barroso JPR, de Castro Ferraz Junior MV, Oliveira GB, Miszura AA, Bertoloni AV, Martins AS, Baggio M, Polizel DM, Biava JS, Ferreira EM, Pires AV. Effect of sires' expected progeny difference for scrotal circumference and juvenile ADG on the puberty of crossbred beef heifers. *Trop Anim Health Prod.* 2023 May 31;55(3):230. doi: 10.1007/s11250-023-03600-9. PMID: 37256457.
8. Barth A.D. Review: The use of bull breeding soundness evaluation to identify subfertile and infertile bulls. *Animal.* 2018;12:S158–S164. doi: 10.1017/S1751731118000538.
9. Bell, M. J., Maak, M., Sorley, M., & Proud, R. (2018). Comparison of Methods for Monitoring the Body Condition of Dairy Cows. *Frontiers*. <https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fsufs.2018.00080> Comparison of Methods for Monitoring the Body Condition of Dairy Cows.
10. Bellows, D. S., S. L. Ott, and R. A. Bellows. "Cost of reproductive diseases and conditions in cattle." *The Professional Animal Scientist* 18, no. 1 (2002): 26-32.
11. Bettencourt, A. H. (2021). A atuação do Médico Veterinário na maximização reprodutiva de uma vacada de carne: intervalo entre partos da raça Mertolenga como caso de estudo.
12. Bitencourt, M.F.; Cerdótes, L.; Restle, J.; Costa, P.T.; Fernandes, T.A.; Ferreira, O.G.L.; Silveira, D.D.; Vaz, R.Z. Age and Calving Time Affects Production Efficiency of Beef Cows and Their Calves. *An. Acad. Bras. Ciênc.* 2020, 92.
13. Blasco, A. (2022). Conversa sobre bovinos de carne. Grupo de Genética.
14. Bova T.L., Chiavaccini L., Cline G.F., Hart C.G., Matheny K., Muth A.M., Voelz B.E., Kesler D., Memili E. Environmental stressors influencing hormones and systems physiology in cattle. *Reprod. Biol. Endocrinol.* 2014;12:58. doi: 10.1186/1477-7827-12-58.
15. Brandt, K.J.; Ault-Seay, T.B.; Payton, R.R.; Schneider, L.G.; Edwards, J.L.; Myer, P.R.; Rhinehart, J.D.; McLean, K.J. The Impacts of Supplemental Protein during Development on Amino Acid Concentrations in the Uterus and Pregnancy Outcomes of Angus Heifers. *Animals* **2023**, *13*, 1995.
16. Buonaiuto, G.; Lopez-Villalobos, N.; Costa, A.; Niero, G.; Degano, L.M.; Mammi, L.E.; Cavallin, D.; Palmonari, A.; Formigoni, A.; Visentin, G. Stayability in Simmental cattle as affected by muscularity and body condition score between calvings. *Front. Vet. Sci.* **2023**, *10*, 1141286. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

17. Burns BM, Fordyce G, Holroyd RG. A review of factors that impact on the capacity of beef cattle females to conceive, maintain a pregnancy and wean a calf-Implications for reproductive efficiency in northern Australia. *Anim Reprod Sci.* 2010 Oct;122(1-2):1-22. doi: 10.1016/j.anireprosci.2010.04.010. Epub 2010 Apr 13. PMID: 20447780; PMCID: PMC7131258.
18. Burns BM, Fordyce G, Holroyd RG. A review of factors that impact on the capacity of beef cattle females to conceive, maintain a pregnancy and wean a calf-Implications for reproductive efficiency in northern Australia. *Anim Reprod Sci.* 2010 Oct;122(1-2):1-22. doi: 10.1016/j.anireprosci.2010.04.010. Epub 2010 Apr 13. PMID: 20447780; PMCID: PMC7131258.
19. Butler M.L., Bormann J.M., Weaber R.L., Grieger D.M., Rolf M.M. Selection for bull fertility: A review. *Transl. Anim. Sci.* 2020;4:423–441. doi: 10.1093/tas/txz174.
20. Caldwell, M. (2019). Beef Cattle Reproductive Herd Health. Proceedings, Applied Reproductive Strategies in Beef Cattle; August, 127–128.
21. Cammack, K.; Thomas, M.; Enns, R. Reproductive Traits and Their Heritabilities in Beef Cattle. *Prof. Anim. Sci.* **2009**, 25, 517–528.
22. Canal LB, Fontes PLP, Sanford CD, Mercadante VRG, DiLorenzo N, Lamb GC, Oosthuizen N. Relationships between feed efficiency and puberty in *Bos taurus* and *Bos indicus*-influenced replacement beef heifers. *J Anim Sci.* 2020 Oct 1;98(10):skaa319.
23. Capaina, N. 2020. Produção bovina em Moçambique: Desafios e perspectivas caso da província de Maputo. *Observador rural (OMR)*. 89:33.
24. Cardoso, R.C., Alves, B.R., and Williams, G.L., 2018. Neuroendocrine signaling pathways and the nutritional control of puberty in heifers. *Animal Reproduction* 15 (Supplement 1), 868-878. Dawuda, P.M., Oyedipe, E.O., Pathiraja and Voh, Jr., A.A., 1988a. Serum progesterone concentrations during the post-partum period of indigenous Nigerian Zebu cows. *British Veterinary Journal* 144:253.
25. Cardoso, R.C.; Alves, B.R.C.; Sharpton, S.M. et al. Nutritional programming of accelerated puberty in heifers: Involvement of pro-opiomelanocortin neurons in the arcuate nucleus. *J. Endocrinol.*, v.27, p.647-657, 2015.
26. Carolino, N., Gama, L., & Carolino, R. (2000). Efeitos genéticos e ambientais no intervalo entre partos num efectivo bovino Mertolengo. August 2014, 1–17.
27. Carreira, R. P. (2007). O anestro pós-parto em bovinos (Sector Edi). Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.
28. Chase, C.C.; Chenoweth, P.J.; Larsen, R.E.; Hammond, A.C.; Olson, T.A.; West, R.L.; Johnson, D.D. Growth, puberty, and carcass characteristics of Brahman-, Senepol-, and Tuli-sired F1 Angus bulls. *J. Anim. Sci.* **2001**, 79, 2006–2015.
29. Chenoweth P. Aspects of reproduction in female *Bos indicus* cattle: a review. *Aust Vet J.* 1994;**71**:422–426.
30. Cho K, Song Y, Yeo JM, Park JK, Kim DW, Roh SH, Seong P, Lee WY. Analysis of seasonal effect on Korean native cattle (Hanwoo) birth weight. *J Anim Sci Technol.* 2021 Jul;63(4):759-765.
31. Choudhary, S., Kamboj, M., Sahu, D. *et al.* Effect of biostimulation on growth rate and reproductive development of *Bos indicus* dairy heifers. *Trop Anim Health Prod* 54, 138 (2022).
32. Clanton, D.C.; Jones, L.E.; England, M.E. Effect of rate and time of gain after weaning on the development of replacement beef heifers. *J. Anim. Sci.* **1993**, 56, 280–285
33. Clark, R.; Creighton, K.; Patterson, H.; Barrett, T. Symposium Paper: Economic and Tax Implications for Managing Beef Replacement Heifers. *Prof. Anim. Sci.* **2005**, 21, 164–173.

34. Clarke, I. J., & Cummins, J. T. (1982). The temporal relationship between gonadotropin releasing hormone (gnrh) and luteinizing hormone (lh) secretion in ovariectomized ewes1. *Endocrinology*, *111*(5), 1737-1739.
35. Clarkson, J.; De Tassigny, X.D.; Moreno, A.S.; Colledge, W.H.; Herbison, A.E. Kisspeptin-GPR54 Signaling Is Essential for Preovulatory Gonadotropin-Releasing Hormone Neuron Activation and the Luteinizing Hormone Surge. *J. Neurosci.* **2008**, *28*, 8691–8697.
36. Clarkson, J.; Herbison, A.E. Development of GABA and glutamate signaling at the GnRH neuron in relation to puberty. *Mol. Cell. Endocrinol.* **2006**, *254–255*, 32–38.
37. Collantes-Fernández E., Moreno-Gonzalo J., Sánchez-Sánchez R., García-Bocanegra I., Horcajo P., Ortega-Mora L.M. Prevalence of bovine trichomonosis and associated risk factors in bulls from Spanish beef herds. *Theriogenology*. 2019;*128*:116–121.
38. Copley JP, Engle BN, Ross EM, Speight S, Fordyce G, Wood BJ, Voss-Fels KP, Hayes BJ. Environmental variation effects fertility in tropical beef cattle. *Transl Anim Sci.* 2022 Mar 30;*6*(2):txac035.
39. Crowley, J.J.; Evans, R.D.; MC Hugh, N. et al. Genetic relationships between feed efficiency in growing males and beef cow performance. *J. Anim. Sci.*, v.89, p.3372-3381, 2011.
40. Cumbe, T. A. (2019). Avaliação bioeconômica de estratégias alimentares na recria de bovinos de corte em Moçambique. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Faculdade de Agronomia, Porto Alegre.
41. Cumbe, T. A. 2023. Análise de fatores associados à dinâmica do desenvolvimento dos sistemas de produção de bovinos: o caso de moçambique. Tese de Doutorado. Universidade de Rio Grande do Sul - Faculdade de Agronomia, Porto Alegre, Brasil. 2023. 21 p.
42. Cumbula, D. & Taela, M. (2020). Animal genetic resources (AnGR) in Mozambique. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1(482) 012045. IOP Publishing
43. Cushman R A, Kill L K, Funston R N, Mousel E M, and Perry G A. . 2013. Heifer calving date positively influences calf weaning weights through six parturitions. *J. Anim. Sci.* *91*:4486–4491. doi: 10.2527/jas.2013-6465.
44. Cushman, R.A.; Kill, L.K.; Funston, R.N.; Mousel, E.M.; Perry, G.A. Heifer calving date positively influences calf weaning weights through six parturitions. *J. Anim. Sci.* **2013**, *91*, 4486–4491.
45. D’Occhio M.J., Baruselli P.S., Campanile G. Influence of nutrition, body condition, and metabolic status on reproduction in female beef cattle: A review. *Theriogenology*. 2019;*125*:277–284.
46. Daly, R. (2012). Management considerations to minimize reproductive disease in the beef herd. *Proceedings, Applied Reproductive Strategies in Beef Cattle*, 285–300
47. Day, M. L., Imakawa, K., Wolfe, P. L., Kittok, R. J., & Kinder, J. E. (1987). Endocrine mechanisms of puberty in heifers. Role of hypothalamo-pituitary estradiol receptors in the negative feedback of estradiol on luteinizing hormone secretion. *Biology of reproduction*, *37*(5), 1054-1065.
48. Day, M. L., K. Imakawa, M. Garcia-Winder, D. D. Zalesky, B. D. Schanbacher, Roger J. Kittok, and J. E. Kinder. "Endocrine mechanisms of puberty in heifers: estradiol negative feedback regulation of luteinizing hormone secretion." *Biology of Reproduction* *31*, no. 2 (1984): 332-341.
49. Day, Michael L., and Guilherme P. Nogueira. "Management of age at puberty in beef heifers to optimize efficiency of beef production." *Animal frontiers* *3*, no. 4 (2013): 6-11.

50. de Alencar, Maurício Mello, JLD Costa, and L. de A. Correa. "Desempenho produtivo de fêmeas das raças Canchim e Nelore. I. Desenvolvimento e puberdade." (1987).
51. de Lima RS, Martins T, Lemes KM, Binelli M, Madureira EH. Effect of a puberty induction protocol based on injectable long acting progesterone on pregnancy success of beef heifers serviced by TAI. *Theriogenology*. 2020 Sep 15;154:128-134.
52. Diskin MG, Kenny DA. Optimising reproductive performance of beef cows and replacement heifers. *animal*. 2014;8(s1):27-39.
53. Dohlman, T. (2016). Herd health considerations for maximizing reproductive outcomes. *Applied Reproductive Strategies in Beef Cattle*, 217–222.
54. Dourado, J. (2018). A importância da condição corporal em índices reprodutivos de quatro vacadas de carne no sul de Portugal. Universidade do Porto.
55. Dubois, S.L.; Wolfe, A.; Radovick, S.; Boehm, U.; Levine, J.E. Estradiol Restrains Prepubertal Gonadotropin Secretion in Female Mice via Activation of ER α in Kisspeptin Neurons. *Endocrinology* **2016**, *157*, 1546–1554.
56. Earnhardt AL, Neuendorff DA, Long CR, Welsh TH Jr, Randel RD. Evaluation of the effects of sire and dam calving group on age at first calving in Brahman heifers. *Theriogenology*. 2021 Jun;167:32-36. doi: 10.1016/j.theriogenology.2021.03.005. Epub 2021 Mar 9. PMID: 33744769.
57. Engelken, T. J. (2008). The development of beef breeding bulls. *Theriogenology*, 70(3), 573– 575.
58. Esselmont, R. J., M. A. Kossaibati, and J. Allcock. 2001. Economics of fertility in dairy cows. Pages 19–29 in *Fertility in the HighProducing Dairy Cow*. M. G. Diskin, ed. British Society of Animal Science, Occasional Publication No 26. Edinburgh, Scotland.
59. Evans, N.P.; Dahl, G.E.; Glover, B.H.; Karsch, F.J. Central regulation of pulsatile gonadotropin-releasing hormone (GnRH) secretion by estradiol during the period leading up to the preovulatory GnRH surge in the ewe. *Endocrinology* **1994**, *134*, 1806–1811.
60. Fernandes Júnior GA, Silva DA, Mota LFM, de Melo TP, Fonseca LFS, Silva DBdS, Carvalheiro R, Albuquerque LG. Sustainable Intensification of Beef Production in the Tropics: The Role of Genetically Improving Sexual Precocity of Heifers. *Animals*. 2022; 12(2):174.
61. Fernandes Júnior, G.A.; Garcia, D.A.; Hortolani, B.; de Albuquerque, L.G. Phenotypic relationship of female sexual precocity with production and reproduction traits in beef cattle using multivariate statistical techniques. *Ital. J. Anim. Sci.* 2019, *18*, 182–188.
62. Fernandez-Novo A, Pérez-Garnelo SS, Villagrà A, Pérez-Villalobos N, Astiz S. The Effect of Stress on Reproduction and Reproductive Technologies in Beef Cattle-A Review. *Animals (Basel)*. 2020 Nov 11;10(11):2096.
63. Ferraz Jr, M.V.C., Pires, A.V., Santos, M.H., Silva, R.G., Oliveira, G.B., Polizel, D.M., Biehl, M.V., Sartori, R., and Nogueira, G.P., 2018. A combination of nutrition and genetics is able to reduce age at puberty in Nelore heifers to below 18 months. *Animal*. 12, 569-574
64. Ferrell, C.L. Effects of postweaning rate of gain on onset of puberty and productive performance of heifers of different breeds. *J. Anim. Sci.* **1982**, *55*, 1272–1283.
65. Fortes MRS, Lehnert SA, Bolormaa S, Reich C, Fordyce G, Corbet NJ, et al. Finding genes for economically important traits: Brahman cattle puberty. *Anim Prod Sci.* 2012;**52**:143–150.
66. Franceschini, Isabelle, Didier Lomet, M. Cateau, G. Delsol, Yves Tillet, and Alain Caraty. "Kisspeptin immunoreactive cells of the ovine preoptic area and arcuate nucleus co-express estrogen receptor alpha." *Neuroscience letters* 401, no. 3 (2006): 225-230.
67. Franco, G. L.; Faria, F. J. C.; D'Oliveira, M. C. Interação entre nutrição e 882 reprodução em vacas de corte. *Informe Agropecuário*, v. 37, n. 292, p. 36-53, 2016.

68. Funston R N, Musgrave J A, Meyer T L, and Larson D M. . 2012. Effect of calving distribution on beef cattle progeny performance. *J. Anim. Sci.* 90:5118–5121.
69. Funston, R.N.; Deutscher, G.H. Comparison of target breeding weight and breeding date for replacement beef heifers and effects on subsequent reproduction and calf performance. *J. Anim. Sci.* **2004**, 82, 3094–3099
70. Funston, R.N.; Martin, J.L.; Larson, D.M.; Roberts, A.J. Physiology and endocrinology symposium: Nutritional aspects of developing replacement heifers. *J. Anim. Sci.* **2012**, 90, 1166–1171.
71. Garverick HA, Smith MF. Female reproductive physiology and endocrinology of cattle. *Vet Clin North Am Food Anim Pract.* 1993 Jul;9(2):223-47.
72. Gasser C L, Behlke E J, Grum D E, and Day M L. 2006. Effect of timing of feeding a high-concentrate diet on growth and attainment of puberty in early-weaned heifers. *J. Anim. Sci.* 84:3118–3122.
73. Givens M.D. A clinical, evidence-based approach to infectious causes of infertility in beef cattle. *Theriogenology.* 2006;66:648–654.
74. Gonsalves, P. B. D.; Figueiredo, J. R.; Freitas, V. J. F. Biotécnicas aplicadas à reprodução animal. São Paulo- SP. Varela. 340p. 2002.
75. Goodman, R. L., & Karsch, F. J. (1980). The hypothalamic pulse generator: a key determinant of reproductive cycles in sheep.
76. Goodman, Robert L., Lique M. Coolen, and Michael N. Lehman. "A role for neurokinin B in pulsatile GnRH secretion in the ewe." *Neuroendocrinology* 99, no. 1 (2014): 18-32.
77. Goodman, Robert L., S. Ohkura, Hiroaki Okamura, Lique M. Coolen, and Michael N. Lehman. "KNDy hypothesis for generation of GnRH pulses: evidence from sheep and goats." *The GnRH neuron and its control* 1 (2018): 289-324.
78. Gordon I. Reproductive thecnologies in farm animals. Wallingford, UK: CAB International, 332p. 2004.
79. Grachev, P., K. L. Porter, L. M. Coolen, R. B. McCosh, J. M. Connors, S. M. Hileman, M. N. Lehman, and R. L. Goodman. "Surge-Like Luteinising Hormone Secretion Induced by Retrochiasmatic Area NK 3R Activation is Mediated Primarily by Arcuate Kisspeptin Neurones in the Ewe." *Journal of neuroendocrinology* 28, no. 6 (2016).
80. Grings, E.E.; Roberts, A.J.; Geary, T.W.; MacNeil, M.D. Milk Yield of Primiparous Beef Cows from Three Calving Systems and Varied Weaning Ages. *J. Anim. Sci.* 2008, 86, 768–779. [CrossRef]
81. Grooms D.L. Reproductive consequences of infection with bovine viral diarrhea virus. *Vet. Clin. N. Am. Food Anim. Pract.* 2004;20:5–19.
82. H. Allen Tucker, Seasonality in cattle, *Theriogenology*, Volume 17, Issue 1, 1982, Pages 53-59.
83. Hafez, B.; Hafez, E. S. E. *Reprodução Animal*. 7. ed. São Paulo: Manole. 513p. 2004.
84. Hafla, A.D.; Carstens, G.E.; Forbes, T.D.A. et al. Relationships between postweaning residual feed intake in heifers and forage use, body composition, feeding behavior, physical activity, and heart rate of pregnant beef females. *J. Anim. Sci.*, v.91, p.5353-5365, 2013.
85. Hammoud, M. H., S. Z. El-Zarkouny, and E. Z. M. Oudah. "Effect of sire, age at first calving, season and year of calving and parity on reproductive performance of Friesian cows under semiarid conditions in Egypt." *Archiva Zootechnica* 13.1 (2010): 60.
86. Herbison, Allan E. "The gonadotropin-releasing hormone pulse generator." *Endocrinology* 159, no. 11 (2018): 3723-3736.

87. Hetzel, D.J.S. (1988) Comparative productivity of the Brahman and some indigenous Sanga and Bos indicus breeds of East and Southern Africa. *Animal Breeding Abstracts.*, 56(4):243.
88. Hindman, M.S.; Huedepohl, B.; Dewell, G.A.; Brick, T.A.; Silva, G.S.; Engelken, T.J. Physical Traits and Reproductive Measurements Associated with Early Conception in Beef Replacement Heifers. *Animals* **2022**, *12*, 1910.
89. Iremonger, K.J.; Constantin, S.; Liu, X.; Herbison, A.E. Glutamate regulation of GnRH neuron excitability. *Brain Res.* **2010**, *1364*, 35–43.
90. J. Roberts, A. Gomes da Silva, A. F. Summers, T. W. Geary, R. N. Funston, Developmental and reproductive characteristics of beef heifers classified by pubertal status at time of first breeding, *Journal of Animal Science*, Volume 95, Issue 12, December 2017, Pages 5629–5636.
91. Jiménez JM, Morales RM, Menéndez-Buxadera A, Demyda-Peyrás S, Laseca N, Molina A. Estimation of the Genetic Components of (Co)variance and Preliminary Genome-Wide Association Study for Reproductive Efficiency in Retinta Beef Cattle. *Animals (Basel)*. 2023 Jan 31;13(3):501.
92. Joaquim LA, Changule AP, da Glória Taela M, Novela M, Pinto SC, Bila CG. The generation interval and season of birth do not affect age at first calving, birth weight and calving interval of Mozambican Angoni cattle. *Trop Anim Health Prod.* 2024 May 27;56(5):177.
93. Johnston D.J., Barwick S.A., Fordyce G., Holroyd R.G., Williams P.J., Corbet N.J., Grant T. Genetics of early and lifetime annual reproductive performance in cows of two tropical beef genotypes in northern Australia. *Anim. Prod. Sci.* 2014;54:1.
94. Kane, K.K.; Hawkins, D.E.; Pulsipher, G.D.; Denniston, D.J.; Krehbiel, C.R.; Thomas, M.G.; Petersen, M.K.; Hallford, D.M.; Remmenga, M.D.; Roberts, A.J.; et al. Effect of increasing levels of undegradable intake protein on metabolic and endocrine factors in estrous cycling beef heifers. *J. Anim. Sci.* **2004**, *82*, 283–291.
95. Kasimanickam, R.K.; Kasimanickam, V.R.; McCann, M.L. Difference in Body Weight at Breeding Affects Reproductive Performance in Replacement Beef Heifers and Carries Consequences to Next Generation Heifers. *Animals* **2021**, *11*, 2800.
96. Kinder, J. E., Day, M. L., & Kittok, R. J. (1987). Endocrine regulation of puberty in cows and ewes. *J Reprod Fertil Suppl*, *34*, 167-186.
97. Kirilov, M., Clarkson, J., Liu, X., Roa, J., Campos, P., Porteous, R. & Herbison, A. E. (2013). Dependence of fertility on kisspeptin–Gpr54 signaling at the GnRH neuron. *Nature communications*, *4*(1), 2492.
98. Krsmanovic, L.Z.; Hu, L.; Leung, P.-K.; Feng, H.; Catt, K.J. The hypothalamic GnRH pulse generator: Multiple regulatory mechanisms. *Trends Endocrinol. Metab.* **2009**, *20*, 402–408.
99. Kuthu, Z. H., & Hussain, A. (2020). Effects of some environmental sources of variation on birth weight in Nili-Ravi buffalo calves. *Buffalo Bulletin*, *39*(1), 47–52.
100. Lamb, G. C., Mercadante, V. R. G., Henry, D. D., Fontes, P. L. P., Dahlen, C. R., Larson, J. E., & Dilorenzo, N. (2016). Invited Review: Advantages of current and future reproductive technologies for beef cattle production. In *The Professional Animal Scientist* (Vol. 32, Issue 2, pp. 162–171). Elsevier Masson SAS.
101. Lamb, G. Cliff. "Criteria for selecting replacements at weaning, before breeding, and after breeding." *Veterinary Clinics: Food Animal Practice* *29*, no. 3 (2013): 567-578.
102. Larson, Robert L., and Brad J. White. "Reproductive systems for North American beef cattle herds." *Veterinary Clinics: Food Animal Practice* *32*, no. 2 (2016): 249-266.

103. Lehman, Michael N., Christina M. Merkley, Lique M. Coolen, and Robert L. Goodman. "Anatomy of the kisspeptin neural network in mammals." *Brain research* 1364 (2010): 90-102.
104. Lehman, Michael N., Lique M. Coolen, and Robert L. Goodman. "Minireview: kisspeptin/neurokinin B/dynorphin (KNDy) cells of the arcuate nucleus: a central node in the control of gonadotropin-releasing hormone secretion." *Endocrinology* 151, no. 8 (2010): 3479-3489.
105. López-Paredes J, Angeles Pérez-Cabal M, Jiménez-Montero J A, and Alenda R. . 2018. Influence of age at first calving in a continuous calving season on productive, functional, and economic performance in a Blonde d'Aquitaine beef population. *J. Anim. Sci.* 96:4015–4027.
106. Maciel, Sónia Maria Ataíde et al., 2016. Factors influencing the reproduction and production performance of the Nguni cattle ecotypes in South Africa. *Tropical Animal Health and Production*. 1 January 2016. Vol. 48, no. 1, p. 75–85.
107. Martínez JF, Galina CS, Ortiz P, Maquivar MG, Romero-Zúñiga JJ. Effects of Season on Donor and Recipient Cows and Calf Performance from Birth to Weaning in Embryo Transfer Programs in the Tropics. *Animals (Basel)*. 2021 Dec 19;11(12):3596. doi: 10.3390/ani11123596. PMID: 34944371; PMCID: PMC8698055.
108. Mayer, Christian, Maricedes Acosta-Martinez, Sharon L. Dubois, Andrew Wolfe, Sally Radovick, Ulrich Boehm, and Jon E. Levine. "Timing and completion of puberty in female mice depend on estrogen receptor α -signaling in kisspeptin neurons." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107, no. 52 (2010): 22693-22698.
109. Mee J.F., Geraghty T., O'Neill R., More S.J. Bioexclusion of diseases from dairy and beef farms: Risks of introducing infectious agents and risk reduction strategies. *Vet. J.* 2012;194:143–150.
110. Meyer K. Estimates of genetic parameters for mature weight of Australian beef cows and its relationship to early growth and skeletal measures. *Livest Prod Sci.* 1995;44:125–37.
111. Michi A.N., Favetto P.H., Kastelic J., Cobo E.R. A review of sexually transmitted bovine trichomoniasis and campylobacteriosis affecting cattle reproductive health. *Theriogenology*. 2016;85:781–791.
112. Montiel, F.; Ahuja, C. Body condition and suckling as factors influencing the duration of postpartum anestrus in cattle: a review. *Animal Reproduction Science*, v. 85, p. 1-26, 2005. doi: 10.1016/j.anireprosci.2003.11.001.
113. Moorey SE, Biase FH. Beef heifer fertility: importance of management practices and technological advancements. *J Anim Sci Biotechnol*. 2020 Oct 1;11:97.
114. Mourão, R.I.T. 2020. Efeitos genéticos e ambientais no intervalo entre partos (IEP) de vacas primíparas de raça alentejana. Dissertação de Mestrado. Universidade de Évora - Escola de Ciências e Tecnologia, Évora, Portugal. 2022. 16 p.
115. Mukasa-Mugerwa, E., Tegegne, A., Mesfin, T. and Teklu, Y., 1991a. Reproductive efficiency of *Bos indicus* (Zebu) cows under artificial insemination management in Ethiopia. *Animal Reproduction Science* 24(63):7
116. Mwai O., Hanotte O., Kwon Y. J And Cho S. 2015. African indigenous cattle: unique genetic resources in a rapidly changing world *Asian-Australasian J. Anim. Sci.* 28: 911–21.
117. Nafziger SR, Tenley SC, Summers AF, Abedal-Majed MA, Hart M, Bergman JW, Kurz SG, Davis JS, Wood JR, Cupp AS. Attainment and maintenance of pubertal cyclicity may predict reproductive longevity in beef heifers†. *Biol Reprod*. 2021 Jun 4;104(6):1360-1372.

118. Nandolo, W., Gondwe, T.N. and Banda, M. (2016) Phenotypic and genetic parameters of calf growth traits for Malawi Zebu. *Livestock Research for Rural Development.*, 28(2): 11.
119. Navarro, V. M., R. Fernandez-Fernandez, J. M. Castellano, J. Roa, A. Mayen, M. L. Barreiro, F. Gaytan et al. "Advanced vaginal opening and precocious activation of the reproductive axis by KiSS-1 peptide, the endogenous ligand of GPR54." *The Journal of physiology* 561, no. 2 (2004): 379-386.
120. Nelsen, T.C.; Long, C.R.; Cartwright, T.C. Postinflection Growth in straightbred and Crossbred Cattle, II, Relationships among Weight, Height and Pubertal Characters. *J. Anim. Sci.* **1982**, 55, 293–304.
121. Nepomuceno, D.D., Pires, A.V., Ferraz Junior, M.V.C., Biehl, M.V., Gonçalves, J.R.S., Moreira, E.M., and Day, M.L., 2017. Effect of pre-partum dam supplementation, creep-feeding and post-weaning feedlot on age at puberty in Nellore heifers. *Livestock Science* 195, 58–62.
122. Newcomer B.W., Cofield L.G., Walz P.H., Givens M.D. Prevention of abortion in cattle following vaccination against bovine herpesvirus 1: A meta-analysis. *Prev. Vet. Med.* 2017;138:1–8.
123. Ng'Ang, S.K., Ritho, C., Herrero, M., Fraval, S., 2018. Household-oriented benefits largely outweigh commercial benefits derived from cattle in Mabalane District, Mozambique. *Rangel. J.* 40, 565–576.
124. Nogueira, G. P. "Puberty in South American *Bos indicus* (zebu) cattle." *Animal reproduction science* 82 (2004): 361-372.
125. Núñez-Domínguez, R., Cundiff, L. V., Dickerson, G. E., Gregory, K. E., & Koch, R. M. (1991). Lifetime production of beef heifers calving first at two vs three years of age. *Journal of Animal Science*, 69(9), 3467–3479.
126. Oguejiofor C.F., Thomas C., Cheng Z., Wathes D.C. Mechanisms linking bovine viral diarrhoea virus (BVDV) infection with infertility in cattle. *Anim. Health. Res. Rev.* 2019;20:72–85.
127. Oliveira, R. L., Barbosa, M. A. A. F., Ladeira, M. M., Ziviani, A. C., & Bagaldo, A. R. (2006). Nutrição e manejo de bovinos de corte na fase de cria. *Rev. Bras. Saúde Prod. Anim*, 57– 86.
128. Oyedipe, E.O., Pathiraja, N., Voh, Jr. A.A., and Buvanendran, V., 1988. Use of plasma progesterone profiles for the assessment of reproductive functions in indigenous Nigerian Zebu cattle. *Theriogenology* 30(3):629.
129. Oyedipe, E.O.; Osori, D.I.; Akerejola, O.; Saror, D. Effect of level of nutrition on onset of puberty and conception rates of Zebu heifers. *Theriogenology* **1982**, 18, 525–539.
130. P.J. Pinedo, A. De Vries, Season of conception is associated with future survival, fertility, and milk yield of Holstein cows, *Journal of Dairy Science*, Volume 100, Issue 8, 2017, Pages 6631-6639.
131. P.R. DuBois, D.J. Williams, Increased incidence of retained placenta associated with heat stress in dairy cows, *Theriogenology*, Volume 13, Issue 2, 1980, Pages 115-121,
132. Palmeiro, A. J. M. (2013). Otimização da eficiência reprodutiva numa vacada no Alentejo : estudo de caso.
133. Parikh, S.S., Savaliya, B.D., Patbandha, T.K., & Makwana, R.B. (2022). Calf, Dam and Sire Factors Affect Birth Weight of Gir Calves. *Ind J Vet Sci and Biotech.* 18(2), 49-53.
134. Patterson, D. J., R. C. Perry, G. H. Kiracofe, R. A. Bellows, R. B. Staigmiller, and L. R. Corah. 1992. Management considerations in heifer development and puberty

135. Patterson, D.J.; Perry, R.C.; Kiracofe, G.H.; Bellows, R.A.; Staigmiller, R.B.; Corah, L.R. Management considerations in heifer development and puberty. *J. Anim. Sci.* **1992**, *70*, 4018–4035.
136. Pawson, A.J.; McNeilly, A.S. The pituitary effects of GnRH. *Anim. Reprod. Sci.* **2005**, *88*, 75–94.
137. PEDSA – Plano Estratégico para o Desenvolvimento do Sector Agrário. (2011). PEDSA 2011- 2020. República de Moçambique. Ministério da Agricultura.
138. Perry, G. A. (2016). Factors affecting puberty in replacement beef heifers. *Theriogenology*, *86*(1), 373–378.
139. Perry, R. C., L. R. Corah, R. C. Cochran, J. R. Brethour, K. C. Olson, and J. J. Higgins. 1991. Effects of hay quality, breed, and ovarian development on onset of puberty and reproductive performance in beef heifers. *J. Prod. Agric.* *4*:13–18. doi:10.2134/jpa1991.0013
140. R.D. Evans, M. Wallace, D.J. Garrick, P. Dillon, D.P. Berry, V. Olori. Effects of calving age, breed fraction and month of calving on calving interval and survival across parities in Irish spring-calving dairy cows. *Livestock Science*, Volume 100, Issues 2–3, 2006, Pages 216-230.
141. Redmond, J. S., G. G. Macedo, I. C. Velez, Alain Caraty, G. L. Williams, and M. Amstalden. "Kisspeptin activates the hypothalamic-adenohypophyseal-gonadal axis in prepubertal ewe lambs." *Reproduction* *141*, no. 4 (2011): 541.
142. Reis, M. I. P. P. C. (2010). Avaliação De Índices Reprodutivos Em Vacadas De Carne Em Extensivo No Alentejo.
143. Rezende, E. V., Reis, I. J., Campos, C. C., & Santos, R. M.. (2020). Influence of gestation length, seasonality, and calf sex on birth weight and placental retention in crossbred dairy cows. *Ciência Animal Brasileira*, *21*, e-52881.
144. Rioja-Lang F.C., Connor M., Bacon H.J., Lawrence A.B., Dwyer C.M. Prioritization of Farm Animal Welfare Issues Using Expert Consensus. *Front. Vet. Sci.* **2020**;6:495.
145. Risques, P.; Cozer, L. F.; Silva, J. C.; Toma, C. D. M.; Muraro, L. S.; Carvalho, A. M.; Ferrante, M.; Toma, H. S. Influência da amamentação e anestro pós-parto na eficiência reprodutiva da fêmea bovina. *Pubvet*, v. 14, n. 11, p. 157, 2020
146. Roberts, A.J.; da Silva, A.G.; Summers, A.F.; Geary, T.W.; Funston, R.N. Developmental and reproductive characteristics of beef heifers classified by pubertal status at time of first breeding. *J. Anim. Sci.* **2017**, *95*, 5629–5636.
147. Romão, R., & Bettencourt, E. (2009). Maneio reprodutivo em explorações de bovinos de carne: possibilidades técnicas. 3–5.
148. Sá Filho, O. G.; Vasconcelos, J. L. M. Inseminação artificial em tempo fixo. In: 999 PIREs, A. V. Bovinocultura de corte. 1. ed. Piracicaba: FEALQ, p. 529-546. 2010.
149. Segura-Correa, José C.; Magaña-Monforte, Juan G.; Aké-López, Jesús R.; SeguraCorrea, Victor M.; Hinojosa-Cuellar, José A.; Osorio-Arce, Mario M. Breed and environmental effects on birth weight, weaning weight and calving interval of zebu cattle in southeastern Mexico Tropical and Subtropical Agroecosystems, vol. 20, núm. 2, mayo-agosto, 2017, pp. 297- 305
150. Selvan, A.S., Tantia, M.S., Kumaresan, A., Kumar, A., Ravi Kumar, D., Karuthadurai, T., & Upadhyay, A. (2018). Phenotypic and genetic parameters estimation for birth weight in Zebu and crossbred calves born under organized farm conditions in India. *International Journal of Livestock Research*, *8*, 48-58
151. Setâ, V. J., Álvaro, F. H., Chipiringo, B. D. A. I., & Magaço, F. D. S. (2022). Angone Bovine Growth Pattern Assessed by Nonlinear Models. *Journal of Livestock Science and Production*, *6*(1), 401-415

152. Shaffer, K.S.; Turk, P.; Wagner, W.R. et al. Residual feed intake, body composition, and fertility in yearling beef heifers. *J. Anim. Sci.*, v.89, p.1028-1034, 2011.
153. Shin S, Lee J, Do C. Genetic relationship of age at first calving with conformation traits and calving interval in Hanwoo cows. *J Anim Sci Technol.* 2021 Jul;63(4):740-750.
154. Short, R. E., and R. A. Bellows. 1971. Relationship among weight gains, age at puberty and reproductive performance in heifers. *J. Anim. Sci.* 32:127–131. doi:10.2527/jas1971.321127x
155. Short, R.E.; Bellows, R.A. Relationships among weight gains, age at puberty and reproductive performance in heifers. *J. Anim. Sci.* **1971**, 32, 127–131.
156. Šlyžienė, B.; Mečionytė, I.; Žilaitis, V.; Butkienė, E.; Anskienė, L.; Šlyžius, E.; Palubinskas, G. The Association between Charolais Cows' Age at First Calving, Parity, Breeding Seasonality, and Calf Growing Performance. *Animals* **2023**, 13, 2901. <https://doi.org/10.3390/ani13182901>
157. Stádník, L.; Benešová, L.; Matějů, R.; Louda, F.; Bolečková, F. Effect of Charolais Dams' Mating Method and Parity on Growth Ability of Their Progeny. *Sci. Agric. Bohem.* **2008**, 39, 304–309.
158. Subtil, J. (2019). Avaliação dos parâmetros reprodutivos de uma vacada de raça alentejana em regime extensivo no Alentejo. Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias.
159. Summers, A. F., Rosasco, S. L., & Scholljegerdes, E. J. (2018). Management decisions impacting reproduction and longevity in the southwest. Proceedings, Applied Reproductive Strategies in Beef Cattle, 1–6.
160. Swenson, M. J.; Reece, W. O. Dukes - Fisiologia dos animais domésticos. 11° ed. 1051 Guanabara Koogan, Rio de Janeiro: 902p. 1996.
161. Tahir, M.S.; Porto-Neto, L.R.; Gondro, C.; Shittu, O.B.; Wockner, K.; Tan, A.W.L.; Smith, H.R.; Gouveia, G.C.; Kour, J.; Fortes, M.R.S. Meta-Analysis of Heifer Traits Identified Reproductive Pathways in *Bos indicus* Cattle. *Genes* **2021**, 12, 768.
162. Tanaka, T., Ozawa, T., Hoshino, K., & Mori, Y. (1995). Changes in the gonadotropin-releasing hormone pulse generator activity during the estrous cycle in the goat. *Neuroendocrinology*, 62(6), 553-561.
163. Tauck, S. A., Olsen, J. R., Wilkinson, J. R. C., & Berardinelli, J. G. (2010). Duration of daily bull exposure on resumption of ovulatory activity in postpartum , primiparous , suckled , beef cows. 118, 13–18.
164. Tedeschi, L.O.; Muir, J.P.; Riley, D.G.; Fox, D.G. The role of ruminant animals in sustainable livestock intensification programs. *Int. J. Sustain. Dev. World Ecol.* 2015, 22, 452–465.
165. Terakado, A.P.N.; Pereira, M.C.; Yokoo, M.J.; Albuquerque, L.G. Evaluation of productivity of sexually precocious Nelore heifers. *Animal* 2014, 9, 938–943.
166. Thevarnanoharan, K., W. Vandepitte, G. Mohiuddin and C. Chantalakhana. 2001. Environmental factors affecting various growth traits of swamp buffalo calves. *Pak. J. Agr. Sci.*, 38(3-4): 5-10.
167. Thiruvenkadan, A.K., S. Panneerselvam and R. Rajendran. 2009. Non-genetic factors influencing growth performance in Murrah buffalos. *S. Afr. J. Anim. Sci.*, 39(1): 102-106.
168. Tomo, P. (1997) Characterisation of Angoni cattle in Mozambique. M.Sc. thesis, The University of The Orange Free State, Bloemfontein, RSA.
169. Torres Junior JRS, Melo WO, Elias AKS, Rodrigues LS, Penteado L, Baruselli PS. Considerações técnicas e econômicas sobre reprodução assistida em gado de corte. *Rev Bras Reprod Anim.* 2009;33(1):53-8

170. Tuska, Habib Syaiful Arif et al., 2022. The effect of season of birth on the morphometrics of newborn Belgian Blue calves. *Tropical Animal Health and Production*. 25 January 2022. vol. 54, no. 1, p. 76.
171. Utter, S.D.; Houghton, P.L.; Corah, L.R.; Simms, D.D.; Spire, M.F.; Butine, M.D. Factors Influencing First-Service Conception and Overall Pregnancy Rates in Commercial Beef Heifers; Kansas State University Research Report; Kansas State University: Manhattan, KS, USA, 1994; pp. 107–110.
172. V.E. Olori, T.H.E. Meuwissen, R.F. Veerkamp, Calving Interval and Survival Breeding Values as Measure of Cow Fertility in a Pasture-Based Production System with Seasonal Calving, *Journal of Dairy Science*, Volume 85, Issue 3, 2002, Pages 689-696,
173. Van Arendonk, J. A. M., R. Hovenier, and W. de Boer. 1989. Phenotypic and genetic association between fertility and production in dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 21:1–12.
174. Veerkamp, R. F., P. Dillon, E. Kelly, A. R. Cromie, and A. F. Groen. 2001. Dairy cattle breeding objectives combining yield, survival and calving interval for pasture-based systems in Ireland. *Livest. Prod. Sci.* (in press).
175. Vieira-Neto, K.N. Galvão, W.W. Thatcher, J.E.P. Santos, Association among gestation length and health, production, and reproduction in Holstein cows and implications for their offspring, *Journal of Dairy Science*, Volume 100, Issue 4, 2017, Pages 3166-3181.
176. Vinatea, V., & Madrigal, T. (2010). Gestión técnico - económica de explotaciones bovinas extensivas : un nuevo reto para el veterinario.
177. Wakchaure, R.S., & Meena, R. (2010). Factors affecting birth weight, age, and weight at first calving in Sahiwal cattle. *Indian Journal of Animal Research*, 44(3), 173 -177.
178. Walker, B. (2005). Diseases causing reproductive losses in breeding cattle.
179. Warburton CL, Engle BN, Ross EM, Costilla R, Moore SS, Corbet NJ, Allen JM, Laing AR, Fordyce G, Lyons RE, McGowan MR, Burns BM, Hayes BJ. Use of whole-genome sequence data and novel genomic selection strategies to improve selection for age at puberty in tropically-adapted beef heifers. *Genet Sel Evol.* 2020 May 27;52(1):28. doi: 10.1186/s12711-020-00547-5. PMID: 32460805; PMCID: PMC7251835.
180. Washaya S, Tavirimirwa B, Dube S, Sisito G, Tambo G, Ncube S, Zhakata X. Reproductive efficiency in naturally serviced and artificially inseminated beef cows. *Trop Anim Health Prod.* 2019 Sep;51(7):1963-1968. doi: 10.1007/s11250-019-01889-z. Epub 2019 May 7. PMID: 31065932.
181. White FJ, Wettemann RP, Looper ML, Prado TM, Morgan GL. Seasonal effects on estrous behavior and time of ovulation in nonlactating beef cows. *J Anim Sci.* 2002 Dec;80(12):3053-9. doi: 10.2527/2002.80123053x. PMID: 12542143.
182. Wichman LG, Redifer CA, Rathert-Williams AR, Duncan NB, Payne CA, Meyer AM. Effects of spring- versus fall-calving on perinatal nutrient availability and neonatal vigor in beef cattle. *Transl Anim Sci.* 2022 Oct 1;6(4):txac136. doi: 10.1093/tas/txac136. PMID: 36381953; PMCID: PMC9661251.
183. Wiltbank, J.N.; Kasson, C.W.; Ingalls, J.E. Puberty in crossbred and straightbred beef heifers on two levels of feed. *J. Anim. Sci.* **1969**, 29, 602–605.
184. Yadav, B.S., M.C. Yadav, A. Singh and F.H. Khan. 2001. Murrah bufaloes-I. birth weight. *Buffalo Bull.*, 20(2): 29-31.
185. Zhang YD, Johnston DJ, Bolormaa S, Hawken RJ, Tier B. Genomic selection for female reproduction in Australian tropically adapted beef cattle. *Anim Prod Sci.* 2013;**54**:16–24.
186. Zhang, Y.D.; Johnston, D.J.; Bolormaa, S.; Hawken, R.J.; Tier, B. Genomic selection for female reproduction in Australian tropically adapted beef cattle. *Anim. Prod. Sci.* 2014, *54*, 16–24.