

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

**Vinícius de Anhaia Camargo**

**AVALIAÇÃO ECONÔMICA DA IDADE DE DESMAME EM SISTEMAS DE CRIA  
DE BOVINOS DE CORTE**

**Porto Alegre (RS), Brasil**

**2021**

**Vinícius de Anhaia Camargo**

**AVALIAÇÃO ECONÔMICA DA IDADE DE DESMAME EM SISTEMAS DE CRIA  
DE BOVINOS DE CORTE**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Zootecnia pelo Programa de Pós-graduação em Zootecnia da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

**Orientador:** Júlio Otávio Jardim Barcellos

Porto Alegre (RS), Brasil

2021

### CIP - Catalogação na Publicação

Camargo, Vinicius de Anhaia  
Avaliação econômica da idade de desmame em sistemas  
de cria de bovinos de corte / Vinicius de Anhaia  
Camargo. -- 2021.  
91 f.  
Orientador: Júlio Otávio Jardim Barcellos.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do  
Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de  
Pós-Graduação em Zootecnia, Porto Alegre, BR-RS, 2021.

1. Bovinos de corte. 2. Sistemas de cria. 3.  
Desmame. 4. Avaliação econômica. 5. Modelos de  
simulação. I. Jardim Barcellos, Júlio Otávio, orient.  
II. Título.

Vinicius de Anhaia Camargo  
Médico Veterinário

## DISSERTAÇÃO

Submetida como parte dos requisitos  
para obtenção do Grau de

### **MESTRE EM ZOOTECNIA**

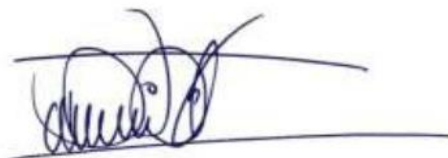
Programa de Pós-Graduação em Zootecnia  
Faculdade de Agronomia  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovada em: 17.03.2021  
Pela Banca Examinadora

Homologado em: 05/05/2021  
Por




JÚLIO OTÁVIO JARDIM BARCELLOS  
PPG Zootecnia/UFRGS  
Orientador



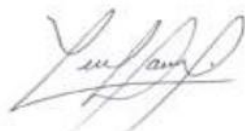
DANILO PEDRO STREIT JR.  
Coordenador do Programa de  
Pós-Graduação em Zootecnia



Augusto Hauber Gameiro  
Universidade de São Paulo



Celso Koetz Junior  
Vytelle Advance



Vinicius do Nascimento Lampert  
Embrapa Pecuária Sul



CARLOS ALBERTO BISSANI  
Diretor da Faculdade de Agronomia

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço inicialmente à toda minha família, principalmente aos meus pais que pelo exemplo de luta e resiliência nos empurram sempre pra frente, a buscar mais e mais. Em especial ao meu pai que me ensinou a importância da busca pelo conhecimento, mais ainda na profissão que ambos escolhemos.

À minha companheira de jornada Angélica, sou grato por toda compreensão, apoio e motivação. Em tempos difíceis aprendemos a valorizar ainda mais o que realmente importa, e uma das tantas coisas que esse ano de pandemia me ensinou foi valorizar as boas parcerias. Por isso, meu muito obrigado por tudo minha parceira! Estendo esse agradecimento à família Petersen Dias, que me acolheu como mais um filho e também foi muito importante nessa etapa.

Ao Professor Júlio Barcellos pelas oportunidades de crescimento pessoal, profissional e intelectual. Por nos apontar o caminho e podermos trilhá-lo com a segurança de estarmos bem amparados. Por acreditar e tirar de cada um de nós o algo a mais. Professor, Muito Obrigado!

Ao NESPro, como instituição, e aos seus integrantes que foram muito importantes em diversos momentos dessa etapa. Além de exemplos de profissionais e colegas levo comigo amigos. Vida longa ao NESPro!

Ao Professor Danilo Streit que, pela amizade e confiança, me abriu inúmeras portas que me proporcionaram tanto. Qualquer obrigado é raso para demonstrar minha gratidão.

A Universidade Federal do Rio Grande do Sul e ao Programa de Pós-graduação em Zootecnia, pelo ensino gratuito e de qualidade, pela infraestrutura e a gama de possibilidade que só instituições de ponta proporcionam. Também à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado além dos recursos para a manutenção da qualidade do Programa.

Por fim, agradeço a todas as pessoas que de alguma forma me ajudaram a completar esta etapa, e à força maior, qualquer que seja, que as colocou aonde deviam estar. Acredito que cada um que cruza nosso caminho deixa sua contribuição, mesmo que imperceptível à miopia do momento. Pela impossibilidade de citar individualmente, formalizo aqui meus agradecimentos a todos.

*“En el taller como en la cabaña, en la fábrica como en la estancia, se manifiesta la inteligencia del hombre, la cultura, la moral del trabajo, la aspiración del progreso industrial, que es en sí mismo el progreso social.”*

José Hernández

# **Avaliação econômica da idade de desmame em sistemas de cria de bovinos de corte<sup>1</sup>**

Autor: Vinícius de Anhaia Camargo

Orientador: Prof. Dr. Júlio Otávio Jardim Barcellos

## **Resumo**

As tecnologias de redução da idade ao desmame do bezerro são comumente utilizadas para aumentar a taxa de prenhez de vacas de corte em condições de restrição alimentar. No entanto, os estudos dos impactos sistêmicos de sua utilização são escassos, além disso, as avaliações econômicas de desmames realizados aos 30 dias de idade do bezerro são praticamente inexistentes. Por isto, este estudo realizou uma avaliação econômica e produtiva de diferentes cenários de aplicação de desmames realizados aos 30 (W30), 75 (W75) e 180 (W180) dias de idade, por meio de um modelo determinístico dinâmico, utilizando dados experimentais e de artigos científicos. A partir de um cenário base (BS), em que se utilizou W180 em todas as vacas, foram simulados cenários com a aplicação única (SUA; apenas um ano) ou com a aplicação sucessiva (SSA; 8 anos) das tecnologias de desmame. Nos SUA foram aplicados, apenas no ano 1 (Y1), o W30 e W75 em todas as vacas do rebanho (HA1 e EA1, respectivamente) ou somente nas primíparas (HP1 e EP1, respectivamente). Já nos SSA, foram aplicados de forma sistemática, por 8 anos, W30 e W75 em todas as vacas (HA8 e EA8, respectivamente) ou apenas nas primíparas (HP8 e EP8, respectivamente). Além disso, nos SSA, novilhas foram retidas no ano anterior à aplicação das tecnologias para igualar a lotação do BS. Cenários com taxa de prenhez (SLP) inferiores (< 75%) ao BS foram simulados para determinar qual a redução na taxa prenhez necessária para que cada SUA tivesse a aplicação justificada. Nos SUA, os menores valores de margem bruta por hectare (GM/ha) foram observados no Y1, em função dos custos com desmame, e os maiores no ano 2 (Y2), devido a maior quantidade de bezerros desmamados. No Y1, a maior GM/ha foi observada em EP1 e a menor em HA1. Nos SSA, a GM/ha variou ao longo tempo, sendo afetada principalmente pela variação das receitas, geradas pelo aumento de fêmeas acasaladas, e dos custos de recria e desmame. A maior GM/ha foi observada em EP8 no ano 4, e a menor em HA8 no Y1. Todos os SSA estabilizaram seus resultados econômicos e produtivos no ano 7. À exceção de HA1 e HA8, todos os cenários geraram GM/ha positiva, porém inferior ao BS, apesar da maior produtividade. A partir dos SLP foi possível determinar qual a taxa de prenhez exata em que a aplicação de cada SUA seria justificada. Portanto, a aplicação de W30 apenas nas primíparas e W75 em todas as vacas ou apenas nas primíparas é viável economicamente. Ademais, todos os cenários são capazes de mitigar prejuízos causados por diferentes intensidades de redução na taxa de prenhez, além de serem eficazes em aumentar a produtividade e o rebanho sem alterar a área de produção.

**Palavras chave:** bovinos de corte, custos de produção, desmame hiperprecoce, estrutura de rebanho, intensificação, modelagem

<sup>1</sup>Dissertação de Mestrado em Zootecnia – Produção Animal, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. (91 p.) Março, 2021.

## Economic assessment of weaning age in cow-calf systems<sup>1</sup>

Author: Vinícius de Anhaia Camargo

Advisor: PhD, Júlio Otávio Jardim Barcellos

### Abstract

Technologies of reducing age weaning of calf are commonly used to increase the pregnancy rate of cows under restricted feeding conditions. However, studies on the systemic impacts of its use are scarce, in addition, economic assessments of weaning performed at 30 days of age of calf are practically non-existent. Hence, this study performed an economic and productive assessment of different weaning age scenarios, at 30 (W30), 75, (W75) and 180 (W180) days of calf age. Therefore, a dynamic deterministic model was created, using experimental data and scientific articles. From a base scenario (BS), in which was applied W180 in all cows, were simulated scenarios with unique application (SUA; only one year) or with successive application (SSA; 8 years) of weaning technologies, for 8 years. In the SUA, W30 and W75 was applied in all cows (HA1 and EA1, respectively) or only in primiparous (HP1 and EP1, respectively), in the year 1 (Y1). In the SSA, was applied systematically, for 8 years, W30 or W75 in all cows (HA8 and EA8, respectively) or only in the primiparous (HP8 and EA8, respectively). In addition, in the SSA, heifers were retained in the prior year to the application of technologies to equal the stocking rate of BS. Scenarios with lower (<75%) pregnancy rates (SLP) than BS were simulated to determine which reduction in pregnancy rate required for each SUA to have your application justified. In the SUA, the lowest gross margin per hectare (GM/ha) were observed in Y1, as a result of high weaning costs, and the highest in the year 2 (Y2), by the greater number of weaned calves. In the Y1, the highest GM/ha was observed in EP1 and the lowest in HA1. In the SSA, the GM/ha varied over time, being affected mainly by the variation of revenue, generated by the increased in breeding cows, and the costs of weaning and feed growing heifers. The highest GM/ha was observed in EP8 in the year 4, and the lowest in HA8, in the Y1. All SSA stabilized their economic and productive results in the year 7. All scenarios, except HA1 and HA8, generated positive GM/ha, but lower than BS despite of the highest productivity. As from the SLP it was possible to determine what exact pregnancy rate each SUA application would be justified. Therefore, the application of W30 only in primiparous, and W75 in all cows and only in primiparous is economically viable. Furthermore, all scenarios are able to mitigate economic losses caused by different intensities of pregnancy rate reduction. Moreover, they are effective to increase the productivity and the herd without change the productive area.

**Keywords:** beef cattle, production costs, hyper-early weaning, herd structure, intensification, modeling

<sup>1</sup>Master of Science dissertation in Animal Science, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. (91 p.), March, 2021.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Fig. 1:** Simplified flowchart of the conceptual model of the cow-calf system for the application of different weaning age scenarios.....43
- Fig. 2:** Managements applied in hyper-early weaning (W30), early weaning (W75), and conventional weaning (W180). .....46
- Fig. 3:** Herd structure of base scenario (BS) by animal category (%) at beginning of calving season (a) and weaning (b).....47
- Fig. 4:** Gross margin per hectare (a), productivity in kilograms of live weight per hectare (b), financial break-even (c) and physical break-even (d) of base scenario (BS) and scenarios of unique application of hyper-early weaning in all cows (HA1), early in all cows (EA1), hyper-early in primiparous (HP1) and early in primiparous (EP1) until the year of stabilization of the indicators. ....55
- Fig. 5:** Gross margin per hectare (a), productivity in kilograms of live weight per hectare (b), financial break-even (c) and physical break-even (d) of base scenario (BS) and scenarios of successive application of hyper-early weaning in all cows (HA8), early in all cows (EA8), hyper-early in primiparous (HP8) and early in primiparous (EP8) until the year of stabilization of the indicators. ....60
- Fig. 6:** Gross margin per hectare (GM/ha) accumulated (year Y1 and Y2) as a function of pregnancy rate, in conventional weaning, and the scenario of unique application that presented the corresponding gross margin per hectare (HA1 = hyper-early weaning in all cows in year 1; EA1 = early weaning in all cows in year 1; HP1 = hyper-early weaning in primiparous in year 1; EP1 = early weaning in primiparous in year 1).....62

## LISTA DE TABELAS

<b>Table 1.</b> Description of the scenarios submitted to different weaning ages. ....	44
<b>Table 2.</b> Input of productive sub-model for application of hyper-early weaning (W30), early weaning (W75), and conventional weaning (W180). ....	48
<b>Table 3.</b> Inputs of weaning costs for the economic sub-model for application of hyper-early weaning (W30), early weaning (W75), and conventional weaning (W180).....	50
<b>Table 4.</b> Inputs of herd costs and revenue for the economic sub-model.....	52
<b>Table 5.</b> Annual production costs (US\$) per calf weaned in the base scenario (BS) and scenarios of unique application of hyper-early weaning in all cows (HA1), early in all cows (EA1), hyper-early in primiparous (HP1), and early in primiparous (EP1) until the year of cost stabilization. ....	56
<b>Table 6.</b> Productivity, productivity composition by animal category, total revenue and revenue composition by animal category in the base scenario (BS) and scenarios of unique application of hyper-early weaning in all cows (HA1), early in all cows (EA1), hyper-early in primiparous (HP1) and early in primiparous (EP1) until the year of stabilization.....	58
<b>Table 7.</b> Pregnancy rate (%) of the herd of all scenarios, during eight years of simulation. ....	63

## LISTA DE ABREVIATURAS e siglas

ADG – Average daily gain  
BCS – Body condition score  
BE\$ – Financial break-even  
BEkg – Physical break-even  
BS – Base scenario  
C – Total production costs  
C/h/a – Cost per hour per animal  
Cp – Pasture implantation costs  
Ct – Total costs of payment and charges  
E – Exhaustion of pasture per day  
EA – Early weaning applied in all cows  
EP – Early weaning applied in primiparous  
Ex – Extraction of pasture  
g – Grams  
GM/ha – Gross margin per hectare  
gr – Number of predicted grazing per year  
h – Hours  
HA – Hyper-early weaning applied in all cows  
HP – Hyper-early weaning applied in primiparous  
IGP-DI – Índice geral de preços disponibilidade interna  
kg – Kilograms  
kg LW/ha – Kilograms of live weight per hectare  
N – Number of mated cows  
n – Number of calves  
NDF – Neutral detergent fiber  
s – Scenario  
SUA – Scenarios of unique application  
SSA – Scenarios of successive application  
SLP – Scenarios with a lower pregnancy rate  
t – Time  
UA/ha – Animal unit per hectare  
W – Type of weaning

W30 – Hyper-early weaning

W75 – Early weaning

W180 – Conventional weaning

Y – Year

## Sumário

CAPÍTULO I .....	14
1.Introdução .....	15
2.Revisão bibliográfica .....	17
2.1 Sistemas de produção de bovinos de corte .....	17
2.1.1 Sistema de cria .....	17
2.2 Desmame de bovinos de corte.....	19
2.2.1 Efeito da idade ao desmame sobre a vaca .....	20
2.2.2 Efeito da idade ao desmame sobre o desenvolvimento do bezerro.....	22
2.3 Avaliação econômica de sistemas de produção .....	23
2.3.1 Custos de produção de sistemas de cria .....	24
2.3.2 Apropriação de custos .....	26
2.3.3 Indicadores de avaliação econômica .....	27
2.3.4 Resultados econômicos de diferentes idades ao desmame .....	28
2.4 Processo da tomada de decisão em sistemas de produção .....	31
2.5 Modelos de simulação .....	33
2.5.1 Modelagem no estudo de sistemas de produção de bovinos de corte ....	34
3.Hipóteses .....	35
4.Objetivos .....	36
CAPÍTULO II .....	37
Bioeconomic assessment of three ages at weaning in cow-calf systems.....	38
Introduction.....	40
Material and Methods.....	42
<i>Model overview</i> .....	42
<i>Experimental Data</i> .....	45
<i>Productive sub-model</i> .....	46
<i>Economic sub-model</i> .....	49
<i>Weaning costs</i> . .....	49
<i>Herd costs</i> .....	51
<i>Revenue</i> . .....	52
<i>Economic indicators</i> .....	53
Results .....	54
<i>Scenarios of unique application</i> .....	54

<i>Scenarios of successive application</i> .....	59
<i>Scenarios with lower pregnancy rates</i> .....	62
Discussion .....	63
Conclusion.....	69
Conflict of interest.....	70
Acknowledgments .....	70
References .....	70
CAPÍTULO III .....	76
Considerações finais .....	77
Referências .....	79
Apêndice .....	90
Vita.....	91

## **CAPÍTULO I**

## 1. Introdução

A fase de cria na bovinocultura de corte é a base do ciclo produtivo e a etapa mais complexa, que demanda mais habilidades gerenciais quando comparada às outras fases do sistema (Oaigen *et al.*, 2014). Nesta etapa o produto principal são os bezerros desmamados convencionalmente com idade entre 180 e 220 dias (Rasby, 2007), e secundariamente, vacas de descarte.

Quando a oferta de alimento não é capaz de suprir a demanda nutricional da vaca, a produção do bezerro pode ser comprometida, já que em detrimento das atividades reprodutivas, haverá a prioridade do uso de energia nos processos de manutenção, crescimento e lactação (Short & Adams, 1988). A lactação, em particular, é um processo de alta demanda energética, que utiliza entre 18% e 36% da energia líquida total consumida (NRC, 2016). Esse aumento da demanda nutricional, causado pela lactação, é determinante para o insucesso da concepção em condições de restrição alimentar, e é agravado em fêmeas jovens, como as primíparas, em função destas ainda estarem em crescimento (Short *et al.*, 1990).

Uma das estratégias para contornar esse quadro, quando a opção de aumentar o aporte nutricional não é possível operacional ou economicamente, é interromper a lactação, reduzindo a demanda nutricional da vaca por meio da antecipação da idade ao desmame precoce (Houghton *et al.*, 1990). Essas técnicas começaram a ser estudadas, no Brasil, desmamando bezerros aos 90 dias de idade (Cachapuz, 1991; Restle *et al.*, 1999), chegando a estudos mais recentes aos 30 dias de idade, o chamado Desmame Hiperprecoce (Teixeira, 2020).

O objetivo do desmame precoce é beneficiar a vaca sem trazer prejuízos ao desenvolvimento do bezerro (Restle *et al.*, 1999). Para isso, se faz necessária a suplementação alimentar do bezerro desde o momento do desmame até que ele atinja o peso satisfatório para a venda ou recria (Rasby, 2007). Quanto mais precoce esse desmame é realizado maior será o tempo de suplementação necessário, o que pode trazer elevação dos custos com a alimentação (Story *et al.*, 2000), e mais elevada tende a ser a resposta no ganho de peso e na taxa de prenhez das vacas (Myers *et al.*, 1999a).

Esses efeitos, econômicos e produtivos, podem trazer consequências para além do ano em que o desmame foi empregado (Mulliniks *et al.*, 2013), afetando desde os custos de produção nos anos subsequentes (Blanco *et al.*, 2009) até a estrutura de



rebanho (Weder et al., 2004). A manipulação da idade à desmama pode ser utilizada com diferentes propósitos: como a aplicação pontual para corrigir distúrbios na oferta de alimento, reduzindo os prejuízos decorrentes da perda de condição corporal (Arthington & Kalmbacher, 2003), ou com vistas à intensificação, aumentando o número de matrizes do sistema pela redução das exigências de energia ou por confinar os bezerros (Galli et al., 2005).

Por esses motivos, a tomada de decisão de realizar o desmame precoce, e em qual a idade, é um processo complexo que exige objetivos claros quanto a sua utilização (Grings et al., 2005). Além disso, deve passar por uma análise criteriosa que contemple as implicações imediatas e futuras da aplicação da técnica (Lusby *et al.*, 1981), evitando, assim, que o gestor cometa erros de orientação temporal na sua decisão (Aguiar & Frezatti, 2013).

Para isso, se fazem necessárias avaliações que contemplem as diversas interações e interdependências do sistema, o que é possível por meio de modelos de simulação (Pidd, 2010). Modelos dinâmicos permitem estudar a viabilidade de determinadas técnicas aplicadas ao longo do tempo, criando cenários que seriam excessivamente onerosos em ambiente físico-experimental ou operacionalmente inviáveis (Pang *et al.*, 1999). Para isso, são efetivos em organizar novas informações e orientar futuras pesquisas (Hirooka, 2010). Ademais, são ferramentas adequadas para orientar técnicos e produtores no processo da tomada de decisão em sistemas complexos (McCown, 2002).

Portanto, o estudo da avaliação econômica de sistemas de cria com diferentes cenários de idade ao desmame, através de modelos determinísticos dinâmicos, trará informações que irão auxiliar no entendimento das suas repercussões sistêmicas. Além disso, poderá dar subsídio, aos gestores e técnicos, no processo da tomada de decisão. Por isso, o objetivo desse trabalho foi o de realizar uma avaliação econômica de diferentes idades ao desmame em sistemas de cria de bovinos de corte.

## 2. Revisão bibliográfica

### 2.1 Sistemas de produção de bovinos de corte

A produção de bovinos de corte se dá por meio de uma série de processos, cujos componentes apresentam complexa inter-relação de respostas não lineares e, por isso, a abordagem sistêmica se torna a forma mais adequada para estudá-la (Joandet & Cartwright, 1975). Nos sistemas de produção é possível citar como principais componentes intrínsecos, os envolvidos tanto na produção como nos processos financeiros (Turner et al., 2013): o homem, o animal e o ambiente.

Além dos componentes intrínsecos, o sistema também sofre influência de fatores externos que podem afetar diretamente o resultado e, por isso, devem ser estudados como sistemas abertos (Turner et al., 2013). Essas influências podem causar transformações estruturais no sistema, com o objetivo de se adaptar às mudanças, reduzir os prejuízos ou aproveitar oportunidades de maior lucro (Lord et al., 2015). Por exemplo, alterando momentaneamente a composição das vendas de animais, e conseqüentemente a estrutura de rebanho, com o intuito de aproveitar condições de mercado (Lawrence, 2001).

Essas alterações estruturais do sistema, conforme o grau de perturbação na estabilidade, podem afetar a produção de mais de um ciclo produtivo (Viet et al., 2013). Desse modo, nos estudos ou avaliações de sistemas de produção de bovinos de corte, além do entendimento das relações internas e externas (Pang et al., 1999), deve-se levar em conta as repercussões destas interações ao longo tempo (Ash et al., 2015).

#### 2.1.1 Sistema de cria

Sistemas de cria compreendem os processos de produção e desmame de bezerros e a recria de bezerras e novilhas, destinadas a reposição de vacas que saem do sistema anualmente. Trata-se de sistemas complexos e dinâmicos, que exigem do gestor não só o entendimento da sua estrutura (Sessim et al., 2020),

mas também a interação dela com as oportunidades de mercado (Turner et al., 2013).

São sistemas constituídos por diferentes categorias animais, cuja composição geral será influenciada pela eficiência do processo de geração do bezerro (Grings et al., 2005). Fatores como a taxa de natalidade, mortalidade e idade ao primeiro acasalamento tem influência na composição do rebanho, uma vez que, quanto melhores estes indicadores, menos animais improdutivos serão necessários para gerar um produto vendável (Lampert et al., 2020). Taxas de natalidade acima de 70%, por exemplo, reduzem a necessidade de novilhas de reposição pela remoção da categoria de vacas não prenhas acasaladas, aumentando a eficiência da utilização de recursos (Beretta et al., 2001).

Além disso, a política de descarte e de reposição de animais também irá afetar a estrutura do rebanho (Mackay et al., 2004), causando alterações tanto no resultado econômico (Fanning et al., 2002) quanto na eficiência da utilização dos recursos (Sessim et al., 2020). Todavia, determinadas decisões, de descarte ou reposição, são suportadas somente por índices produtivos mínimos (Beretta et al., 2001). Tais condições, proporcionam ao produtor a opção de aproveitar oportunidades ou se adequar a conjuntura de mercado, retendo ou vendendo animais, em função da conjuntura de preços (Anderson et al., 2005; Turner et al., 2013). Essas características fazem com que os sistemas de cria tenham estruturas dinâmicas, com variação na proporção das categorias ao longo do tempo (Ash et al., 2015).

Outra característica comum à maior parte dos sistemas de cria em diferentes regiões do mundo é a base alimentar pastoril, seja por forragens nativas ou cultivadas (Waterman et al., 2012a; Turner et al., 2013; Scaglia et al., 2014; Dick et al., 2015). No Rio Grande do Sul a maior parte dos sistemas de cria baseiam sua produção em pastagens nativas, cada vez mais em zonas de solos pobres e não agricultáveis, normalmente marginais à agricultura (Oliveira et al., 2017). Estas regiões apresentam sazonalidade produtiva, com variação na quantidade e qualidade de nutrientes (Nabinger et al., 2000) e essa flutuação se reflete na produção animal devido a dependência dos recursos forrageiros (Gardine et al., 2019). Além disso, essas limitações nutricionais se agravam em situações de fenômenos climáticos desfavoráveis, especialmente estiagens (Waterman et al., 2012a; López-González et al., 2020).

Em consequência das limitações nutricionais, ocorre o comprometimento da produção de bezerros (Short & Adams, 1988) e efeitos sistêmicos, refletindo diretamente na eficiência e na produtividade por vários ciclos produtivos (Ash et al., 2015). Essa situação, recorrente nos sistemas pastoris, leva a repensar os tradicionais modelos produtivos e buscar alternativas para minimizar esses problemas (Gardine et al., 2019). Em condições em que não é possível fornecer a quantidade ou a qualidade de nutrientes adequada para as matrizes, a redução da demanda nutricional, por interrupção da lactação por exemplo, se torna uma alternativa pertinente (Grigs et al., 2005; Waterman et al., 2012a).

## 2.2 Desmame de bovinos de corte

O desmame é a etapa de separação definitiva do bezerro de sua mãe e tem por objetivos prepará-lo para a etapa de recria e recuperar a condição corporal da vaca para a concepção na próxima estação reprodutiva (Barcellos et al., 2019). Esse processo culmina em uma série de eventos estressantes (O'Loughlin et al., 2014) que podem causar prejuízos no desempenho pós-desmame do bezerro (Weary et al., 2008). Apesar disso, o desmame é fundamental para a manutenção da criação, já que apenas o leite materno não é suficiente para sustentar o crescimento do bezerro a partir do quinto mês de idade (Boggs et al., 1980; Pimentel et al., 2006). Logo, sem o desmame, se tornaria inviável fornecer a alimentação adequada, para o período de recria, exclusivamente para os bezerros.

Usualmente, os bezerros são desmamados entre seis e oito meses de idade, na maioria dos casos em virtude da sazonalidade da produção de forragem (Pate et al., 1985; Vaz & Restle, 2002). No entanto, em função da disponibilidade de alimento, as vacas podem passar por períodos de balanço energético negativo prolongado durante a lactação, logo a sua interrupção precoce se torna uma alternativa para contornar esse problema (Arthington & Kalmbacher, 2003).

Essa interrupção precoce e definitiva da lactação é chamada de desmame precoce, cuja separação da vaca e bezerro ocorre com idade inferior a 180 dias de idade (Rasby, 2007). A partir da década de 70, intensificaram-se os esforços de entendimento dos impactos de desmames em diferentes idades, com estudos

aos 60 dias (Lusby et al., 1981), 55 dias (Laster et al., 1973), 42 dias (Cerdótes et al., 2004) e até 30 dias (Smith Jr. & Vincent, 1972), sendo o limiar de 45 dias a idade mínima recomendada até então (Rasby, 2007).

No entanto, em virtude de secas prolongadas, pesquisadores argentinos intensificaram os esforços em tornar viável tecnicamente o desmame aos 30 dias pós-parto, como alternativa para mitigar os prejuízos (Monje et al., 2004). Este manejo teve suas primeiras tentativas no ano de 1994 com resultados insatisfatórios e somente em 2003 foi viabilizado, através das adequações na dieta dos bezerros (Monje & Vittone, 2005). O trabalho realizado em 2003 foi capaz de gerar resultados satisfatórios que encorajaram as recomendações da técnica e estimularam estudos posteriores (Monje et al., 2004; Galli et al., 2005; Morena, 2008; Maineri, 2015).

### 2.2.1 Efeito da idade ao desmame sobre a vaca

Os nutrientes consumidos pela vaca em lactação são assimilados e particionados, cumprindo certa hierarquia fisiológica (Short & Adams, 1988). Dessa forma, as reservas corporais vão sendo mobilizadas e reabastecidas em processos de curto prazo (Baumgard et al., 2017). Quando as reservas corporais são mobilizadas de maneira contínua, há o aumento de ácidos graxos não esterificados no plasma sanguíneo que atuam como um dos indicadores de estado de balanço energético negativo (Yelich et al., 1995). Esse processo desencadeia a supressão da liberação do hormônio luteinizante o que leva à formação de folículos anovulatórios, baixo crescimento folicular e, em última análise, à condição de anestro (Bossis et al., 1999).

Quando avaliamos os componentes que afetam a exigência de energia do sistema de produção, a lactação mostra-se como um fator de alto impacto. Pois, quanto maior a produção de leite da vaca, maior a demanda por energia do sistema (Calegare, 2004). Com a interrupção precoce da lactação, ocorre a redução de até 20,4% da exigência de energia do sistema, que será destinada a outras funções biológicas e às outras categorias (Peterson et al., 1987).

O período de maior demanda energética da vaca em lactação dá-se durante o pico de produção de leite, que ocorre ao redor dos 60 dias pós-parto (NRC, 2000), com divergência entre autores entre 45 e 90 dias (Alencar et al.,

1995; Jenkins et al., 2000; Pimentel et al., 2006). Dessa forma, diferentes idades ao desmame terão impactos variados na partição de nutrientes. Quanto mais precoce a interrupção da lactação, maior será a recuperação do escore de condição corporal (ECC) da vaca, e mais rápido ocorrerá a saída do anestro pós-parto (Rasby, 2007).

Avaliando desmames realizados aos 90 dias de idade do bezerro, Myers et al. (1999b) observaram, em vacas com ECC médio de  $4 \pm 0.65$  (em escala de 1 a 9), um incremento de 0,67 unidades de ECC o que refletiu em aumento de 18% na taxa de prenhez em comparação aos desmames de 152 e 215 dias. Já Almeida et al. (2002), trabalhando com vacas de ECC médio 1,55 (em escala de 1 a 5) desmamadas aos 90 dias pós-parto, atingiu a taxa de prenhez de 40% contra 11% no desmame convencional, com incremento de 0,8 unidades de ECC para o lote do desmame precoce. Esses dados corroboram com a ideia de que, quanto menor o ECC e maior o déficit nutricional, maior será a resposta ao desmame precoce (Houghton et al., 1990; Warner et al., 2015).

Em desmames ao redor de 60 dias pós-parto a lactação é interrompida próximo ao pico de produção de leite, reduzindo a demanda nutricional em seu ápice. Lusby et al. (1981) realizaram desmame aos 64 dias pós-parto em primíparas e observaram retorno a ciclicidade, aos 85 dias pós-parto, em 90,3% das vacas desmamadas, enquanto que nos animais em lactação apenas 34,3% apresentaram corpo lúteo. A taxa de concepção ao final do período reprodutivo foi de 96,8% nas vacas do desmame precoce contra 59,4% do desmame convencional.

Já Laster et al. (1973), trabalhando com desmame aos 55 dias e estação de monta de 42 dias, verificaram aumento na concepção das fêmeas submetidas ao desmame precoce na ordem de 25,9%, 15,6% e 7,9% em animais de dois, três ou mais de quatro anos de idade, respectivamente. Esses dados contrariam os achados de Wateman et al. (2012a) que, realizando o desmame aos 80 dias pós-parto, não observaram tal diferença, apesar de admitirem haver potencial para a interação entre tratamento e idade.

Em relação ao desmame hiperprecoce, alguns dados demonstram não haver diferença significativa entre a taxa de prenhez de vacas submetidas ao desmame 60 dias pós-parto (85,7%) ou aos 30 dias pós-parto (93,3%), apesar do aumento de ECC e do peso (Piccinali & Monje, 2000). No entanto, quando

comparado ao desmame convencional, diferentes trabalhos apontam para valores superiores. Alforma et al. (2019) demonstrou que, apesar de não ser significativa a redução do intervalo entre o parto e o retorno à ciclicidade, a taxa de prenhez das vacas submetidas ao desmame hiperprecoce foi superior (90,9%) as do desmame convencional (58,5%), em período de acasalamento de 73 dias. Estes valores foram semelhantes aos observados por Otero et al. (2008), com diferença significativa para taxa de prenhez e intervalo entre partos entre o grupo de desmame hiperprecoce (88,4%;  $347 \pm 12,5$ ) e desmame convencional (68,3%;  $378,1 \pm 22,6$ ).

### 2.2.2 Efeito da idade ao desmame sobre o desenvolvimento do bezerro

Após comprovar os efeitos benéficos do desmame precoce sobre a eficiência reprodutiva das vacas, o desafio passou a ser o de minimizar os impactos negativos no desenvolvimento do bezerro (Cattellam, 2014). A premissa do desmame precoce é favorecer a vaca sem prejudicar o bezerro, não havendo a pretensão de obter-se ganhos superiores aos do bezerro ao pé da vaca (Restle et al., 1999). No entanto, pode-se observar resultados divergentes, com bezerros desmamados precocemente demonstrando ganhos de peso superiores, iguais ou inferiores aos mantidos com as mães (Myers et al., 1999a; Myers et al., 1999b, Peterson et al., 1987; Monje et al., 2004; Cerdótes et al., 2004; Waterman et al., 2012b).

Ao avaliarem desmame aos 90 dias, Restle et al. (1999) observaram peso médio 54,7% menor nos bezerros desmamados precocemente, quando comparados aos de desmame convencional aos setes meses de idade. Warner et al. (2015), avaliando as mesmas idades ao desmame, com experimento sendo realizado em dois lugares diferentes, verificaram interação entre tratamentos e locais, onde em um dos locais, os desmamados precocemente tiveram melhor desempenho e, em outro, o inverso.

Já Waterman et al. (2012c), avaliando machos, e Waterman et al., (2012b), avaliando fêmeas, não observaram diferença no peso aos 213 dias, quando comparados aos que se mantinham com as mães à mesma idade. Além disso, não houve diferença na glicose sérica, insulina e ácidos graxos não esterificados, demonstrando semelhança nos processos metabólicos de ambos.

Essa variação nos resultados de desempenho dos bezerros, pode ser explicada por fatores de manejo (Warner et al., 2015) ou mesmo da qualidade dos alimentos ofertados (Restle et al., 1999), principalmente nos períodos críticos do desenvolvimento do trato digestório (Drackley, 2008). Em experimentos onde houve adequado balanceamento nutricional da dieta, os resultados foram equivalentes ou superiores aos observados no desmame convencional (Waterman et al., 2012a; Waterman et al., 2012b; Myers et al., 1999a; Myers et al., 1999b).

No que se refere ao desmame hiperprecoce o desafio é maior que os demais, já que ao redor dos 30 dias de idade o bezerro se encontra em um período chave do seu desenvolvimento, a fase de transição de pré-ruminante para ruminante (Drackley, 2008). Desmamar bezerros dessa idade só se tornou possível graças a adequação da dieta (Monje et al., 2004) que foi capaz de promover o adequado desenvolvimento ruminal, comprovado pela maior altura e largura de papilas ruminais aos 60 dias de idade, quando comparados aos bezerros lactantes (Béguet et al., 2011).

Monje et al. (2004), comparando bezerros desmamados aos 60 dias ou aos 30 dias, observaram semelhante peso aos 210 dias de idade, ganho médio diário e eficiência de conversão entre eles. Porém, em relação aos bezerros desmamados em idade convencional Morena (2008) observou diferença significativa, com pesagem até os 70 dias de idade, onde os bezerros do desmame hiperprecoce foram 6kg mais pesados do que os que se mantiveram com as mães. Escassos são os dados científicos de desempenho de bezerros desmamados ao redor de 30 dias de idade, havendo inúmeros informes técnicos com dados de desempenho de campo que encorajam o estudo da técnica.

### 2.3 Avaliação econômica de sistemas de produção

A produção agropecuária está inserida em sistemas de competição econômica que impedem os produtores de controlar os preços dos produtos comercializados (Costa et al., 2004), o que faz com que a atividade seja o segmento mais vulnerável da cadeia agroindustrial (Raineri et al., 2015). Portanto, existe o risco potencial destes valores serem inferiores aos custos de produção deste produto (Costa et al., 2004), já que são ditados pelo mercado e



sofrem influência de diversos fatores que vão desde fenômenos climáticos a políticas macroeconômicas, que balizam a oferta e demanda (Nogami, 2012; Pereira et al., 2018).

Assim como os valores de venda, os custos de produção também são afetados pelo mercado e por medidas de políticas públicas, uma vez que variam conforme as oscilações de preços de insumos e serviços (Finneran et al., 2012). Essas flutuações podem impactar o resultado econômico do sistema, conforme o grau de adoção ou tipo de tecnologia utilizada, gerando aumento dos custos totais (Nasca et al., 2015). Em sistemas intensificados ou com alta dependência de insumos, essas variações, podem pôr em risco a viabilidade financeira a médio e longo prazos, caso sejam suficientes para gerarem resultados negativos sucessivos (Belasco et al., 2009). Por isso, a avaliação econômica torna-se uma importante ferramenta para mitigar os riscos de insolvência do negócio (Mercio, 2017).

A avaliação econômica é feita basicamente através do levantamento dos custos de produção envolvidos na atividade, das receitas produzidas e, a partir destes dados, são gerados indicadores econômicos. Apesar da aparente simplicidade, existem diversos métodos para a apuração dos custos de produção (Carareto et al., 2006) e diferentes indicadores econômicos (Guiducci et al., 2012), o que muitas vezes gera dificuldades na comparação entre estudos e fazendas, pela falta de padronização na formação da matriz de custos e, por consequência, certa desuniformidade na geração dos indicadores (Gameiro, 2009; Sartorello et al., 2018).

### 2.3.1 Custos de produção de sistemas de cria

Custo de produção pode ser tratado como a soma dos valores de todos os insumos e operações utilizados no processo produtivo de certa atividade. Podem ser avaliados sob o enfoque econômico, que pode ser levado em conta na tomada de decisão visando o longo prazo, e o contábil, que visa a apuração dos resultados mais imediatos (Carareto et al., 2006). A gestão desses custos é o que permite à empresa manter no mercado produtos de qualidade a um custo menor do que o oferecido pelos concorrentes, ganhando eficiência e produtividade, e assim obtendo maior margem (Martins, 2003).

Nos sistemas de produção de bovinos de corte, a participação das despesas na composição do custo total se altera entre sistemas de cria, recria, terminação e ciclo completo. Em sistemas de recria e engorda, a aquisição dos animais compõe a maior parte dos custos, seguido pela nutrição (Silva et al., 2014; Sartorello et al., 2018). Sistemas de cria e ciclo completo, além dos citados anteriormente, apresentam maiores despesas com controle sanitário e reprodução, variando conforme a categoria animal comercializada e as tecnologias utilizadas (Jorge Junior et al., 2006; Oaigen et al., 2009). No entanto, independente de tecnologias empregadas, os componentes básicos do custo para a produção do bezerro serão a mão de obra, alimentação, sanidade, reprodução, aquisição de animais (touro, principalmente), depreciações, remuneração da terra, remuneração do capital e pró-labore (Oaigen et al., 2006).

Em sistemas de cria ou ciclo completo os custos com remuneração da terra e capital tendem a ser maiores, já que o capital imobilizado é superior a outras etapas do ciclo pecuário (Sessim, 2016). Para a produção contínua de bezerros, em ambiente pastoril, é necessário além de área para manutenção da vaca e sua cria, área suficiente para recria de fêmeas destinadas a reposição. Por isso, o aumento da produtividade ou a manutenção dela em momentos de crise, via introdução de tecnologias de intensificação, torna-se uma alternativa para viabilizar sistemas de cria em determinadas regiões (Ash et al., 2015).

À medida que são utilizadas tecnologias de intensificação nos sistemas, os custos variáveis aumentam, variando de acordo com a tecnologia empregada (Oaigen, 2007; López-Gonzalez, 2018). No caso do desmame precoce, é possível observar aumento principalmente nas despesas com nutrição e sanidade, com variação entre autores em virtude da natureza do custo dos alimentados e do período de suplementação (Story et al., 2000; Oaigen et al., 2009; Vaz et al., 2014).

Em desmame realizado aos 90 dias, Blanco et al. (2009) observaram aumento de 20% nas despesas relacionadas à alimentação em comparação ao desmame convencional. Oaigen et al. (2009) observaram aumento de 6,8% no custo variável, sendo 81,3% despesas relacionadas à nutrição e 18,6% com sanidade. Enquanto Vaz et al. (2014) relatou custo adicional equivalente a 22% da produção de quilos de bezerros, dos quais 92,3% foi referente à nutrição e 2,8% à sanidade.

Em avaliação realizada na Argentina por Weiss & Balda (2013) utilizando desmame hiperprecoce, foi observado custo adicional equivalente a 31% da produção de quilos de bezerros, dos quais 91,4% foram relacionados com alimentação e 8,5% com sanidade e demais gastos. Sendo este o único relato de custos relacionados a técnica do desmame hiperprecoce.

### 2.3.2 Apropriação de custos

A apropriação correta dos custos de produção é o primeiro passo para o gerenciamento de custos e pode ser realizada por diferentes metodologias (Martins, 2003). Os métodos mais comuns entre as empresas, industriais ou não, são o custeio por absorção, custeio direto/variável, custeio baseado em atividades/ABC, custeio padrão e o custeio meta (Carareto et al., 2006). Na atividade agropecuária o método mais utilizado é o de custeio variável que, apesar de suas limitações em não atender alguns princípios da contabilidade formal e exigências legais das auditorias fiscais (Sartorello, 2018), permite realizar uma série de avaliações pertinentes a gestão de custos das empresas (Gitman, 2010).

O método de custeio variável leva em consideração uma unidade de tempo para a classificação do custo em fixo ou variável (Martins, 2003). Custo fixo é aquele que não se altera com o aumento do volume da produção, enquanto o custo variável acompanha o aumento do volume produzido (Carareto et al., 2006), em horizonte temporal estabelecido (Martins, 2003).

Na pecuária de corte são comumente classificados como custos fixos, as despesas com mão de obra fixa, depreciações, seguros e alguns impostos; como variáveis as despesas com reprodução, alimentação, sanidade, combustíveis ou outras que tenham relação com a utilização de alguma tecnologia que acompanha o aumento produtivo (Oaigen et al., 2009; Oaigen et al., 2014). No entanto, devido à diversidade dos sistemas de produção é possível observar certa divergência entre autores quanto à interpretação das despesas que compõem tanto custos fixos como variáveis.

### 2.3.3 Indicadores de avaliação econômica

Indicadores de avaliação econômica são calculados a partir das receitas e despesas, servem para refletir a realidade de uma empresa e assim permitir ao gestor tomar decisões conscientes (Guiducci et al., 2012). Em sistemas agropecuários apesar da produção ser decorrente de processos biológicos nem sempre o máximo limiar biológico reflete os melhores resultados econômicos, por isso indicadores são fundamentais para determinar o maior retorno frente a utilização do recurso (Rushton, 2009).

Existem diversos indicadores que cumprem diferentes funções na avaliação do gestor, justificando-se o seu uso, em conjunto ou isolado, conforme o objetivo e o horizonte temporal da avaliação (Lopes & Carvalho, 2002). Na análise de sistemas pecuários um indicador utilizado em muitos estudos é a margem bruta (Julien & Tess, 2002; Ash et al., 2015; Nasca et al., 2015), descrita como uma ferramenta adequada para a comparação de resultados entre sistemas de produção (Rushton, 2009). Além disso, pode ser definida como um indicador de avaliação de curto prazo, já que leva em consideração apenas custos fixos e variáveis descontados da depreciação (Lopes & Carvalho, 2002). Situações de margem bruta positiva garantem a continuação da atividade, enquanto que valores negativos, sem aporte financeiro externo imediato, levarão a insolvência do negócio (Figueiredo et al., 2007).

Outra ferramenta utilizada na avaliação de sistemas de produção, ou na análise da viabilidade de técnicas e utilização de insumos, é o ponto de equilíbrio (Oaigen et al., 2006). Por definição, o ponto de equilíbrio é o faturamento ou produção mínima para que as despesas se igualem as receitas, demonstrando o ponto em que a partir do qual o sistema gera lucro, ou aquém prejuízo (Gitman, 2010). Do ponto de vista da contabilidade pode ser dividido em três indicadores diferentes, o ponto de equilíbrio contábil, sendo o ponto em que as vendas cobrem os custos, o econômico, que leva em consideração o custo de oportunidade do capital, e o financeiro, que leva em consideração somente os custos efetivamente desembolsados, excluindo a depreciação (Martins, 2003).

Uma forma comum do cálculo do ponto de equilíbrio é a divisão do custo fixo pela diferença entre o preço de venda unitário e o custo variável unitário, obtendo assim a produção necessária para que se atinja o ponto de equilíbrio

(Lopes & carvalho, 2002; Martins, 2003). Para obter o faturamento mínimo, basta multiplicar essa quantidade mínima produzida pelo preço de venda unitário (Oaigen et al., 2014). No entanto, essa fórmula apresenta suas limitações quando se trata de empresas que comercializam mais de um produto, já que o preço unitário pode não ser o mesmo para todos os produtos. Além disso, a contribuição dos custos para a produção de cada unidade de produto pode não ser igualitária e de difícil rateio, pois, sofrem alterações conforme o volume produzido ou comercializado (Martins et al., 2003).

Por isso, as fórmulas contábeis do cálculo do ponto de equilíbrio demonstram limitações para a aplicação em sistemas de cria, já que no mínimo dois produtos com valores unitários e custos de produção distintos são comercializados (Martins, 2003), a vaca de descarte e o bezerro. Dessa forma, buscou-se adaptar o conceito a fórmulas que possam ser mais assertivas para sistemas de cria, focando no objetivo produtivo do sistema, que é a produção do bezerro, e o maior custo, que é a manutenção da vaca, necessária para desmamar um bezerro (Spratt, 1998).

Através da divisão do custo anual da vaca pela multiplicação do preço pago pelo bezerro e a taxa de desmame, é possível identificar o peso mínimo a ser desmamado para que o sistema seja lucrativo (Story et al., 2000). Além disso, dividindo o custo de produção pelo número de bezerros desmamados, e esse valor pelo peso médio ao desmame, é possível identificar o valor mínimo a ser pago pelo quilo do bezerro desmamado (Anderson, et al., 2005). Caso o peso mínimo calculado seja superior ao desmamado ou o preço recebido por quilo seja inferior ao preço mínimo calculado, o sistema não está gerando excedentes reais, em quilos de bezerro, suficientes para atingir o ponto de equilíbrio. Dessa forma, pode-se inferir que o lucro, caso haja, pode estar sendo gerado pela venda de vacas e não pela produção de bezerros.

#### 2.3.4 Resultados econômicos de diferentes idades ao desmame

Existem poucos dados científicos de avaliação econômica de sistemas de produção comparando o impacto de diferentes idades ao desmame. A maior parte dos estudos que o fizeram comparam desmames realizados aos 90 dias ao desmame convencional (Oaigen et al., 2009), ou ainda confrontaram este ao

desmame aos 150 dias e ao convencional (Myers et al. 1999a). A avaliação econômica da idade de desmame mais precoce já realizada foi aos 45 dias de idade do bezerro (Vaz et al., 2014). Independente das idades ao desmame avaliados, a maior parte dos trabalhos apenas consideraram o ganho causado pela venda de bezerros, deixando de considerar os ganhos totais do sistema.

Peterson et al. (1987) relatam que, na maioria dos sistemas de produção americanos, a alimentação dos animais compõe aproximadamente 70% dos custos de produção de uma fazenda. Neste sentido, a eficiência na utilização do alimento para a conversão em um quilo de bezerro é um fator importante para o resultado financeiro. Nesse trabalho, desmamando bezerros aos 110 dias e aos 222 dias, foi observado que o primeiro grupo foi 43% mais eficiente em converter nutrientes em ganho de peso, resultando em uma economia de \$95,26  $\pm$ 23,73 por bezerro desmamado precocemente. Esses dados corroboram com Myers et al. (1999b) que observaram, em bezerros desmamados aos 90 dias, maior conversão de alimento em ganho de peso, além da redução no período de engorda. Esses dados apontam para um potencial retorno econômico maior se comparada ao desmame convencional, nos sistemas de produção estudados.

Por outro lado, utilizando dietas com alta densidade energética e vacas com ECC elevado desde a parição, a eficiência alimentar parece não se alterar. Em desmames realizados aos 90 dias e aos 203 dias, não se observou diferença, no consumo de matéria seca ou no ganho de peso dos bezerros e das vacas alimentadas com dietas de elevada densidade energética, gerando efeito marginal na eficiência da utilização da energia, sendo, neste caso, potencialmente semelhantes no que tange o retorno financeiro da técnica (Warner et al., 2015).

Em trabalho avaliando desmame aos 150 dias, convencional aos 210 dias e tardio aos 270 dias, Story et al. (2000) realizaram análise econômica do sistema em dados coletados por período de cinco anos. Novilhos provenientes de desmame precoce, deixaram margem líquida maior comparada aos outros dois manejos. Por outro lado, novilhas provenientes de desmame precoce oneraram mais o sistema se comparadas aos outros manejos. O custo anual por vaca foi menor em desmame precoce (\$ 410,09), comparado com convencional (\$ 421,35) e tardio (\$ 443,45), porém sem diferença significativa. O ponto de equilíbrio foi superior no desmame precoce (\$ 66,05), porém sem diferença

significativa. Os autores citam que a aplicação de desmame precoce causou redução nos custos de manutenção da vaca e aumentou os custos de recria, o que levou a ausência de diferenças no resultado financeiro final.

Avaliando bezerros desmamados aos 90 e 150 dias e levados à terminação em confinamento, Blanco et al. (2009) encontraram aumento de 20% no consumo de matéria seca no sistema 90 dias em relação ao sistema 150 dias, conseqüentemente, gerando maior custo na produção do bezerro proveniente do desmame aos 90 dias. Por se tratar de um bezerro mais pesado, o custo unitário do animal proveniente do desmame aos 150 dias, enviado para recria e terminação, foi maior, o que acabou sendo compensado pelo menor custo com alimentação para a sua produção, gerando custos totais de novilhos semelhantes em ambos os sistemas.

Em uma simulação baseada em um sistema de produção pastoril, Vaz et al. (2014) avaliaram diversos indicadores produtivos e econômicos desmamando bezerros aos 76 dias e aos 148 dias pós-parto. Verificou-se uma redução na venda de vacas de descarte na ordem de 11,26% e um aumento na venda de bezerros e bezerras de 249% proveniente da maior taxa de natalidade ocasionada pelo desmame aos 76 dias. A receita gerada pelo desmame precoce foi 44,41% superior, devido ao aumento na taxa de desmame e, apesar da redução em número, as vacas de descarte atingiram maior peso em menos tempo e puderam ser vendidas antes do inverno gerando maior produção de quilos por hectare. No entanto, esse trabalho não considerou os custos de produção totais do sistema, apenas o custo de oportunidade e os adicionais relativos ao desmame.

Por proporcionar maior diluição dos custos fixos e gerar maior receita por aumento de quilos produzidos, na avaliação de Vaz et al. (2014), o desmame precoce gerou maior retorno econômico, com lucro líquido 4,87 vezes maior. A maior produção de quilos por hectare também é citada por outros autores como fruto de oportunidade de maior lotação, em virtude do confinamento dos bezerros (Galli, 2005). No entanto, aplicando sistematicamente o desmame precoce, sem controlar o aumento da lotação, corre-se o risco de reduzir a flexibilidade gerencial do sistema deixando-o mais exposto a condições climáticas desfavoráveis (Rasby, 2007).

Oaigen et al. (2009), avaliando a introdução de diferentes tecnologias de intensificação em sistemas de produção semelhantes aos de Vaz et al. (2014), encontraram no desmame precoce a tecnologia de melhor resultado econômico. No sistema em que o desmame precoce foi utilizado, o ponto de equilíbrio financeiro, custo de produção por quilo desmamado e por bezerro vendido, foi menor se comparado ao sistema tradicional ou as outras formas de intensificação avaliadas. Além disso, a margem operacional foi superior a todos os outros sistemas.

Quanto ao desmame hiperprecoce, os dados de viabilidade econômica são praticamente inexistentes, havendo apenas citações em materiais técnicos da relação de custos por bezerro desmamados e o valor de sua venda, não sendo viável segundo esta análise (Weiss & Balda, 2013). Não há, até o presente momento, estudos do impacto desse manejo no sistema, tampouco qual seria o ponto de equilíbrio, informações fundamentais para a recomendação da tecnologia.

#### 2.4 Processo da tomada de decisão em sistemas de produção

A tomada de decisão é a principal atividade do gestor do sistema de produção, apesar de muitas vezes ser delegada ou subestimada. Trata-se de um processo cuja repercussão impacta todo sistema, trazendo consequências que podem ser observadas durante anos (Oaigen et al., 2014). Muitos gestores acreditam que apenas a experiência acumulada com o tempo é suficiente para superar os problemas e tomar as decisões mais assertivas. No entanto, apesar desse aprendizado ser um elemento intuitivo importante, não é determinante para o sucesso, já que é limitado pelas experiências anteriores e podem reforçar premissas ou pontos de vista equivocados da situação (Tanure et al., 2013).

Para reduzir equívocos nesse processo se faz necessário a criteriosa escolha de indicadores que demonstrem a situação do sistema de produção frente a intervenção que se deseja realizar (Bonisoli et al., 2018). Tendo em vista que cada gestor costuma ter um processo particular para tomar suas decisões (Mccown, 2002), é importante que esses indicadores ou quaisquer ferramentas de suporte a decisão estejam alinhados ao método de avaliação do gestor e atendam às necessidades e objetivos do sistema (Bonisoli et al., 2018).



Outro fator que frequentemente prejudica a tomada de decisão é a incorreta orientação temporal do gestor (Aguiar, 2011). Decisões que geram repercussões intertemporais podem dificultar a visualização de todo o horizonte temporal, que compreende desde a alocação do recurso até a colheita total dos resultados, levando a tomada de decisões que priorizem ganhos de curto prazo em detrimento de ações que poderiam gerar melhores resultados acumulados (Narayanan, 1985).

Essa conduta é influenciada por uma série de fatores cognitivos e comportamentais, dentre eles a reação do gestor frente a exposição ao risco (Aguiar, 2011). Quanto maior a aversão ao risco, maiores são as possibilidades das decisões de curto prazo serem beneficiadas (Carmel, 2008). Produtores rurais são tipicamente avessos ao risco (Chavas, 2008) e essa conduta, somada a baixa adoção de tecnologias de suporte a tomada decisão no campo (Mccow, 2002), podem levar a problemas quanto a orientação temporal de suas decisões, deixando de gerar maiores ganhos no longo prazo (Carmel, 2008).

No que diz respeito à tomada de decisão da idade em que os bezeros devem ser desmamados, faz-se necessária a avaliação de informações de caráter produtivo e financeiro, comparando-as com as expectativas de resposta dos manejos que serão empregados (Rasby, 2007). As informações comumente estimadas são o índice de concepção esperado com o ECC médio do rebanho, expectativa de nascimentos para o próximo ano conforme o índice de concepção esperado, custo de implantação da técnica e o custo de outras estratégias para mitigar o impacto da baixa condição corporal das vacas (Lusby et al., 1981).

No entanto, como qualquer outra decisão a ser tomada no sistema de produção, é necessário avaliar as interações que serão geradas a partir da decisão ao longo do tempo (Pang et al., 1999), considerando as repercussões internas e sua relação com fatores externos do sistema (Turner et al., 2013). Dessa forma será possível ajustar os processos que irão sofrer alteração a partir da decisão.

Um exemplo da repercussão sistêmica dessa decisão é o impacto que ela causa na recria de bezerras, já que conforme a idade ao desmame é reduzida, maior será a necessidade de suplementação e mais onerosa tende a ser esta etapa, levando mais tempo para retornar o valor investido nessa fêmea (Blanco et al., 2009). O planejamento das vendas também deve ser alinhado com essa

decisão, definindo um peso alvo de comercialização dos bezerros e o custo de suplementação para alcançá-lo (Mulliniks et al., 2013). Ajustando estes valores à projeção de fluxo de caixa será possível tomar a decisão de vendê-los mais leves ou mais pesados, alongando ou não o período de suplementação (Anderson et al., 2005).

Outro fator importante é a venda de vacas de descarte, já que desmamando precocemente, no momento do diagnóstico de gestação, elas estarão com maior peso e condição corporal (Weder et al., 2004). Além disso, os campos terão maior oferta de forragem e capacidade suporte por mais tempo, permitindo tomar a decisão de realizar a venda em momentos de preços mais favoráveis (Galli et al., 2005; Rasby, 2007).

## 2.5 Modelos de simulação

Modelos de simulação são representações da realidade com o objetivo de entender, gerenciar ou avaliar (Hirooka, 2010). Podem tratar-se desde sofisticadas formulações matemáticas até diagramas de fluxo simples, mostrando as interações e interdependências entre as partes. Ambas formas, basicamente, demonstram como as entradas (*inputs*) repercutem no processo modificando ou não as saídas (*outputs*) (Pidd, 2010). Podem ser classificados como determinísticos ou estocásticos, conforme a natureza dos dados assumidos como entradas, e dinâmicos ou estáticos, levando em consideração a variação do tempo em sua formulação (Hirooka, 2010).

O processo de formulação de um modelo passa por algumas fases, dentre elas a verificação e a validação (O'Keefe & O'Leary, 1993), que servem para avaliar a estrutura e comportamento do modelo frente a determinados parâmetros (Gilstrap, 1991). A verificação trata-se da correção formal de maneira a garantir que as equações são corretas e o sistema se comporta como pretendido (Quereshi et al., 1999). Já a validação serve para determinar a acurácia do modelo em cumprir o seu propósito de retratar a realidade (Sørensen, 1990).

### 2.5.1 Modelagem no estudo de sistemas de produção de bovinos de corte

Pelo fato de os sistemas de produção apresentarem variada inter-relação entre os processos biológicos e desses com fatores econômicos e de manejo, os modelos de simulação são ferramentas adequadas para seu estudo (Amer et al., 1994). Através da modelagem é possível avaliar a interação entre diferentes entradas ou alterações nos processos, proporcionando realizar estudos que não seriam viáveis operacionalmente ou financeiramente (Pang et al., 1999).

Os modelos de simulação para bovinos de corte podem ser concebidos para representar de forma isolada o indivíduo, ou conjunta como rebanho, aplicando as mais variadas intervenções (Kristesen & Jørgensen, 1996). Dessa forma, é possível extrapolar dados obtidos por experimentos científicos, em ambientes controlados, para sistemas de produção que representem a realidade, verificando o impacto das descobertas sob uma nova escala produtiva e incorporando os fatores limitantes, controlados no experimento (Joandet & Cartwright, 1975). Assim, é possível analisar o impacto da descoberta científica, em sistemas de produção, antes da introdução efetiva da tecnologia no campo. Por isso, apesar de não se tratar de uma ferramenta nova, os modelos de simulação são claramente efetivos em organizar novas informações e orientar futuras pesquisas (Hirooka, 2010).

Além da aplicação na pesquisa e no estudo de sistemas, modelos de simulação ainda podem servir como ferramenta de suporte à tomada de decisão por parte de produtores ou técnicos, construindo cenários em que a repercussão da decisão se torna mais visível (Mccown, 2002). Por isso, modelos de simulação são ferramentas importantes no processo de tomada de decisões complexas (Tanure et al., 2013), uma vez que incorporam dois elementos importantes ao processo, as informações sobre o assunto e a lógica dos eventos (Mccown, 2002).

### **3. Hipóteses**

- 1) A realização do desmame de bezerros aos 30 e 75 dias de idade é viável economicamente em sistemas de cria de bovinos de corte.
- 2) É possível intensificar o sistema através da aplicação de desmame hiperprecoce e precoce.

#### **4. Objetivos**

- 1) Realizar avaliação econômica de sistemas de cria de bovinos de corte com a aplicação de desmame aos 30, 75 e 180 dias ao longo de oito anos.
- 2) Avaliar a capacidade de intensificação do sistema através da aplicação de desmame hiperprecoce e precoce.
- 3) Determinar qual a taxa de prenhez, de sistemas de cria com desmame convencional, torna a aplicação de desmame hiperprecoce e precoce atrativo economicamente.

## CAPÍTULO II

## **Bioeconomic assessment of three ages at weaning in cow-calf systems**

Vinícius de Anhaia Camargo<sup>a</sup>, Amir Gil Sessim<sup>a</sup>, Gabriel Ribas Pereira<sup>a</sup>,  
Odilene de Souza Teixeira<sup>a</sup>, Antónia Mendes Paizano Alforma<sup>a</sup>, Marcela  
Kuczynski da Rocha<sup>a</sup>, Júlio Otávio Jardim Barcellos<sup>a\*</sup>

<sup>a</sup> Department of Animal Science, Faculty of Agronomy, Núcleo de Estudos em  
Sistemas de Produção de Bovinos de Corte e Cadeia Produtiva (NESPro),  
Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil.

\* Corresponding author: Department of Animal Science, Faculty of Agronomy,  
Núcleo de Estudos em Sistemas de Produção de Bovinos de Corte e Cadeia  
Produtiva (NESPro), Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre,  
Brazil. Email: [julio.barcellos@ufrgs.br](mailto:julio.barcellos@ufrgs.br)

**Short title: Bioeconomic assessment of calves weaning age**

**Abstract**

**Context:** Early weaning is frequently used for the reestablishment of cow's physiological conditions in situations of feed restrictions and to increase the possibility of conception. However, studies on systemic impacts of earlier weaning management are scarce and bioeconomic assessments of beef calves weaned at 30 days of calving were not reported in the scientific literature.

**Objective:** This study aims to perform a bioeconomic assessment of cow-calf systems with calves weaned at 30 (W30), 75 (W75), or 180 (W180) days of age.

**Methods:** A dynamic deterministic model was created based on a base scenario (BS), which used only W180, and, then, it was simulated an application of W30 and W75. In the scenarios of unique application (SUA), W30 was applied only in year one (Y1) in all cows (HA1), or only in primiparous (HP1), and W75 in all cows (EA1), or only in primiparous (EP1). The scenarios of successive application (SSA) were used for eight years to intensify the system, and W30 was performed in all cows (HA8), or only in primiparous (HP8), and W75 in all cows (EA8), or only in primiparous (EP8). Scenarios with a lower pregnancy rate (SLP) than the BS were simulated to determine which reduction in the pregnancy rate was necessary for each SUA to justify its implementation.

**Key results:** In the SUA, the lowest gross margin per hectare (GM/ha) was observed in Y1 due to the weaning costs, and the highest GM/ha in year two (Y2) due to a higher number of weaned calves. In Y1, the highest GM/ha was observed in EP1 and the lowest in HA1. In the SSA, GM/ha varied over time, being affected by the revenues generated by the increase in breeding females



and by the costs of replacement heifers and weaning. All SSA stabilized their economic and productive results in year seven (Y7). Except for HA1 and HA8, all scenarios generated positive GM/ha.

**Conclusions:** The use of W30 only in primiparous, and W75 in all cows and only in primiparous, showed to be economically viable. In addition, it is possible to intensify the system through successive application of these technologies.

**Implications:** Manipulation of weaning ages are effective in both to mitigate losses caused by the reduction in pregnancy rates, and to increase herd size and productivity without changing the production area.

**Keywords:** beef cattle, production costs, hyper-early weaning, herd structure, intensification, modeling.

## **Introduction**

In beef cow-calf systems, conventional weaning is performed between 180 and 210 days of calving (Rasby, 2007). During this period, between calving and weaning, cows require an increased nutritional supply, mainly due to lactation, and partition the available nutrients among biological functions according to an order of priority (Short & Adams, 1988). If the availability of nutrients is not sufficient to meet the requirement, reproductive functions may be compromised by prolongation of the postpartum anestrus and consequently causing a reduction in pregnancy rate (Short et al., 1990). Therefore, in grazing systems, the breeding season must be planned to coincide with the period of greatest forage availability (Grings et al., 2005).

However, even with proper planning, weather conditions can affect the production of forage, which reduces feed availability and, consequently, the productivity of the system (López-González et al., 2020). Thus, reducing the lactation period, by anticipating weaning, is one of the technological alternatives aimed to mitigate the negative impacts of feed restrictions, since it decreases the cows' nutritional requirements, improves their body condition, and increases pregnancy rate (Myers et al., 1999). In addition, manipulation of weaning age is used to enable the production of grazing systems under a high stocking rate (Berger et al., 2017), demonstrating its potential for use as a management tool to intensify livestock production systems (Nasca et al., 2015).

The study of the effects of different weaning ages in beef cattle began with calves been weaned at 55 days old (Laster et al., 1973), until more recent studies, with hyper-early weaning at 30 days of age (Teixeira, 2020). These recent studies in beef calves were encouraged by several previously scientific research in dairy calves (Winter, 1985, Hulbert et al., 2011) and by beef calves' technical reports (Monje et al., 2004; Weiss & Balda, 2013). The wide possibilities of applying these technologies in beef cattle can also cause modifications in the production system that go beyond the year in which the technique is applied (Mulliniks et al., 2013).

Therefore, the decision to perform early weaning must undergo a careful evaluation, considering all systemic effects of its uses (Lusby et al., 1981). Although there are studies on the economic evaluation of early weaning in beef cattle, the results of long-term effects, or hyper-early weaning, are not reported in the scientific literature. Furthermore, studies of the temporal repercussion that combine different weaning ages and categories of cows are limited. Therefore,

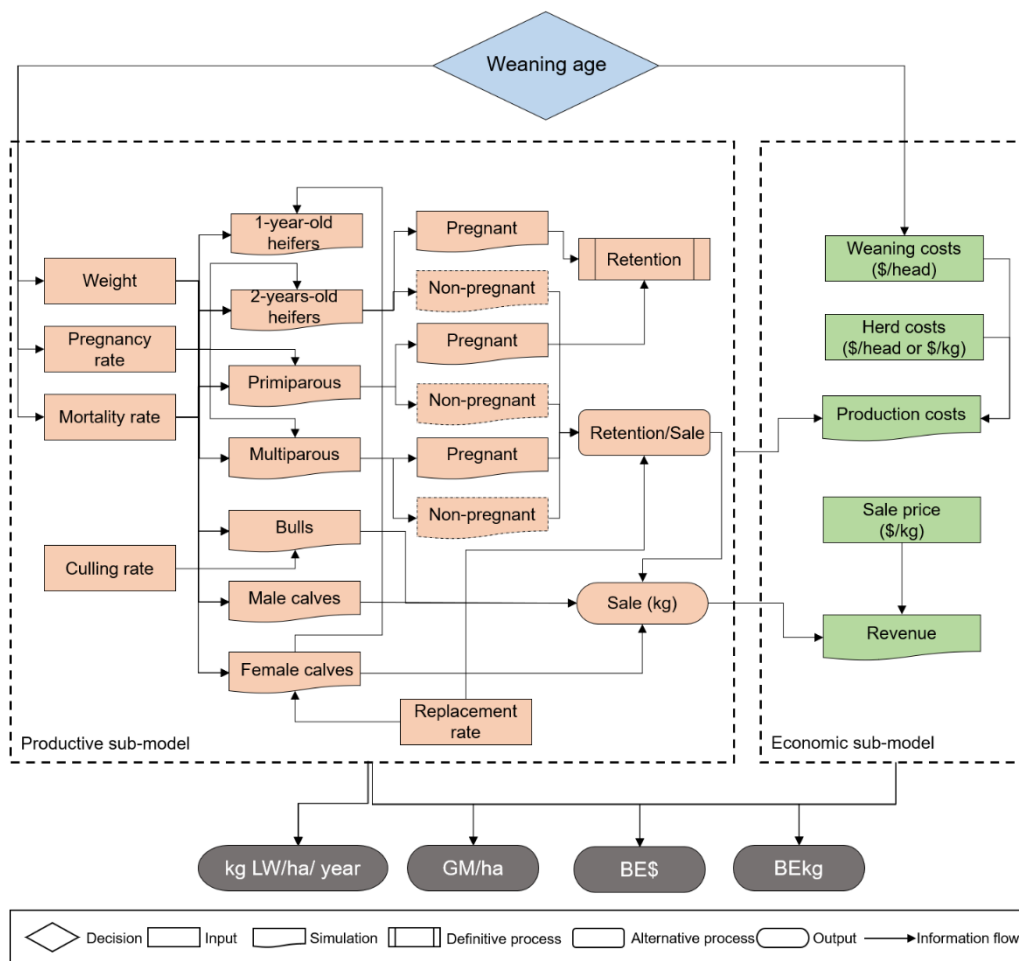
our objective was to analyze the bioeconomic effects of different scenarios of early, hyper-early, and conventional weaning in beef cow-calf systems.

## **Material and Methods**

### *Model overview*

Physical and economic effects of three weaning ages were evaluated as followed: hyper-early (H) weaning at 30 days (W30), early (E) weaning at 75 days (W75), and conventional (C) weaning at 180 days (W180) of age, applied in grazing systems. For this, a deterministic dynamic model was developed in Microsoft Excel® with productive (i) and economic (ii) sub-models that interact with each other (**Fig. 1**). The technical and economic parameters were obtained from experimental data, scientific manuscripts from relevant journals, and consolidated databases used in previously conducted research (López-González et al., 2020; Sessim et al., 2020).

The simulated production system has an area of 1,500 hectares (ha) and a herd of 750 dams (heifers mated at two years old, primiparous and multiparous). The evaluation period was eight years divided into 12-month cycles, which comprise the interval between one calving season and the following season.



**Fig. 1:** Simplified flowchart of the conceptual model of the cow-calf system for the application of different weaning age scenarios.

Nine scenarios (**Table 1**) were simulated, for eight years (Y1 to Y8), consisting of a combination of different weaning ages applied in different categories of cows. The base scenario (BS) represents the system in which conventional weaning was applied to all cows with a pregnancy rate of 75%. In the scenarios of unique application (SUA), the anticipation of weaning occurred only in the first year, and conventional weaning afterward, in all (A) cows (HA1 and EA1), or only in primiparous (P) cows (HP1 and EP1). This approach was performed to evaluate its uses to reduce productivity losses from years with

unfavorable climatic events, such as prolonged droughts. In scenarios of successive application (SSA), the technologies were applied systematically for eight years in all cows (HA8 and EA8) or only in primiparous (HP8 and EP8), which allowed the evaluation of these scenarios as a way of intensifying the system, due to increase of dams in the herd by higher heifer's retention.

**Table 1.** Description of the scenarios submitted to different weaning ages.

Scenario		Age of weaning (days)	Period of application (years)	Categories of cows submitted to the weaning
Base Scenario	BS	180	8	All cows
Unique application (SUA)	HA1	30	1 <sup>A</sup>	All cows
	EA1	75	1 <sup>A</sup>	All cows
	HP1	30	1 <sup>A</sup>	Primiparous <sup>B</sup>
	EP1	75	1 <sup>A</sup>	Primiparous <sup>B</sup>
Successive application (SSA)	HA8	30	8	All cows
	EA8	75	8	All cows
	HP8	30	8	Primiparous <sup>B</sup>
	EP8	75	8	Primiparous <sup>B</sup>

<sup>A</sup>Year of occurrence of the abnormal climatic event.

<sup>B</sup>Category submitted to weaning at 30 and 75 days postpartum, while multiparous are submitted to weaning at 180 days postpartum.

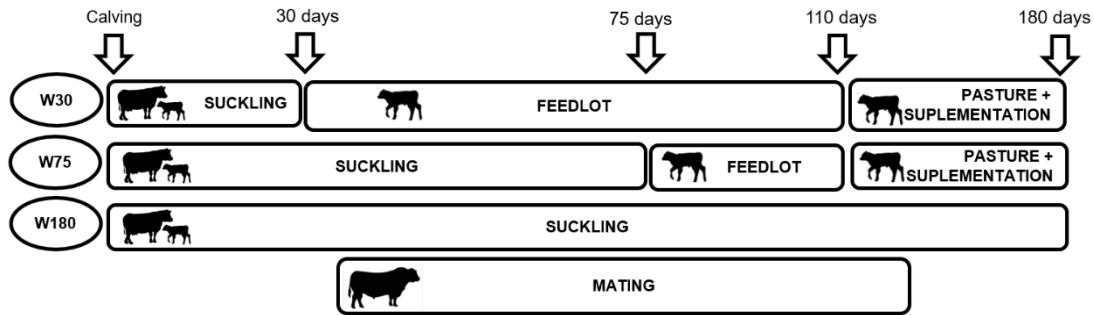
Scenarios with lower pregnancy rates (SLP; <75%) were simulated, respecting the technical criteria assumed for the other scenarios, to identify which pregnancy rate reduction in conventional weaning would be economically advantageous to apply the SUA. In the SLP, a reduction in the pregnancy rate was applied in the first year (Y1; <75%), and a return to normality in the second year (Y2; 75%). To assess the effects of pregnancy rate reduction, a comparison was performed between the accumulated (Y1 and Y2) gross margin per hectare (GM/ha) and the accumulated GM/ha in the same period of the SUA. Thus, it was possible to observe the effects of the number of pregnant cows changes in Y1 and calves weaned in Y2.

### *Experimental Data*

The experimental data were obtained from 64 Brangus cows, primiparous and multiparous, calved between 30 October and 5 December of 2018. Animals belonged to the herd of Agronomic Experiment Station from the Federal University of Rio Grande do Sul, located at the municipality from Eldorado do Sul, Rio Grande do Sul, Brazil. All cows were submitted to the same natural pasture feeding, free access to water and shelter, and sanitary conditions during the experimental period. Cows were mated under natural breeding season, from 26 November of 2018 to 26 February of 2019, with three Brangus bulls approved in a previous andrological examination performed before the beginning of the breeding season.

Then, cows and their calves together were divided into three groups: hyper-early weaning at  $32 \pm 0.89$  days of age and a minimum body weight of 40 kg (W30); early weaning at  $77 \pm 0.95$  days of age and a minimum body weight of 60 kg (W75); and conventional weaning at  $183 \pm 0.82$  days of age (W180). The W30 group was composed of 22 cow-calf pairs (10 males and 12 females), W75 by 20 cow-calf pairs (12 males and 8 females), and W180 by 22 cow-calf pairs (13 males and 9 females).

The calves in the W30 and W75 went through a period of feedlot, and animals were fed with a commercial concentrate diet and alfalfa hay. After, animals received a diet supplementation with commercial concentrate in *Brachiaria brizantha* pasture until they reached 180 days old (**Fig. 2**). Health management was the same for all groups, except occasional treatments.

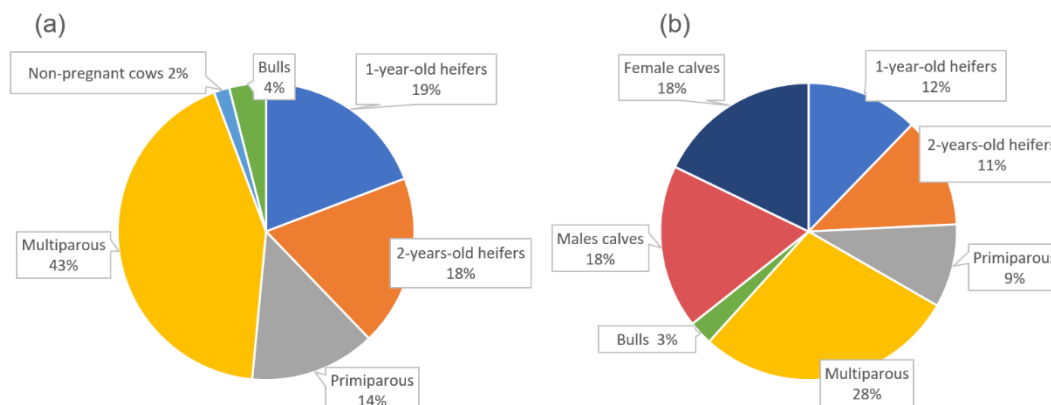


**Fig. 2:** Managements applied in hyper-early weaning (W30), early weaning (W75), and conventional weaning (W180).

### *Productive sub-model*

The productive sub-model comprises the herd structure in the number of animals (**Fig. 3**) and their respective body weights from each period of the year, and the production indicators responsible for changes in productivity between the scenarios (**Table 2**). Productivity was obtained by dividing the annual production of kilograms of live weight and the total area used by the herd (kg LW/ha).

All scenarios have the same initial herd structure from the BS at the beginning of the simulation (**Fig. 3a**), and a stocking rate of 0.6 animal unit per hectare (AU/ha) in the natural pasture (Sessim et al., 2020). In the SSA, one-year-old calves are added to this structure, retained the year before the application of the technologies, in sufficient quantity to maintain the average annual stocking rate of 0.6 AU/ha. The proportion of bulls used for all scenarios was the same as that applied in the experiment, one bull to 20 cows.



**Fig. 3:** Herd structure of base scenario (BS) by animal category (%) at beginning of calving season (a) and weaning (b).

The entry of new animals into the system has occurred by births (50% of male and 50% of female) and bulls were admitted by purchase for the replacement to culling or dead animals. Animals egress occurred by dead or sale of all male calves and excess female calves at 180 days old, culled bulls, and non-pregnant cows and heifers at the time of pregnancy check at 180 days after calving. For herd replacement, it was assumed that the retention of female calves would be equivalent to the sum of the number of cows and heifers sold, and the total of female death.

To sustain the 25% replacement rate in the scenarios in which W30 and W75 were applied, a variable sale rate of multiparous pregnant cows was required at 180 days postpartum, in order to not damage any scenario by culling fewer cows than others. In SLP, the rule for cows' sale was the maximum number of non-pregnant cows that a female calf production would be able to replace, so the herd would remain stable, as long the replacement rate did not exceed 25%.

To determine the heifers' target body weight at 24 months that would allow reaching the desired pregnancy rate, the equation proposed by Barcellos et al.



(2006) was used. The average daily gain (ADG) necessary for reaching the target body weight was calculated from the difference between the body weight at 180 days old and 24 months old. To meet the nutritional requirement (NRC, 2000), it was considered the consumption of nutrients provided by natural pasture and by supplementation of a commercial concentrate diet. The pasture consumption was based on 12.5 g of neutral detergent fiber (NDF) for each kilogram of live weight (Mertens, 1994), according to the bromatological composition of the natural pasture (Silveira et al., 2005; López-González et al., 2020).

**Table 2.** Input of productive sub-model for application of hyper-early weaning (W30), early weaning (W75), and conventional weaning (W180).

Input		W30	W75	W180	Source
<b>Weight at birth (kg)</b>	Male	35.2	32.6	35.2	(a)
	Female	33.4	30.6	34.5	(a)
<b>Weight at 180 days of age (kg)</b>	Male	157	162	162	(a)
	Female	160	160	141	(a)
<b>Weight at calving (kg)</b>	Primiparous	412	384	383	(a)
	Multiparous	462	463	433	(a)
<b>Weight at 180 days postpartum (kg)</b>	Primiparous	440	439	346	(a)
	Multiparous	517	487	475	(a)
<b>Mortality rate of calves until 180 days of age (%)</b>		5.2	5.0	4.4	(b, c, d)
<b>Mortality rate of heifers until 12 months of age (%)</b>		3	3	3	(e)
<b>Mortality rate as from of 12 months of age (%)</b>		2	2	2	(e)
<b>Heifer pregnancy rate (%)</b>		75	75	75	(d)
<b>Pregnancy rate of primiparous and multiparous (%)</b>		95.45	95	75	(a)
<b>Female replacement rate (%)</b>		25	25	25	(f)
<b>Bull culling rate (%)</b>		16.7	16.7	16.7	(g)

(a) Experimental data; (b) Weiss & Balda (2013); (c) Vaz et al. (2010); (d) Simões et al. (2020); (e) Pang et al. (1999); (f) Romera et al. (2006); (g) Menegassi et al. (2011).

### *Economic sub-model*

The economic sub-model interacts with the productive sub-model through the number of heads and kilograms generated in the period to calculate the costs and revenues (**Tables 3 and 4**). The total production costs were divided into weaning and herd costs.

Weaning costs are composed of variable costs strictly related to the weaning technique used. These values were measured during the experiment and, in the model, were multiplied by the number of calves weaned in each scenario per year. Herd costs are composed of all fixed and the variables costs that are not strictly related to the weaning. All values were deflated to December 2019 according to IGP-DI (FGV, 2020) and converted into United States currency at the time by the quotation of the Central Bank of Brazil (US\$ 1.00 = R\$ 4.03).

#### *Weaning costs.*

The consumption of concentrate diet and alfalfa hay by weaned calves was measured and used to quantify the feeding cost. Health costs were defined as the sum of prophylactic and treatments for animals during the experimental period. For this, the drug dose was multiplied by the live weight on the day of treatment or by the number of animals in the case of vaccines, and by the product cost (**Table 3**). Facilities costs were determined based on the infrastructure adaptation necessary for weaning management and were considered non-durable goods. All product prices were obtained from local stores, therefore represents the reality of costs in the region.

For the incorporation of costs with cultivated pasture consumed, after the feedlot period, the exhaustion calculation was used, since it is an exhaustible natural resource (Costa et al., 2004). Once the exhaustion value was obtained, it was multiplied by the pasture occupation period by calves at each weaning age. For this, the following equation (Eq 1) was used:

$$E_w = (\mathbf{Ex} \times (\mathbf{100\%}/(\mathbf{t} \times \mathbf{gr}) \times \mathbf{Cp}))/365$$

(Eq 1)

In which:  $E$  = exhaustion of pasture per day;  $w$  = type of weaning applied;  $Ex$  = extraction of pasture;  $t$  = time in years that pasture is intended to be used before the reform is necessary;  $gr$  = number of predicted grazing per year;  $Cp$  = pasture implantation costs.

To calculate the labor used during the weaning management, we considered the employees that additional hours would be necessary to feed and provide health care to calves, according to the following equation (Eq 2):

$$C/h/a_w = (Ct/h)/n$$

(Eq 2)

In which:  $C/h/a$  = cost per hour per animal;  $w$  = type of weaning applied;  $h$  = number of hours worked per month, in this case, 220 hours;  $Ct$  = total costs of payment and charges;  $n$  = number of calves per employee, in this case, 150 animals.

**Table 3.** Inputs of weaning costs for the economic sub-model for application of hyper-early weaning (W30), early weaning (W75), and conventional weaning (W180).

<b>Inputs</b>	<b>W30</b>	<b>W75</b>	<b>W180</b>
<b>Feed (US\$/head)</b>	<b>143.86</b>	<b>85.82</b>	<b>0.00</b>
Initial concentrate diet 20% PB	45.54	3.26	0.00
Concentrate diet 18% PB	87.90	80.76	0.00
Alfalfa hay	10.42	1.80	0.00
<b>Health management (US\$/head)</b>	<b>3.01</b>	<b>2.96</b>	<b>3.19</b>
Clostridial vaccine	0.49	0.49	0.49
Foot-and-mouth vaccine	0.40	0.40	0.40
Brucellosis vaccine	0.23	0.23	0.23
Hematic carbuncle vaccine	0.19	0.19	0.19
Rabies vaccine	0.18	0.18	0.18
Ivermectin	0.15	0.15	0.14
Doramectin	0.16	0.23	0.16
Albendazole	0.10	0.14	0.10
Levamisole	0.17	0.26	0.24
Fluazuron	0.30	0.30	0.68
Oxytetracycline	0.29	0.31	0.19
Flunixin	0.12	0.08	0.09
Imidocarb Dipropionate	0.22	0.00	0.09
<b>Facilities (US\$/head)</b>	<b>6.40</b>	<b>2.13</b>	<b>0.00</b>
<b>Labor (US\$/head)</b>	<b>6.00</b>	<b>3.47</b>	<b>0.00</b>
<b>Pasture (US\$/head)</b>	<b>3.56</b>	<b>3.74</b>	<b>0.00</b>
<b>Total cost of weaning (US\$/head)</b>	<b>162.83</b>	<b>98.12</b>	<b>3.19</b>

#### *Herd costs.*

Herd costs were considered routine cow-calf systems production costs and it was observed in the herd whose experimental data were obtained (**Table 4**). Feeding costs are limited to the consumption of minerals by adult animals and protein supplements for heifers. Daily mineral salt consumption was considered 20 g for each 100 kg of live weight. Health costs were calculated as the same as the health costs for weaning calves, as previously described, using the values described in **Table 4**.

Labor cost was obtained from the average salary of cattle handling workers in the Rio Grande do Sul state, added to labor charges, and obtained from the database of the Ministry of Labor of Brazil (PDET, 2020). It was assumed a ratio of one worker for 300 animals. The rural territorial tax (RTT) was considered for

1,500 hectares, using a 0.3% quota on the average bare land values of the Rio Grande do Sul State in 2019 (RFB 2019). In addition, the average bull costs in auctions were considered to purchase animals (Evangelista et al., 2019).

**Table 4.** Inputs of herd costs and revenue for the economic sub-model.

	Inputs	Value (\$)
<b>Herd costs</b>	Concentrate diet 14% PB (kg)	0.28
	Mineral (kg)	0.60
	Clostridial vaccine (head/year)	0.49
	Foot-and-mouth disease vaccine (head/year)	0.40
	IBR/ BVD/ Leptospirosis vaccine (head/year)	1.63
	Hematic carbuncle vaccine (head/year)	0.19
	Rabies vaccine (ml)	0.18
	Ivermectin (ml)	0.07
	Doramectin (ml)	0.10
	Albendazole (ml)	0.05
	Levamisole (ml)	0.03
	Fluazuron (ml)	0.03
	Base salary (employee/month)	334.00
	Social charges (employee/month)	200.39
	Veterinarian (month)	335.16
	RTT (ha/year)	8.86
	General maintenance (ha/year)	3.54
Bulls purchase (head)	2,310.00	
<b>Revenue</b>	Male calf (kg LW)	1.57
	Female calf (kg LW)	1.44
	Pregnant cow (kg LW)	1.24
	Cull cow (kg LW)	1.23
	Cull bull (kg LW)	1.23

### *Revenue.*

For revenue composition, the price per kilogram of live weight in each category was multiplied by the live weight at the time of sale (**Table 4**). Calves were sold when they were 180 days old, and cows, heifers, and bulls were sold after the pregnancy check.

In order to avoid annual and seasonal price biases, it was decided to use the general average of live weight prices for the categories in the Rio Grande do

Sul between January 2011 and December 2019. Values were obtained from two databases (Anualpec, 2018; NESPro, 2020).

*Economic indicators.*

The gross margin (GM) was calculated by the subtraction of the total annual production costs (fixed and variable) from the total annual revenue, and, then, divided by the number of hectares (1,500 ha) to obtain the GM/ha. These values were calculated per year during the total period of analysis (eight years).

For financial break-even (BE\$) calculation, we used the equation described by Anderson et al. (2005), being interpreted as the minimum amount to be paid per kilogram of the calf so that, from this value, the system can generate profit. The following equation (Eq 3) was used:

$$BE\$_s = \left( \frac{C}{\sum n} \right) / \left( \frac{\sum n}{\sum kg} \right) \quad (\text{Eq 3})$$

In which:  $BE\$$  = financial break-even;  $s$  = scenario;  $C$  = total production costs;  $n$  = number of 180 days-old calves;  $kg$  = total kilograms of calves at 180 days of age.

Physical break-even (BEkg) is interpreted as the minimum weight that calves must achieve at 180 days of age, from which the system would generate profit, without change the price paid for a kilogram. For this, the equation (Eq 4) proposed by Story et al. (2000) was used:

$$BEkg_s = \left( \frac{C}{N} \right) / \left( \$_s \times \left( \frac{\sum n}{N} \right) \right)$$

(Eq 4)

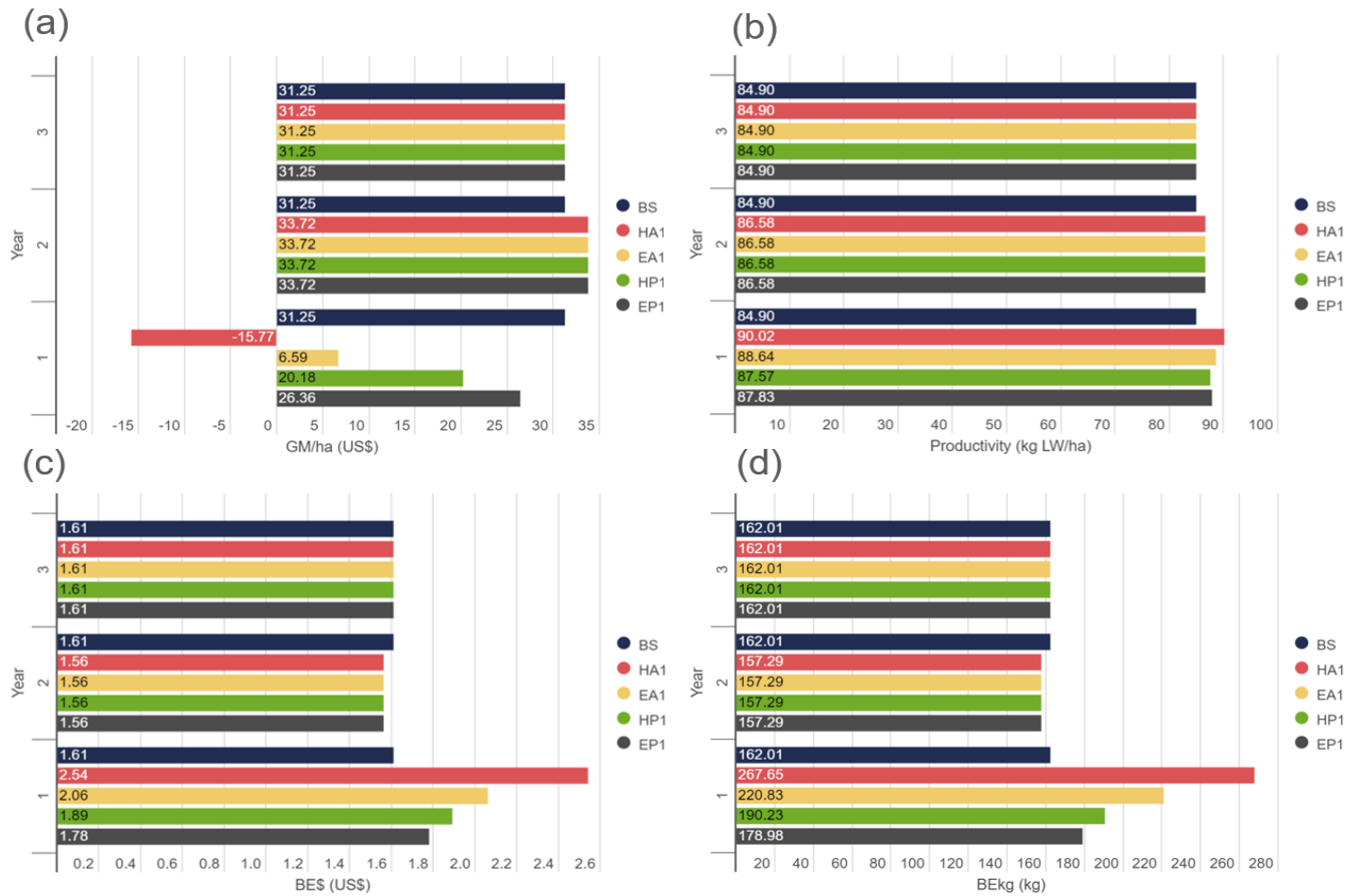
In which:  $BE_{kg}$  = physical break-even;  $s$  = scenario;  $C$  = total production costs;  $N$  = number of mated cows;  $\$$  = price paid for the kilogram of the calf at 180 days of age in scenario  $s$ ;  $n$  = number of calves 180 days old.

Temporal assessment of the indicators for each scenario was performed based on the observation of its dynamic variation over the eight years. The absence of value variation in the second place after a comma was considered in the analysis to determine the moment when the indicator stabilizes.

## Results

### *Scenarios of unique application*

The highest values of GM/ha were observed in Y2, while the highest productivity occurred in Y1 accompanied by the highest values of  $BE_{kg}$  and  $BE_{\$}$ . In year 3 (Y3), we observed that all indicators stabilized within the same values observed in the BS. In Y1, all SUA generated lower GM/ha compared to BS. However, in Y2 the GM/ha of all scenarios was 2% higher compared to BS (Fig. 4).



**Fig. 4:** Gross margin per hectare (a), productivity in kilograms of live weight per hectare (b), financial break-even (c) and physical break-even (d) of base scenario (BS) and scenarios of unique application of hyper-early weaning in all cows (HA1), early in all cows (EA1), hyper-early in primiparous (HP1) and early in primiparous (EP1) until the year of stabilization of the indicators.



The highest economic results, in Y1, were observed in scenarios in which anticipation of weaning occurred only in primiparous. The highest GM/ha and the lowest weaning cost were observed in EP1. In contrast, the lowest GM/ha, with negative values, and the highest costs were observed in HA1 (**Table 5**).

**Table 5.** Annual production costs (US\$) per calf weaned in the base scenario (BS) and scenarios of unique application of hyper-early weaning in all cows (HA1), early in all cows (EA1), hyper-early in primiparous (HP1), and early in primiparous (EP1) until the year of cost stabilization.

Scenario	Year	Total costs (\$)	Fixed costs (\$)				Variable costs (\$)		
			Labor	Maintenance	Taxes	Animal purchase	Feed	Health	Weaning
BS	1	244.52	57.46	10.28	25.74	32.68	97.58	17.45	3.33
	2	402.60	57.94	10.36	25.96	32.95	85.88	17.75	171.76
HA1	2	237.40	55.75	9.97	24.98	31.71	94.70	16.96	3.33
	3	244.52	57.46	10.28	25.74	32.68	97.58	17.45	3.33
EA1	1	332.39	57.82	10.34	25.90	32.88	84.65	17.52	103.28
	2	237.40	55.75	9.97	24.98	31.71	94.70	16.96	3.33
	3	244.52	57.46	10.28	25.74	32.68	97.58	17.45	3.33
HP1	1	287.07	57.58	10.30	25.80	32.74	98.26	17.64	44.75
	2	237.40	55.75	9.97	24.98	31.71	94.70	16.96	3.33
	3	244.52	57.46	10.28	25.74	32.68	97.58	17.45	3.33
EP1	1	270.14	57.55	10.29	25.78	32.73	98.21	17.63	27.95
	2	237.40	55.75	9.97	24.98	31.71	94.70	16.96	3.33
	3	244.52	57.46	10.28	25.74	32.68	97.58	17.45	3.33

In EP1, it was necessary \$ 8.74 of additional cost to increase one kilogram of live weight in the productivity of Y1. However, in HP1, the additional cost was \$ 15.93 for the same increase in Y1. Regarding HA1, it was necessary an additional cost of \$ 30.87 per kilogram added in productivity, whereas in EA1, the additional cost was \$ 23.49. The HA1 scenario, in Y1, showed the highest increase in productivity, 6% higher compared to BS, with a 12% increase in kilograms of cows sold, and a 1% reduction in kilograms of calves sold. On the other hand, HP1 showed a lower increase in productivity among SUA, with values 3% higher than BS, with a 5% increase in kilograms of cows sold, and

1% in kilograms of calves sold. In all SUA, in Y1, an increase in participation of cows' kilograms in the composition of productivity and revenue was observed when compared to the composition observed in the BS (**Table 6**). In Y2, the productivity of all SUA was 2% higher compared to BS, with an increase in calves participation, and a cows reduction in the composition of productivity.

The productivity increased, observed in Y1, followed by the reduction in the average stocking rate of the system to values lower than those observed in BS (0.6 AU/ha). The highest stocking reductions occurred in EA1 (0.56 AU/ha) and HA1 (0.57 AU/ha), followed by HP1 (0.58 AU/ha) and EP1 (0.58 AU/ha).

**Table 6.** Productivity, productivity composition by animal category, total revenue and revenue composition by animal category in the base scenario (BS) and scenarios of unique application of hyper-early weaning in all cows (HA1), early in all cows (EA1), hyper-early in primiparous (HP1) and early in primiparous (EP1) until the year of stabilization.

Scenario	Year	Productivity (kg LW/ha)	Composition of productivity per animal category (%)				Total revenue (\$)	Composition of revenue per animal category (%)			
			Calves	Cull females <sup>A</sup>	Pregnant multiparous	Cull bulls		Calves	Cull females <sup>A</sup>	Pregnant multiparous	Cull bulls
BS	1	84.90	40.7	55.6	0	3.7	173,125.66	46.3	50.3	0	3.4
HA1	1	90.02	38.0	19.5	39.0	3.5	182,523.53	43.4	17.8	35.6	3.2
	2	86.58	41.8	54.6	0	3.7	176,923.09	47.4	49.3	0	3.3
	3	84.90	40.7	55.6	0	3.7	173,125.66	46.3	50.3	0	3.4
EA1	1	88.64	39.8	20.2	36.4	3.6	180,472.16	45.2	18.3	33.2	3.2
	2	86.58	41.8	54.6	0	3.7	176,923.09	47.4	49.3	0	3.3
	3	84.90	40.7	55.6	0	3.7	173,125.68	46.3	50.3	0	3.4
HP1	1	87.57	40.0	51.2	5.2	3.6	178,215.81	45.6	46.4	4.7	3.3
	2	86.58	41.8	54.6	0	3.7	176,920.09	47.4	49.3	0	3.3
	3	84.90	40.7	55.6	0	3.7	173,125.66	46.3	50.3	0	3.4
EP1	1	87.83	40.0	51.2	5.2	3.6	178,823.42	45.6	46.4	4.7	3.3
	2	86.58	41.8	54.6	0	3.7	176,920.14	47.4	49.3	0	3.3
	3	84.90	40.7	55.6	0	3.7	173,125.66	46.3	50.3	0	3.4

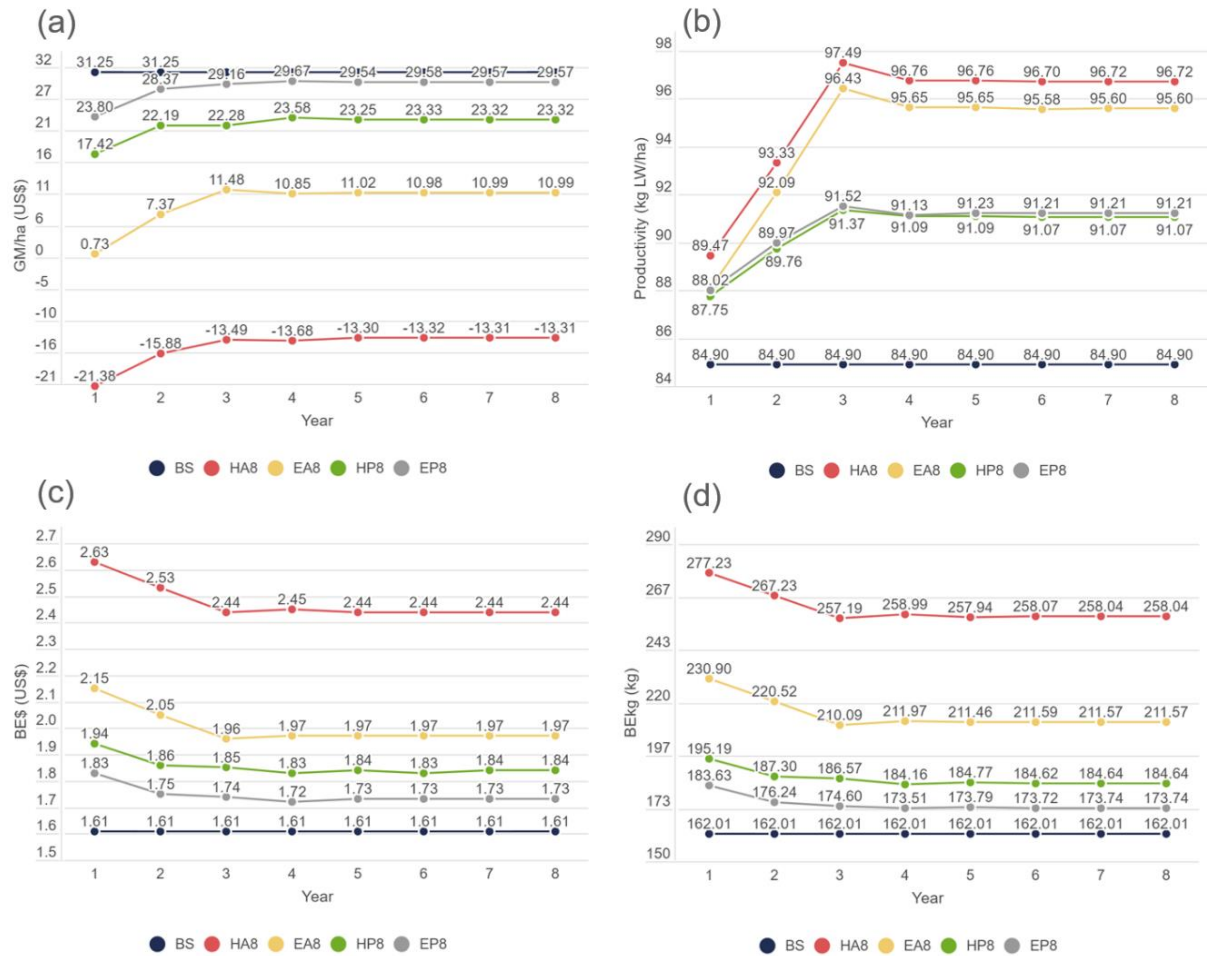
<sup>A</sup>Heifers, primiparous and multiparous non-pregnant.

Regarding BEkg and BE\$, in Y1, the highest values were observed in scenarios with high weaning costs, such as HA1 and EA1. In Y2, both indicators were 3% lower compared to BS, following by fixed and variable cost reduction. However, none scenario could achieve the break-even only with calves production. In the BS, the BEkg was 10 kg higher than the average weight of calf weaned. Among SUA, the lower difference between BEkg and the average weight of calf produced was observed in EP1 (25 kg higher), followed by HP1 (37 kg higher). The highest values were observed in HA1 and EA1, in which BEkg was 109 kg and 59 kg, respectively, higher than their respective average calf live weights.

#### *Scenarios of successive application*

The economic indicators and productivity of SSA changed over time according to the variation in the number of calving, the herd structure, and the production costs (**Fig. 5**). All indicators stabilized in year seven (Y7), with higher GM/ha and productivity, beyond lower BEkg and BE\$, than those observed in Y1 of SUA. Nevertheless, such increases were not sufficient to achieve the economic results of the BS.

Furthermore, a higher number of heifer retention was required in all SSA, to maintain the average stocking rate of the system at 0.6 AU/ha. These females were included into the one-year-old heifer category in Y1, mated in Y2, and calved in Y3. The largest number of dams was observed in Y2, and the largest herd was observed in EA8 (807, followed by HA8 (803), HP8 (773), and EP8 (771). Stability was achieved in A7 when the largest number of dams was observed in EA8 (795), followed by HA8 (793), HP8 (768), and EP8 (767).



**Fig. 5:** Gross margin per hectare (a), productivity in kilograms of live weight per hectare (b), financial break-even (c) and physical break-even (d) of base scenario (BS) and scenarios of successive application of hyper-early weaning in all cows (HA8), early in all cows (EA8), hyper-early in primiparous (HP8) and early in primiparous (EP8) until the year of stabilization of the indicators.

In Y1, the lowest values of GM/ha were observed in all SSA. Moreover, we observed the highest costs with nutritional supplementation for the rearing of replacement heifers in Y1, and the highest values of BEkg and BE\$ during the entire period. The highest amplitude of GM/ha, between the years, occurred in the scenario EA8 in Y1 that was 93% lower than year 8 (Y8), and the lowest at the EP8 in Y1 that was 19% lower than Y8.

The highest GM/ha among SSA was observed in year 4 (Y4) of EP8. In this year, the lowest calf production costs occurred in both, EP8 (\$ 261,89) and HP8 (\$ 277,92), in addition to the lowest proportion of primiparous in herd structure than the entire period simulated. The EA8 scenario had its GM/ha peak in Y3, followed by the lowest calf production cost (\$ 316,22) and the highest productivity of the entire period. In HA8, the highest GM/ha was observed in year 5 (Y5), although the lowest calf production cost was observed in Y3 (\$ 386,86). As a result of an increase in the multiparous and primiparous cows' numbers compared to other categories, the cost per total kilogram sold (culling cows, heifers, and calves) in Y5 was the lower of the entire period.

The highest productivity occurred in Y3 with a higher number of calves weaned for all scenarios. The HA8 scenario presented the highest increase in productivity, and the stability was achieved when values were 14% higher compared to BS. Furthermore, the lowest increase in productivity was observed in HP8, and the stability was achieved when values were 7% higher compared to BS.

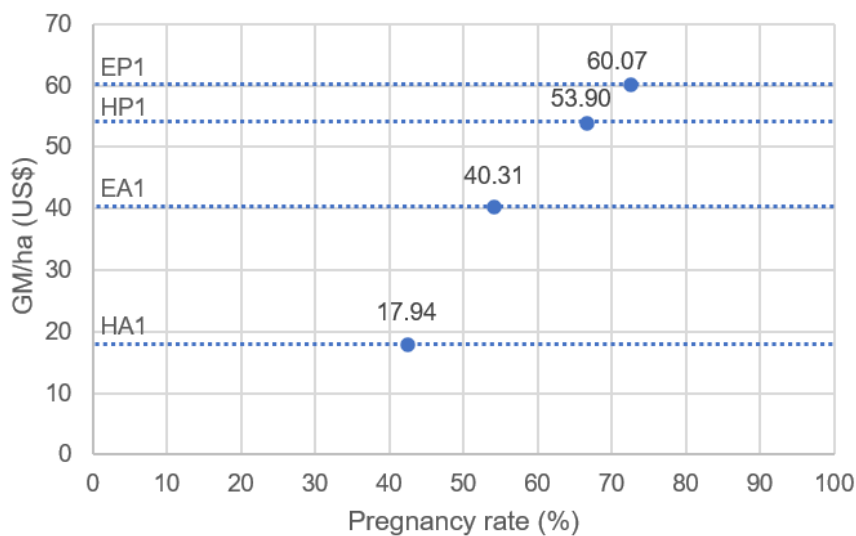
The lowest BEkg and BE\$ occurred in different years for each scenario, in Y3 for HA8 and EA8, and in Y4 for HP8 and EP8. The lowest difference between BEkg and the average weight of calves' production was observed in EP8, and stability was achieved with BEkg 20 kg higher compared to the average weight of calves. The HP8 and EA8 scenarios were stabilized at BEkg 31 kg and 50 kg, respectively, higher than the average weight of calves. The highest BEkg difference was observed in HA8, which, in the stabilization year (Y7), showed an increase of 99 kg compared to the average weight of calves.

### Scenarios with lower pregnancy rates

The simulation of the SLP demonstrated which reduction in pregnancy rate would be necessary for each SUA to be economically advantageous (**Fig. 6**). In **Table 7**, we demonstrated the variation in the pregnancy rates of the SUA, SAS, and BS over the simulated years.

The SLP compared to EP1, showed that it would be economically attractive when the pregnancy rate was 72.6% or less. On the other hand, the HP1 application would be advantageous when the pregnancy rate was equal to or less than 66.7%.

Furthermore, EA1 and HA1 demonstrated that the pregnancy rate should be reduced to at least 54.1% and 42.3%, respectively, in order to have their application justified.



**Fig. 6:** Gross margin per hectare (GM/ha) accumulated (year Y1 and Y2) as a function of pregnancy rate, in conventional weaning, and the scenario of unique application that presented the corresponding gross margin per hectare (HA1 = hyper-early weaning in all cows in year 1; EA1 = early weaning in all cows in year 1; HP1 = hyper-early weaning in primiparous in year 1; EP1 = early weaning in primiparous in year 1).

**Table 7.** Pregnancy rate (%) of the herd of all scenarios, during eight years of simulation.

BS, Conventional weaning in all cows; HA1, Hyper-early weaning in all cows in year 1; EA1, Early weaning in all cows in year 1; HP1, Hyper-early weaning in primiparous in year 1; EP1, Early weaning in primiparous in year 1; HA8, Hyper-early weaning in all cows by 8 years; EA8, Early weaning in all cows by 8 years; HP8, Hyper-early weaning in primiparous by 8 years; EP8, Early weaning in primiparous by 8 years.

Year	BS	HA1	EA1	HP1	EP1	HA8	EA8	HP8	EP8
1	75	89	89	78	78	89	89	78	78
2	75	75	75	75	75	88	88	77	77
3	75	75	75	75	75	90	89	78	78
4	75	75	75	75	75	89	89	77	77
5	75	75	75	75	75	89	89	78	77
6	75	75	75	75	75	89	89	78	77
7	75	75	75	75	75	89	89	78	77
8	75	75	75	75	75	89	89	78	77

## Discussion

The simulation model proposed in our study was submitted to successive verification and testing processes (Gilstrap, 1991), which demonstrated that its behavior was consistent with predecessors. Furthermore, it proved to be valid to representing the productive and economic reality of cow-calf systems (Sørensen, 1990), since it was able to generate similar results to those observed in previous studies with similar inputs (Oaigen et al., 2009; Nasca et al., 2015; Mulliniks et al., 2013).

The conventional weaning system from which the model was created, called BS, and the simulated scenarios, generate productive results similar to those observed in studies with real production systems and simulation models (Oaigen et al., 2009; Nasca et al., 2015; Sessim, 2016). The productive sub-model replicated the dynamic changes in herd structure from the increase in reproductive rates in beef cattle systems, in accordance with other authors (Romera et al., 2006; Viet et al., 2013).



Moreover, productive and economic sub-models were able to perceive the alterations that were generated by the weaning technologies applied and reflect the dynamic of the results reported in the literature (Blanco et al., 2009; Mulliniks et al., 2013). Therefore, the assessment performed in an integrated and systemic approach demonstrates to be adequate for technologies analysis, being able to establish the impact of its use on the production system (Ash et al., 2015).

Economic results of all scenarios that weaning age reduction decision was applied, whether for one year or eight subsequently years, were inferior to the economic results of BS. These results differ from previous studies on similar production systems (Oaigen et al., 2009; Vaz et al., 2014). However, some differences between data analyses may explain such divergences, either by considering only calves sale as revenue (Oaigen et al., 2009) or because they are compared only to systems in which the pregnancy rate was lower than 50% (Vaz et al., 2014). Culled cows are an important revenue component of production systems in Brazil, as the females slaughter represented 41% of total cattle slaughtered in 2019 (IBGE, 2019), therefore, this category was included in all scenarios. Furthermore, the SUA, in exception of HA1, generated economic results higher to the conventional systems with a pregnancy rate lower than 50%.

Bioeconomic efficiency assessments of production systems in the Rio Grande do Sul State demonstrated that farms with pregnancy rates around 79% were considered highly efficient, while those of intermediate efficiency presented 73% (Canozzi et al., 2019). In systems similar to BS, the generalized application of technologies that improve pregnancy rate does not necessarily transform the increase of production into an increase in profitability (Niethe & Holmes, 2008). However, on conditions that cause a production decrease, such as prolonged

drought, the use of weaning age reduction is an effective strategy to mitigate losses (Rasby, 2007). In addition, this technology is efficient to reduce the postpartum anestrus interval (Lusby et al., 1981), which is the main factor to increase reproductive efficiency with a direct impact on the production of cow-calf systems (Lynch et al., 2020).

The productive increase generated by W30 and W75 in our study corroborates with previous reports that showed a greater live weight gain of cows without detriment to calves (Myers et al., 1999; Blanco et al., 2009), beyond a lower percentage of culling by reproductive failures (Story et al., 2000). These production indicators changes induce a herd structure remodeling (Naazie et al., 1999) which, by reducing involuntary culling, allowed to retain or sell more females of different categories according to beef cattle market opportunities (Niethe & Holmes, 2008).

Adjustments in herd structure had a more significant impact on the SSA, whose revenue from cows sale and production costs changed according to the females composition of each year. In SUA, change in herd composition was not as significant as in SSA, since W30 and W75 were applied only in Y1. However, weaning anticipation allowed an increase in cow live weight, which was the main responsible for productivity increase observed in Y1, since the increase of weaned calves only occurred in Y2.

Besides changing the composition of dams categories, the weaning age reduction also altered the herd total weight, due to the increase of cows live weight, which can cause changes in stocking rates (Pravia et al., 2014). The period which calves submitted to W30 e W75 spent in feedlot and cultivated pasture with concentrate supplementation was responsible for reducing the stocking rate in the entire system, even with herd total weight gain. Our data showed a reduction in the stocking rate of

all SUA, which allowed the intensification applied in SSA. However, this reduction has not been proportional to feedlot time, since HA8, by the higher weight of cows, retained fewer females than EA8. These features must be considered in the decision of which scenario may be selected to use, either with the objective of system intensification or to adjust the stocking rate in adverse weather conditions (Dieguez Cameroni et al., 2014).

Another relevant point to be evaluated by the farm manager, beyond the technology implementation costs, is the interaction of the production increment and the total costs of the system. Our findings corroborate with Nasca et al. (2015) who demonstrate that feeding is the main component of total costs. When weaning technologies are applied, the feed costs increase which raises the total costs (Blanco et al., 2009), despite reducing fixed costs by the increase of productivity. In the studied scenarios, the increase in feed costs occurred not only by the application of W30 or W75 management, but also due to higher consumption of mineral by cows, to the higher body weight accomplish, and to the greater number of retained heifers that increased costs feed for rearing in SSA. Although these components have less participation than weaning costs in the total cost formation, they contribute to its increases.

The weaning costs described by this study were similar to those observed by other authors (Mulliniks et al., 2013; Weiss & Balda, 2013). Since feed is the most leading variable of these costs, reducing this value would have a beneficial impact on the economic result, turning these techniques more attractive (Blanco et al., 2009). Moreover, some agricultural residues with high availability in the region can provide adequate quality of nutrients at a reduced price (Ash et al., 2015). Therefore, the inclusion of agricultural residues in the diet and adjusted to the calf's development

period, could reduce the cost of weaning and make different scenarios, such as HA8 and HA1, economically viable.

Beyond knowledge of production costs and their composition, the manager must also be aware of the moment, through analysis of cash flow, when these costs will affect the production system (Tester et al., 2019). In SUA, the GM/ha is reduced in the first year, by increasing costs and reaching a negative value in the case of HA1. However, in the second year, GM/ha rises to values higher than Y1, due to the increased production and reduced costs. In addition, in the SSA, this variation can be observed when the GM/ha is lower in the first two years than in the following years, which occurred by an increase in feed costs for replacement heifers. Therefore, financial management tools are necessary to decide the adoption of new technologies (Canozzi et al., 2019), allowing the manager to anticipate moments of a monetary deficit and adequate the system to not collapse.

Our study evaluated the production system and its economic results as a whole, contrarily to other studies that the economic evaluation was focused only on calves production (Story et al., 2000; Grings et al., 2005). This approach is essential to understand the consequences of using any technology in livestock production regardless of where it is applied (Ash et al., 2015). In cow-calf systems similar to the model presented here, this type of assessment becomes even more relevant, since the females sold are a substantial part of the income and without a systemic approach the analysis could not represent the reality.

The circumstances of culled cow appreciation in Brazil are different from other countries and it is a relevant factor in the comparison to other systems. In the North American beef cattle market, in 2014, the kilogram of the culled cow was 60% lower than the kilogram of the calf (Tester et al., 2019). In contrast, in the region where our

study was performed, this difference was only 22% (NESPro, 2020). This situation may have influenced the present results, since, even selling more calves and applying the same rate of culling cows, the SUA and SSA showed lower economic result than BS. It is possible that SUA and SSA are benefited from the conditions when the calf price is higher and the cow price is lower compared to data from this study. In this case, it would be favorable to reduce the sale of pregnant cows to further increase the volume of calves in the following year.

In a study evaluating different culling politics and market conditions, Niethe & Holmes (2008) found that when the heifer price is lower than the culled cow, an aggressive culling politics, such as the sale of part of pregnant cows in addition to non-pregnant cows, could be more profitable as long as the pregnancy rate supports this decision. In addition, Tesler et al. (2019) argue that the adjustment in herd structure and size, through increased retention or culling, is more profitable, when based on market analysis and strategies for anticipating price trends. Therefore, herds that adapt their structure to the beef market cyclical behavior tend to have greater profits in the long-term (Lawrence, 2002). However, it is known that several factors affect this cycle, such as climatic phenomena that cause variations in production, supply changes of animals on the market, and the behavior of beef cattle prices (Pereira et al., 2018).

Thus, the adoption of technologies to promote rapid recovery of production and reconstruction of herd structure must be considered when an unexpected weather condition or suddenly changes in culling politics occur (Ash et al., 2015). This capacity was proved in SUA, since, after the increase in pregnancy and, in the following year, in calves production, a return to stability was observed already in the third year, which proves the resilience of these scenarios (Viet et al., 2013). This

resilience demonstrates its potential of the application, both with the aim to take advantage of certain market conditions, and to reverse potential losses caused by weather situations (Niethé & Holmes, 2008).

Considering the possibility of reduction on production rates, the comparison between SLP and SUA brings relevant information for decision making. Based on body condition score (BCS) at calving, it is possible to estimate the BCS at breeding, taking into account the losses caused by lactation if no intervention occurs, and, thus, to estimate the expected pregnancy rate of the herd (Lynch et al., 2020). The pregnancy rate that turns each scenario attractive (SLP) can be used to decide which scenario is more adequate. Therefore, after defining the scenario, the manager must analyze the cash-flow and confront it with the short- and long-terms benefits in order to make a safer decision (Carmel, 2008).

However, the data shown here must be used with caution and should be analyzed regarding specific conditions of the location where a scenario will be implemented, as well as any other technology. Since every production system is influenced by external factors (Turner et al., 2013), that differ between periods and regions, the decision to apply these scenarios without considering specific factors, such as the location and period, may generate different results from those observed in this report.

## **Conclusion**

The use of hyper-early weaning only in primiparous and early weaning in all cows or only in primiparous are economically viable. Furthermore, these types of weaning are able to mitigate economic losses caused by different levels of reduction in pregnancy rate on cow-calf systems that use conventional weaning, a common situation in years of abnormal weather events. In this sense, when the expectation is

a considerable reduction in pregnancy rate, early weaning in all cows is recommended, as it promotes a marked decrease in the system stocking rate and it's economically viable. However, faced with the expectation of a mild reduction in pregnancy rate, early weaning only in primiparous is the most appropriate alternative, since the reduction in stocking rate is less pronounced and the economic results are higher than others, due to lower costs.

The anticipation of weaning performed in sequential years allows the growth of a herd and an increase of productivity, which demonstrates its effectiveness as a tool for system intensification. Therefore, it is an alternative for systems that intend to increase the number of dams, or which operate with a high stocking rate and seek to increase production, without a herd reduction or a land increase. However, gross margin and production costs fluctuate according to the dynamics of the herd, and adequate cash-flow management is necessary, so that system can resist periods of increased costs until it achieves stability.

### **Conflict of interest**

The authors declare that there is no conflict of interest in the research.

### **Acknowledgments**

This research was made possible with funding from National Council for Scientific and Technological Development (CNPQ – protocol 31277/2018-4), Research Support Foundation of the State of Rio Grande do Sul (FAPERGS – protocol 17/2551-0001277-1) and from Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (CAPES).

### **References**

ANDERSON, R. V. et al. An evaluation of production and economic efficiency of two

beef systems from calving to slaughter. *Journal of Animal Science*, v. 83, n. 3, p. 694–704, 2005. Available in: <https://doi.org/10.2527/2005.833694x>

ANUALPEC. Anuário da Pecuária Brasileira. São Paulo: Informa Economics FNP, 2018

ASH, A. et al. Boosting the productivity and profitability of northern Australian beef enterprises: Exploring innovation options using simulation modeling and systems analysis. *Agricultural Systems*, v. 139, p. 50–65, 2015. Available in: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2015.06.001>

BARCELLOS, J. O. J. et al. Taxas de prenhez em novilhas de corte acasaladas aos 18 e 24 meses de idade. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 58, n. 6, p. 1168–1173, 2006. Available in: <https://doi.org/10.1590/S0102-09352006000600028>

BERGER, H. et al. Feedbase intervention in a cow-calf system in the flooding pampas of Argentina: 2. Estimation of the marginal value of additional feed. *Agricultural Systems*, v. 158, p. 68-77, 2017. Available in: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2017.09.004>

BLANCO, M. et al. Effects of early weaning breed on calf performance and carcass and meat quality in autumn-born bull calves. *Livestock Science*, v. 120, p. 103-115, 2009. Available in: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2008.05.003>

CANOZZI, M. E. A. et al. Typology of beef production systems according to bioeconomic efficiency in the south of Brazil. *Ciência Rural*, v. 49, n.10, p. 1-9, 2019. Available in: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20190030>

CARMEL, J. But is it myopia? Risk aversion and the efficiency of stock-based managerial incentives. *Journal of Economics and Management Strategy*, v. 17, n. 2, p. 541-579, 2008. Available in: <https://doi.org/10.1111/j.1530-9134.2008.00186.x>

COSTA, M. S.; LIBONATI, J. J.; RODRIGUES, R. N. Conhecimentos sobre particularidades da contabilidade rural: Um estudo exploratório com contadores da região metropolitana de recife. *Contexto*. v. 4, n. 7, 2004. Available in: <https://seer.ufrgs.br/ConTexto/article/view/11275>

DIEGUEZ CAMERONI, F. J. et al. Virtual experiments using a participatory model to explore interactions between climatic variability and management decisions in extensive grazing systems in the basaltic region of Uruguay. *Agricultural Systems*. v. 130, p. 89-104, 2014. Available in: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2014.07.002>

EVANGELISTA, G. T. et al. Key factors influencing the sale of bulls in livestock auctions. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, v. 10, n. 3, p. 610–622, 2019. Available in: <https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i3.4609>

Fundação Getúlio Vargas (FGV). Índice Geral de Preços - Disponibilidade interna (IGP-DI), 2020. Available in: <https://portalibre.fgv.br/press-releases> (accessed on March 30, 2020)

GILSTRAP, L. Validation and verification of expert systems. *Telematics and Informatics*. v. 8, n. 4, p. 439-448, 1991. Available in: [https://doi.org/10.1016/S0736-5853\(05\)80064-4](https://doi.org/10.1016/S0736-5853(05)80064-4)

GRINGS, E. E. et al. Calving system and weaning age effects on cow and



preweaning calf performance in the Northern Great Plains. *Journal of Animal Science*, v. 83, n. 11, p. 2671–2683, 2005. Available in: <https://doi.org/10.2527/2005.83112671x>

HULBERT, L. E. et al. The effects of early weaning on innate immune responses of Holstein calves. *Journal of Dairy Science*. v. 94, p. 2545-2556, 2011. Available in: <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3983>

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Indicadores IBGE – Estatísticas da produção pecuária, 2019. Available in: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?id=72380&view=detalhes> (accessed on January 9, 2021)

LASTER, D. B.; GLIMP, H. A.; GREGORY, K. E. Effects of early weaning on postpartum reproduction of cows. *Journal of Animal Science*, v. 36, n. 4, p. 734-740, 1973. Available in: <https://doi.org/10.2527/jas1973.364734x>

LAWRENCE, J. D. Profiting from the Cattle Cycle: Alternative Cow Herd Investment Strategies. Ames: Iowa State University, BeefReports, 2002. Available in: [http://lib.dr.iastate.edu/beefreports\\_2001/19](http://lib.dr.iastate.edu/beefreports_2001/19)

LÓPEZ-GONZÁLEZ, F. A. et al. Intensification of cow-calf production: How does the system respond biologically to energy inputs in a long-term horizon? *Livestock Science*, v. 237:104058, 2020. Available in: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104058>

LUSBY, K. S.; WETTEMANN, R. P.; TURMAN, E. J. Effects of Early Weaning Calves from First-Calf Heifers on Calf and Heifer Performance. *Journal of Animal Science*, v. 53, n. 5, p. 1193–1197, 1981. Available in: <https://doi.org/10.2527/jas1981.5351193x>

LYNCH, R. et al. Development and evaluation of a dynamic simulation model of reproductive performance in pasture based suckler beef systems. *Agricultural Systems*, v. 182:102797, 2020. Available in: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102797>

MENEGASSI, S. R. O. et al. Impacto bioeconômico do exame andrológico de touros em sistemas de cria. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 40, n. 2, p. 441–447, 2011. Available in: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982011000200028>

MERTENS, DR (1992) Regulation of forage intake. In 'Regulation of forage intake'. (Eds GC Fahey Jr.) pp. 450-493. (American Society of Agronomy: Madison) Available in: <https://doi.org/10.2134/1994.foragequality.c11>

MONJE, A. et al. Destete a los 30 días: Una opción tecnológica únicamente para condiciones de sequía? 2004. Available in: <https://www.produccion-animal.com.ar>

MULLINIKS, J. T.; WATERMAN, R. C.; GEARY, T. W. Economics of early weaning in northern great plains beef cattle production system. *Agricultural Sciences*, v. 04, n. 05, p. 219–223, 2013. Available in: <https://doi.org/10.4236/as.2013.45031>

MYERS, S. E. et al. Comparison of three weaning ages on cow-calf performance and steer carcass traits. *Journal of Animal Science*, v. 77, n. 2, p. 323–329, 1999. Available in: <https://doi.org/10.2527/1999.772323x>

NAAZIE, A.; MAKARECHIAN, M.; HUDSON, R. J. Evaluation of life-cycle herd efficiency in cow-calf systems of beef production. *Journal of Animal Science*. v. 77, p.

1-11, 1999. Available in: <https://doi.org/10.2527/1999.7711>

NASCA, J. A. et al. Efficiency and stability in subtropical beef cattle grazing systems in the northwest of Argentina. *Agricultural Systems*, v. 133, p. 85–96, 2015. Available in: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2014.10.014>

National Research Council (NRC). *Nutritional Requirements of Beef Cattle*. Update (2000), Sétima edição revisada. Washington, DC: National Academy Press (1996).

NIETHE, G. E.; HOLMES, W. E. Modelled female sale options demonstrate improved profitability in northern beef herds. *Australian Veterinary Journal*, v. 86, n. 12, 2008. Available in: <https://doi.org/10.1111/j.1751-813.2008.00366.x>

Núcleo de Estudos em Sistemas de Produção de Bovinos de Corte e Cadeia Produtiva (NESPro). Histórico de índices, 2020. Available in: [http://www.ufrgs.br/nespro/historico\\_indices.php](http://www.ufrgs.br/nespro/historico_indices.php) (accessed on March 30, 2020)

OAIGEN, R. P. et al. Análise da sensibilidade da metodologia dos centros de custos mediante a introdução de tecnologias em um sistema de produção de cria. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 38, n. 6, p. 1155–1162, 2009. Available in: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009000600025>

PANG, H. et al. Structure of a dynamic simulation model for beef cattle production systems. *Canadian Journal of Animal Science*, v. 79, n. 4, p. 409–417, 1999. Available in: <https://doi.org/10.4141/A99-020>

PEREIRA, P. R. R. X. *et al.* Climate changes and beef supply chain in southern Brazil. *The Journal of Agricultural Science*, v. 156, p. 731-758, 2018. Available in: <https://doi.org/10.1017/S0021859618000667>

PRAVIA, M. I. *et al.* Identification of breeding objectives using a bioeconomic model for a beef cattle production system in Uruguay. *Livestock Science*, v. 160, p. 21-28, 2014. Available in: <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2013.12.006>

Programa de Disseminação de Estatísticas do Trabalho (PDET). Ministério do Trabalho, 2020. Available in: <http://pdet.mte.gov.br/> (accessed on March 30, 2020)

RASBY, R. Early Weaning Beef Calves. *Veterinary Clinics of North America - Food Animal Practice*, v. 23, n. 1, p. 29–40, 2007. Available in: <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2007.01.002>

Receita Federal do Brasil (RFB). Ministério da Economia, 2019. Available in: <http://receita.economia.gov.br/orientacao/tributaria/auditoria-fiscal/planilha-vtn-2019.pdf> (accessed on March 30, 2020)

ROMERA, A. J. et al. The influence of replacement policies on stability of production in a simulated cow-calf farm system. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, v. 49, n. 1, p. 35–44, 2006. Available in: <https://doi.org/10.1080/00288233.2006.9513691>

SESSIM, A. G. Análise Econômica De Sistemas De Produção De Bovinos De Corte Na Região Do Pampa Do Rio Grande Do Sul. Dissertação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 76, 2016. Available in: <http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/140818/000991528.pdf?sequence=1>

- SESSIM, A. G. et al. Efficiency in cow-calf systems with different ages of cow culling. *Frontiers in Veterinary Science*, v. 7:476, 2020. Available in: <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00476>
- SHORT, R. E.; ADAMS, D.C. Nutritional and hormonal interrelationships in beef cattle reproduction. *Canadian Journal of Animal Science*, v. 68, p. 29-39, 1988. Available in: <https://doi.org/10.4141/cjas88-003>
- SHORT, R. E. et al. Physiological mechanisms controlling anestrus and infertility in postpartum beef cattle. *Journal of Animal Science*, v. 68, n. 3, p. 799–816, 1990. Available in: <https://doi.org/10.2527/1990.683799x>
- SIMÕES, M. R. S. et al. Breeding objectives of Brangus cattle in Brazil. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, v. 137, n. 2, p. 177–188, 2020. Available in: <https://doi.org/10.1111/jbg.12415>
- SILVEIRA, V. C. P. et al. Qualidade da pastagem nativa por diferentes métodos de amostragem e em diferentes solos na Apa do Ibirapuitã, Brasil. *Ciência Rural*, v. 35, n. 3, p. 582-588, 2005. Available in: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782005000300014>
- SØRENSEN, J. T. Validation of livestock herd simulation models: a review. *Livestock Productions Science*, v. 26, p. 79-90, 1990. Available in: [https://doi.org/10.1016/0301-6226\(90\)90058-E](https://doi.org/10.1016/0301-6226(90)90058-E)
- STORY, C. E. et al. Age of calf at weaning of spring-calving beef cows and the effect on cow and calf performance and production economics. *Journal of Animal Science*, v. 78, n. 6, p. 1403–1413, 2000. Available in: <https://doi.org/10.2527/2000.7861403x>
- TEIXEIRA, O. S. Idade ao desmame em bezerros: Respostas comportamentais, imunológicas e de desempenho. Tese. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 134, 2020.
- TESTER, C. A. *et al.* Impact of weather and herd size management on beef cow profitability. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, p. 1-23, 2019. Available in: <https://doi.org/10.1017/aae.2019.13>
- TURNER, B. L. et al. Analyzing ranch profitability from varying cow sales and heifer replacement rates for beef cow-calf production using system dynamics. *Agricultural Systems*, v. 114, p. 6–14, 2013. Available in: <https://doi.org/10.1016/j.agry.2012.07.009>
- VAZ, R. Z.; LOBATO, J. F. P.; RESTLE, J. Productivity and efficiency of cow herds submitted to two weaning ages. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 39, n. 8, p. 1849-1856, 2010. Available in: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010000800030>
- VAZ, R. Z.; LOBATO, J. F., RESTLE, J. Analysis of economic efficiency of breeding systems with different weaning ages of calves. *Bioscience Journal*, v. 30, n. 6, p. 1837-1845, 2014.
- VIET, A. F., et al. Resilience of a beef cow-calf farming system to variation in demographic parameters. *Journal of Animal Science*, v. 91, p. 413-424, 2013. Available in: <https://doi.org/10.2527/jas2011-5058>
- WEISS, S.; BALDA, S. Destete Hiperprecoz: Seguimineto, evaluación y resultado de la técnica. 2013. Available in: <https://www.produccion-animal.com.ar>

WINTER, K. A. Comparative performance and digestibility in dairy calves weaned at three, five, and seven weeks of age. *Canadian Journal of Animal Science*, v. 65, p. 445-450, 1985. Available in: <https://doi.org/10.4141/cjas85-052>

### **CAPÍTULO III**

## Considerações finais

A tomada de decisão, em sistemas de produção de bovinos de corte, é um processo complexo, uma vez que a realização de uma ação, mesmo que pontual no tempo ou restrita a um segmento do sistema, pode trazer repercussões generalizadas e com efeitos observados no futuro. Por isso, avaliações como a do presente trabalho, realizadas por uma abordagem sistêmica, são adequadas para definir a viabilidade da utilização de uma tecnologia, ou mesmo em que condições ela pode ser vantajosa.

A hipótese de que a utilização de W30 e W75 seria economicamente viável foi parcialmente comprovada, uma vez que, dos cenários estudados, apenas a aplicação de W30 em todas as vacas não é viável economicamente, devido aos elevados custos com a alimentação dos bezerros. No entanto, mesmo não sendo viável, é um cenário capaz de mitigar prejuízos causados por reduções severas na taxa de prenhez. Para situações de reduções brandas na taxa de prenhez, os demais cenários poderiam ser indicados. O que nos mostra que, do ponto de vista econômico, a decisão de utilizar o W30 ou W75 deve ser condicionada ao grau de redução na taxa de prenhez, além da realização da projeção do fluxo de caixa incorporando os custos com desmame. Essas informações, somadas ao conhecimento técnico da disponibilidade de alimento e da resposta da vaca à redução na demanda nutricional, causada pelo desmame, são elementos fundamentais para a tomada de decisão.

Além disso, por meio da metodologia utilizada, foi possível gerar informações temporais que também agregam no processo da tomada de decisão, demonstrando as diversas modificações que o sistema sofre ao longo do tempo. As modificações demonstradas na estrutura do rebanho, nos valores e na composição dos custos de produção, das receitas e da produtividade geram oportunidades para a aplicação dessas tecnologias com os mais diversos objetivos. Ademais, foram identificados os pontos que devem ser trabalhados para tornar as tecnologias mais atrativas, como a redução dos custos com alimentação destinada ao desmame através da utilização de alimentos de menor custo.

Ainda, foi comprovada a hipótese de que é possível intensificar o sistema por meio do W30 ou W75. No entanto, essa capacidade de intensificação não está apenas relacionada ao período em que os bezerros passam em confinamento ou em pastagem, mas também à variação de peso do rebanho em resposta a esse período. Fato esse demonstrado pelo cenário com W75 em todas as vacas que permitiu a maior

elevação do número de animais, apesar de não ser o cenário em que os bezerros passam por maior período de confinamento.

Por fim, deve-se salientar que os resultados aqui apresentados são dependentes das entradas utilizadas, constituídas de pressupostos, assim como ocorre em todos os sistemas reais ou simulados a partir de modelos. Portanto, quando extrapolados os resultados para outros sistemas de produção, deve-se atentar para as características específicas do sistema e da região. Com entradas semelhantes, os resultados serão próximos aos do presente estudo. Com entradas diferentes, cabe a aplicação delas no modelo aqui apresentado, para que se possa obter resultados ajustados à realidade dessas entradas.

Além disso, novos estudos incorporando variáveis estocásticas ao modelo, como preços de insumos e da venda de animais, poderiam contemplar maior diversidade de sistemas de produção e condições de mercado. Dessa forma, seria possível expandir ainda mais o entendimento sobre o comportamento do sistema frente à aplicação da redução da idade ao desmame.

## Referências

- AGUIAR, A. B. Orientação temporal dos gestores: potenciais dimensões e significados. **Revista Universo Contábil**, Blumenau, v. 7, n. 4, p. 6-21, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.4270/ruc.2011428>. Acesso em: 13 jul. 2020.
- AGUIAR, A. B.; FREZATTI, F. Efeito direto e interativo do período de avaliação sobre a orientação temporal dos gestores. **Revista de Administração (São Paulo)** São Paulo, v. 48, n. 1, p. 67-79, 2013. Disponível em: <https://doi.org/0.5700/rausp1074>. Acesso em: 13 jul. 2020.
- ALFORMA, A. M. P. *et al.* Parâmetros reprodutivos de vacas de corte submetidas ao desmame hiperprecoce. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE REPRODUÇÃO ANIMAL, 23., 2019, Gramado. **Anais [...]**. Belo Horizonte: Colégio Brasileiro de Reprodução Animal, 2019. p. 449.
- ALENCAR, M. M. *et al.* Comparação de diferentes equações para caracterizar a curva de lactação em bovinos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 24, p. 530-541, 1995.
- ALMEIDA, L. S. P. *et al.* Data de desmame e desempenho reprodutivo de vacas de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 31, p. 1223-1229, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982002000500019>. Acesso em: 10 maio 2019.
- AMER, P. R. *et al.* A bioeconomic model for comparing beef cattle genotypes at their optimal economic slaughter end point. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 72, n. 1, p. 38–50, 1994. Disponível em: <https://doi.org/10.2527/1994.72138x>. Acesso em: 15 nov. 2019.
- ANDERSON, R. V. *et al.* An evaluation of production and economic efficiency of two beef systems from calving to slaughter. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 83, n. 3, p. 694–704, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.2527/2005.833694x>. Acesso em: 5 ago. 2020.
- ARTHINGTON, J. D.; KALMBACHER, R. S. Effect of early weaning on the performance of three-year-old, first-calf beef heifers and calves reared in the subtropics. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 81, n. 5, p. 1136–1141, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.2527/2003.8151136x>. Acesso em: 5 jun. 2019.
- ASH, A. *et al.* Boosting the productivity and profitability of northern Australian beef enterprises: exploring innovation options using simulation modelling and systems analysis. **Agricultural Systems**, Barking, v. 139, p. 50–65, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2015.06.001>. Acesso em: 5 jun. 2019.
- BAUMGARD, L. H.; COLLIER, R. J.; BAUMAN, D. E. A 100-year review: regulation of nutrient partitioning to support lactation. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v.



100, n. 12, p. 10353–10366, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13242>. Acesso em: 5 jun. 2019.

BÉGUET, H. A. *et al.* Destete Hiper Precoz. Su influencia sobre el desarrollo de las papilas ruminales. *In*: ULLA, E. L.; REY, J. A. R. (org.). **Avances en la producción, vegetal y animal del noa 2009-2011**. San Miguel de Tucumán: [s.n.], 2011. (Producción Animal). p. 305-311.

BELASCO, E. J. *et al.* Probabilistic models of yield, price, and revenue risks for fed cattle production. **Journal of Agricultural and Applied Economics**, Lexington, v. 41, p. 91-105, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S1074070800002571>. Acesso em: 21 nov. 2020.

BERETTA, V.; LOBATO, J. F. P.; MIELITZ NETTO, C. G. A. Produtividade e eficiência biológica de sistemas pecuários de cria diferindo na idade das novilhas ao primeiro parto e na taxa de natalidade do rebanho no Rio Grande de Sul. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 30, n. 4, p. 1278–1286, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1516-35982001000500022>. Acesso em: 7 ago. 2019.

BLANCO, M. *et al.* Effects of early weaning breed on calf performance and carcass and meat quality in autumn-born bull calves. **Livestock Science**, Amsterdam, v. 120, p. 103-115, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2008.05.003>. Acesso em: 5 jun. 2019.

BOGGS, D. L. *et al.* Effects of milk and forage intake on calf performance. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 51, n. 3, p. 550-553, 1980. Disponível em: <https://doi.org/10.2527/jas1980.513550x>. Acesso em: 5 jun. 2019.

BONISOLI, L.; GALDEANO-GÓMEZ, E.; PIEDRA-MUÑOZ, L. Deconstructing criteria and assessment tools to build agri-sustainability indicators and support farmers' decision-making process. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 182, p. 1080-1094, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.055>. Acesso em: 7 ago. 2020.

BOSSIS, I. *et al.* Nutritionally induced anovulation in beef heifers: ovarian and endocrine function preceding cessation of ovulation. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 77, n. 6, p. 1536–1546, 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.2527/1999.7761536x>. Acesso em: 5 jun. 2019.

CACHAPUZ, J. M. S. **Desmame aos 90 dias**: efeito da alimentação no desempenho de bezerros. Porto Alegre: Emater, 1991. 32 p.

CALEGARE, L. N. P. **Exigências e eficiência energética de vacas de corte nelore e de cruzamentos de *Bos Taurus* x Nelore**. 2004. 94 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

CARARETO, E. S. *et al.* Gestão estratégica de custos: custos na tomada de decisão. **Revista de Economia da Universidade Estadual de Goiás**, Anápolis, v. 2, n. 2, p. 1-24, 2006.

CARMEL, J. But is it myopia? Risk aversion and the efficiency of stock-based managerial incentives. **Journal of Economics and Management Strategy**, Cambridge, v. 17, n. 2, p. 541-579, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1530-9134.2008.00186.x>. Acesso em: 13 jul. 2020.

CATTELAM, J. Desmame precoce na produção de bovinos de corte. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 13, n. 2, p. 190-198, 2014.

CERDÓTES, L. *et al.* Desempenho de bezerros de corte filhos de vacas submetidas a diferentes manejos alimentares, desmamados aos 42 ou 63 dias de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 33, n. 3, p. 597-609, 2004.

CHAVAS, J. On the economics of agricultural production. **The Australian Journal of Agricultural and Resource Economics**, Oxford, v. 52, p. 365-380, 2008. Disponível em: <https://doi.org/0.1111/j.1467-8489.2008.00442.x>. Acesso em: 13 jul. 2020.

COSTA, M. S.; LIBONATI, J. J.; RODRIGUES, R. N. Conhecimentos sobre particularidades da contabilidade rural: um estudo exploratório com contadores da região metropolitana de recife. **ConTexto**, Porto Alegre, v. 4, n. 7, [p. 1-24], 2004. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/ConTexto/article/view/11275>. Acesso em: 15 set. 2019.

DICK, M.; SILVA, M. A.; DEWES, H. Lyfe cycle assesment of beef cattle production in two typical grassland systems of southern Brazil. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 96, p. 426-434, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.01.080>. Acesso em: 12 mar. 2020.

DRACKLEY, J. K. Calf nutrition from birth to breeding. **Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice**, Philadelphia, v. 24, n. 1, p. 55-86, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2008.01.001>. Acesso em: 5 jun. 2019.

FANNING, J.; MARSH, T.; JONES, R. Alternative replacement heifer investment strategies. **Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports**, Manhattan, n. 1, p. 131-134, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.4148/2378-5977.1747>. Acesso em: 12 mar. 2020.

FERREL, C. L.; JENKINS, T. G. Cow type and the nutritional enviroment: nutritional aspects. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 61, n. 3, p. 725-741, 1985. Disponível em: <https://doi.org/10.2527/jas1985.613725x>. Acesso em: 5 jun. 2019.

FIGUEIREDO, D. M. *et al.* Análise econômica de quatro estratégias de suplementação para recria e engorda de bovinos em sistema pasto-suplemento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 36, n. 5, p. 1443-1453, 2007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982007000600030>. Acesso em: 5 jun. 2019.

FINNERAN, E. *et al.* Stochastic simulation of the cost of home-produced feeds for ruminant livestock systems. **The Journal of Agricultural Science**, London, v. 150, p. 123-139, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S002185961100061X>.

Acesso em: 12 mar. 2020.

GALLI, I. *et al.* **Destete precoce em cría vacuna**. Buenos Aires: INTA, 2005. v. 2, p. 94.

GAMEIRO, A. H. Análise econômica aplicada à zootecnia: avanços e desafios. *In*: SANTOS, M. V. *et al.* (org.). **Novos desafios da pesquisa em nutrição e produção animal**. Pirassununga: Editora 5D, 2009. p. 1-31.

GARDINE, S. E. *et al.* Effects of cow-calf production system and postweaning management on calf performance. **Applied Animal Science**, New York, v. 35, n. 1, p. 66–73, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.15232/aas.2018-01785>. Acesso em: 5 jun. 2019.

GILSTRAP, L. Validation and verification of expert systems. **Telematics and Informatics**, New York, v. 8, n. 4, p. 439-448, 1991. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0736-5853\(05\)80064-4](https://doi.org/10.1016/S0736-5853(05)80064-4). Acesso em: 10 mar. 2020.

GITMAN, L. J. **Princípios de administração financeira**. 12. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010. 801 p.

GRINGS, E. E. *et al.* Calving system and weaning age effects on cow and preweaning calf performance in the Northern Great Plains. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 83, n. 11, p. 2671–2683, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.2527/2005.83112671x>. Acesso em: 5 jun. 2019.

GUIDUCCI, R. C. N. *et al.* Aspectos metodológicos da análise de viabilidade econômica de sistemas de produção. *In*: GUIDUCCI, R. C. N. *et al.* (org.). **Viabilidade econômica de sistemas de produção agropecuários: metodologia e estudos de caso**. Brasília, DF: Embrapa, 2012. cap. 1, p. 17–78.

HIROOKA, H. Systems approaches to beef cattle production systems using modeling and simulation. **Animal Science Journal**, Tokyo, v. 81, n. 4, p. 411–424, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1740-0929.2010.00769.x>. Acesso em: 10 maio 2019.

HOUGHTON, P. L. *et al.* Effects of body composition, pre- and postpartum energy level and early weaning on reproductive performance of beef cows and preweaning calf gain. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 68, n. 5, p. 1438–1446, 1990. Disponível em: <https://doi.org/10.2527/1990.6851438x>. Acesso em: 10 maio 2019.

JENKINS, T. G.; FERRELL, C. L.; ROBERTS, A. J. Lactation and calf weight traits of mature crossbred cows fed varying daily levels of metabolizable energy. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 78, n. 1, p. 7–14, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.2527/2000.7817>. Acesso em: 5 jun. 2019.

JOANDET, G. E.; CARTWRIGHT, T. C. Modelling beef production systems. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 41, n. 4, p. 1238-1246, 1975. Disponível em: <https://doi.org/10.2527/jas1975.4141238x>. Acesso em: 12 jun. 2020.

JULIEN, D. J.; TESS, M. W. Effects of breeding date, weaning date, and grazing season length on profitability of cow-calf production systems in southeastern Montana. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 80, n. 6, p. 1462–1469, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.2527/2002.8061462x>. Acesso em: 20 nov. 2020.

LAMPERT, V. N. *et al.* Modelling beef cattle production systems from the Pampas in Brazil to assess intensification options. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 77, n. 4, [art.] e20180263, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-992X-2018-0263>. Acesso em: 15 jun. 2020.

LASTER, D. B.; GLIMP, H. A.; GREGORY, K. E. Effects of early weaning on postpartum reproduction of cows. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 36, n. 4, p. 734-740, 1973. Disponível em: <https://doi.org/10.2527/jas1973.364734x>. Acesso em: 5 jun. 2019.

LAWRENCE, J. D. **Profiting from the cattle cycle**: alternative cow herd investment strategies. Ames: Iowa State University, 2002. (Beef Research Report, 2001). Disponível em: [http://lib.dr.iastate.edu/beefreports\\_2001/19](http://lib.dr.iastate.edu/beefreports_2001/19). Acesso em: 15 jun. 2020.

LOPES, M. A.; CARVALHO, F. M. **Custo de produção do gado de corte**. Lavras: UFLA, 2002. (Boletim Agropecuário, 47). Disponível em: <http://livraria.editora.ufla.br/upload/boletim/tecnico/boletim-tecnico-47.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2019.

LÓPEZ-GONZÁLEZ, F. A. **Avaliação bioeconômica de sistemas de cria de bovinos de corte intensificados com irrigação de pastagens**. 2018. 144 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

LÓPEZ-GONZÁLEZ, F. A. *et al.* Intensification of cow-calf production: how does the system respond biologically to energy inputs in a long-term horizon? **Livestock Science**, Amsterdam, v. 237, [art.] 104058, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104058>. Acesso em: 15 jun. 2020.

LORD, E. D. *et al.* Evaluating the expected value of beef reproduction strategies in an era of volatile feed and cattle prices. **Livestock Science**, Amsterdam, v. 174, p. 113–125, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.01.007>. Acesso em: 15 jun. 2020.

LUSBY, K. S.; WETTEMANN, R. P.; TURMAN, E. J. Effects of early weaning calves from first-calf heifers on calf and heifer performance. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 53, n. 5, p. 1193–1197, 1981. Disponível em: <https://doi.org/10.2527/jas1981.5351193x>. Acesso em: 5 jun. 2019.

MACKAY, W. S. *et al.* To Replace or not to replace: determining optimal replacement rates in beef cattle operations. **The Professional Animal Scientist**, Champaign, v. 20, n. 1, p. 87–93, 2004. Disponível em: [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)31277-8](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)31277-8). Acesso em: 20 set. 2019.

MAINERI, G. J. **Destete hiperprecoz y precoz para mitigar pérdidas en rodeos de cola de parición**. 2015. 34 f. Tesis (Grado de Veterinario) - Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Tandil, 2015.

MARTINS, E. **Contabilidade de custos**. 9 ed. São Paulo: Atlas, 2003. 262 p.

MCCOWN, R. L. Changing systems for supporting farmers' decisions: problems, paradigms, and prospects. **Agricultural Systems**, Barking, v. 74, p. 179-220, 2002. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(02\)00026-4](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(02)00026-4). Acesso em: 2 jul. 2019.

MERCIO, T. Z. **Análise econômica e de risco de sistemas integrados de produção agropecuária e de bovinocultura de corte**. 2017. 126 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

MONJE, A. *et al.* Destete a los 30 días: una opción tecnológica unicamente para condiciones de sequía? **Sítio Argentino de Produccion Animal**, Buenos Aires, p. 1-5, 2004.

MONJE, A.; VITTONI, S. El destete como herramienta de ajuste de carga. **Sítio Argentino de Produccion Animal**, Buenos Aires, p. 1-9, 2005.

MORENA, G. **Destete Hiperprecoz como herramienta para aumentar la productividad en rodeos de cría bajo condiciones de marginalidad**. 2008. 30 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Medicina Veterinária) – Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Tandil, 2008.

MULLINIKS, J. T.; WATERMAN, R. C.; GEARY, T. W. Economics of early weaning in northern great plains beef cattle production system. **Agricultural Sciences**, Irvine, v. 4, n. 5, p. 219–223, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.4236/as.2013.45031>. Acesso em: 10 maio 2019.

MYERS, S. E. *et al.* Comparison of three weaning ages on cow-calf performance and steer carcass traits. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 77, n. 2, p. 323–329, 1999a. Disponível em: <https://doi.org/10.2527/1999.772323x>. Acesso em: 10 maio 2019.

MYERS, S. E. *et al.* Production systems comparing early weaning to normal weaning with or without creep feeding for beef steers. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 77, n. 2, p. 300–310, 1999b. Disponível em: <https://doi.org/10.2527/1999.772300x>. Acesso em: 10 maio 2019.

NABINGER, C.; MORAES, A.; MARASCHIN, G. E. Campos in southern Brazil. *In*: LEMIRE, G. *et al.* (org.). **Grassland ecophysiology and grazing ecology**. Wallingford: CAB Internacional, 2000. p. 355-376.

NASCA, J. A. *et al.* Efficiency and stability in subtropical beef cattle grazing systems

in the northwest of Argentina. **Agricultural Systems**, Barking, v. 133, p. 85–96, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2014.10.014>. Acesso em: 5 ago. 2019.

NRC - NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutritional requirements of beef cattle**. 8th. rev. Washington, DC: National Academy Press, 2016. 234 p.

NARYANAN, M. P. Managerial incentives for short-term results. **The Journal of Finance**, New York, v. 40, n. 5, p. 1469-1484, 1985. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/2328125>. Acesso em: 13 jul. 2020.

NOGAMI, O. **Economia**. Curitiba: IESDE, 2012. 246 p.

OAIGEN, R. P. *et al.* Custos de produção em terneiros de corte: uma revisão. **Veterinária em Foco**, Canoas, v. 3, n. 2, p. 169-180, 2006.

OAIGEN, R. P. **Utilização do método dos centros de custos na pecuária de cria**. 2007. 112 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

OAIGEN, R. P. *et al.* Análise da sensibilidade da metodologia dos centros de custos mediante a introdução de tecnologias em um sistema de produção de cria. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 38, n. 6, p. 1155–1162, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009000600025>. Acesso em: 5 jun. 2019.

OAIGEN, R. P. *et al.* (org.). **Gestão na bovinocultura de corte**. Guaíba: Agrolivros, 2014. 157 p.

O'KEEFE, R. M.; O'LEARY, D. E. Expert system verification and validation: a survey tutorial. **The Artificial Intelligence Review**, Oxford, v. 7, p. 3-42, 1993. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/BF00849196>. Acesso em: 12 jul. 2020.

O'LOUGHLIN, A. *et al.* Biomarker responses to weaning stress in beef calves. **Research in Veterinary Science**, London, v. 97, n. 2, p. 458–463, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2014.06.003>. Acesso em: 5 jun. 2019.

OLIVEIRA, T. E. *et al.* Agricultural land use change in the Brazilian Pampa Biome: the reduction of natural grasslands. **Land Use Policy**, Guildford, v. 63, p. 394-400, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.02.010>. Acesso em: 5 jun. 2019.

OTERO, G. *et al.* Comportamiento reproductivo de vientres de cría destetados hiperprecozmente vs destete convencional. **Revista Argentina de Producción Animal**, Buenos Aires, v. 28, p. 237–302, 2008.

PANG, H. *et al.* Structure of a dynamic simulation model for beef cattle production systems. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v. 79, n. 4, p. 409–417, 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.4141/A99-020>. Acesso em: 5 jun. 2019.

PATE, F. M.; CROCKETT, J. R.; PHILLIPS, J. D. Effect of calf weaning age and cow

supplementation on cow productivity. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 61, p. 343-348, 1985. Disponível em: <https://doi.org/10.2527/jas1985.612343x>. Acesso em: 5 jun. 2019.

PEREIRA, P. R. R. X. *et al.* Climate changes and beef supply chain in southern Brazil. **The Journal of Agricultural Science**, London, v. 156, p. 731-758, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0021859618000667>. Acesso em: 11 fev. 2020.

PETERSON, G. A. *et al.* Cow and calf performance and economic considerations of early weaning of fall-born beef calves. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 64, p. 15–22, 1987. Disponível em: <https://doi.org/10.2527/jas1987.64115x>. Acesso em: 5 jun. 2019.

PICCINALI, R. L.; MONJE, A. R. Actividad sexual de vacas destetadas precozmente. **Sitio Argentino de Producción Animal**, Buenos Aires, p. 1-3, 2000.

PIDD, M. Why modelling and model use matter. **Journal of the Operational Research Society**, Oxford, v. 61, n. 1, p. 14–24, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1057/jors.2009.141>. Acesso em: 6 ago. 2019.

PIMENTEL, M. A. Características da lactação de vacas Hereford criadas em um sistema de produção extensivo na região da campanha do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 35, p. 159-168, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982006000100021>. Acesso em: 5 jun. 2019.

QUERESHI, M. E.; HARRISON, S. R.; WEGENER, M. K. Validation of multicriteria analysis models. **Agricultural Systems**, Barking, v. 62, p. 105-116, 1999. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(99\)00059-1](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(99)00059-1). Acesso em: 12 nov. 2020.

RAINERI, C.; ROJAS, O. A. O.; GAMEIRO, A. H. Custos de produção na agropecuária: da teoria econômica à aplicação no campo. **Empreendedorismo, Gestão e Negócios**, Pirassununga, v. 4, n. 4, p. 194–211, 2015. Disponível em: [http://www.fatece.edu.br/arquivos/arquivos\\_revistas/empreendedorismo/volume4/10.pdf](http://www.fatece.edu.br/arquivos/arquivos_revistas/empreendedorismo/volume4/10.pdf). Acesso em: 12 nov. 2020.

RASBY, R. Early Weaning Beef Calves. **Veterinary Clinics of North America - Food Animal Practice**, Philadelphia, v. 23, n. 1, p. 29–40, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2007.01.002>. Acesso em: 6 ago. 2019.

RESTLE, J. *et al.* Desenvolvimento de bovinos de corte de diferentes grupos genéticos desmamados aos 3 ou 7 meses de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 28, n. 5, p. 1023–1030, 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1516-35981999000500017>. Acesso em: 5 jun. 2019.

ROVIRA, J. **Manejo reproductivo de los rodeos de cría en pastoreo**. Montevideo: Hemisferio Sur, 1996. 288 p.

RUSHTON, J. (org.) **The economics of animal health and production**. Wallingford: CAB Internacional, 2009. 384 p.

SARTORELLO, G. L.; BASTOS, J. P. S. T.; GAMEIRO, A. H. Development of a calculation model and production cost index for feedlot beef cattle. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 47, [art.] e20170215, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/rbz4720170215>. Acesso em: 6 ago. 2019.

SCAGLIA, G. *et al.* Performance and economic analyses of year-round forage systems for forage-fed beef production in the gulf coast. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 92, n. 12, p. 5704–5715, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.2527/jas.2014-7838>. Acesso em: 14 set. 2019.

SESSIM, A. G. **Análise econômica de sistemas de produção de bovinos de corte na região do pampa do Rio Grande do Sul**. 2016. 76 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

SESSIM, A. G. *et al.* Efficiency in cow-calf systems with different ages of cow culling. **Frontiers in Veterinary Science**, Lausanne, v. 7, [art.] 476, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00476>. Acesso em: 15 nov. 2020.

SHORT, R. E.; ADAMS, D.C. Nutritional and hormonal interrelationships in beef cattle reproduction. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v. 68, p. 29-39, 1988. Disponível em: <https://doi.org/10.4141/cjas88-003>. Acesso em: 6 maio 2019.

SHORT, R. E. *et al.* Physiological mechanisms controlling anestrus and infertility in postpartum beef cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 68, n. 3, p. 799–816, 1990. Disponível em: <https://doi.org/10.2527/1990.683799x>. Acesso em: 6 maio 2019.

SILVA, A. H. G. *et al.* Milheto em substituição ao milho na dieta de novilhos confinados. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 4, p. 2077–2094, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n4p2077>. Acesso em: 5 ago. 2019.

SMITH, L. E. Jr.; VINCENT, C. K. Effects of early weaning and exogenous hormone treatment on bovine postpartum reproduction. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 35, n. 6, p. 1228-1232, 1972. Disponível em: <https://doi.org/10.2527/jas1972.3561228x>. Acesso em: 5 jun. 2019.

SØRENSEN, J. T. Validation of livestock herd simulation models: a review. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 26, p. 79-90, 1990. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0301-6226\(90\)90058-E](https://doi.org/10.1016/0301-6226(90)90058-E). Acesso em: 8 ago. 2019.

SPROTT, L. R. **Break-even costs for cow/calf producers**. College Station: Texas A&M University System, 1998. Disponível em: <http://agrilife.org/animalscience/files/2012/04/beef-breakeven-costs-for-cow-calf-producers.pdf>. Acesso em: 14 set. 2019.

STORY, C. E. *et al.* Age of calf at weaning of spring-calving beef cows and the effect on cow and calf performance and production economics. **Journal of Animal**



**Science**, Champaign, v. 78, n. 6, p. 1403–1413, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.2527/2000.7861403x>. Acesso em: 5 jun. 2019.

TANURE, S.; NABINGER, C.; BECKER, J. L. Bioeconomic model of decision support system for farm management. Part I: Systemic conceptual modeling. **Agricultural Systems**, Barking, v. 115, p. 104–116, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2012.08.008>. Acesso em: 14 abr. 2020.

TEIXEIRA, O. S. **Idade ao desmame em bezerros: respostas comportamentais, imunológicas e de desempenho**. 2020. 134 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020.

TURNER, B. L. *et al.* Analyzing ranch profitability from varying cow sales and heifer replacement rates for beef cow-calf production using system dynamics. **Agricultural Systems**, Barking, v. 114, p. 6–14, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2012.07.009>. Acesso em: 5 jun. 2019.

VAZ, F. N.; RESTLE, J. Aspectos qualitativos da carcaça e da carne de machos braford superprecoces, desmamados aos 72 ou 210 dias de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 31, n. 5, p. 2078–2087, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1516-35982002000800023>. Acesso em: 5 jun. 2019.

VAZ, R. Z.; LOBATO, J. F.; RESTLE, J. Analysis of economic efficiency of breeding systems with different weaning ages of calves. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 30, n. 6, p. 1837-1845, 2014.

VIET, A. F. *et al.* Resilience of a beef cow-calf farming system to variation in demographic parameters. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 91, p. 413-424, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.2527/jas2011-5058>. Acesso em: 17 nov. 2020.

WARNER, J. M. *et al.* The effect of calf age at weaning on cow and calf performance and feed utilization by cow-calf pairs. A contribution of the University of Nebraska Agricultural Research Division, supported in part by funds provided through the Hatch Act and the Dr. Kennet. **The Professional Animal Scientist**, Champaign, v. 31, n. 5, p. 455–461, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.15232/pas.2015-01393>. Acesso em: 5 jun. 2019.

WATERMAN, R. C. *et al.* Early weaning in northern great plains beef cattle production systems: I. Performance and reproductive response in range beef cows. **Livestock Science**, Amsterdam, v. 148, n. 1/2, p. 26–35, 2012a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2012.05.004>. Acesso em: 5 jun. 2019.

WATERMAN, R. C. *et al.* Early weaning in northern great plains beef cattle production systems: II. Development of replacement heifers weaned at 80 or 215d of age. **Livestock Science**, Amsterdam, v. 148, n. 1/2, p. 36–45, 2012b. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2012.04.020>. Acesso em: 5 jun. 2019.

WATERMAN, R. C. *et al.* Early weaning in northern great plains beef cattle

production systems: III. Steer weaning, finishing and carcass characteristics. **Livestock Science**, Amsterdam, v. 148, n. 3, p. 282–290, 2012c. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2012.06.024>. Acesso em: 5 jun. 2019.

WEARY, D. M.; JASPER, J.; HÖTZEL, M. J. Understanding weaning distress. **Applied Animal Behaviour Science**, Amsterdam, v. 110, n. 1/2, p. 24-41, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2007.03.025>. Acesso em: 5 jun. 2019.

WEDER, C. E. *et al.* Effects of early weaning on production efficiency in a cow/calf system. *In: AMERICAN SOCIETY OF ANIMAL SCIENCE: ANNUAL MEETING*, 76., 2004, Phoenix. **Proceedings** [...]. Champaign: American Society of Animal Science, 2004. Western section, v. 55, p. 117-121. Disponível em: <https://www.asas.org/sections/western-section/publications>. Acesso em: 12 dez. 2020.

WEISS, S.; BALDA, S. **Destete hiperprecoz: seguimiento, evaluación y resultado de la técnica**. Buenos Aires, 2013. Disponível em: [www.produccion-animal.com.ar](http://www.produccion-animal.com.ar). Acesso em: 5 maio 2019.

YELICH, J. V. *et al.* Effects of growth rate on carcass composition and lipid partitioning at puberty and growth hormone, insulin-like growth factor I, insulin, and metabolites before puberty in beef heifers. **Journal of Animal Science**, Champaign, v.73, p. 2390-2405, 1995. Disponível em: <https://doi.org/10.2527/1995.7382390x>. Acesso em: 5 jun. 2020.

## Apêndice

Apêndice 1. Endereço eletrônico do Guia para Autores da revista Animal Production Science.

O manuscrito do presente estudo foi submetido na revista Animal Production Science conforme o Guia para Autores

(<https://www.publish.csiro.au/an/forauthors/AuthorInstructions>). A Animal Production Science possui atualmente Fator de Impacto 1.22 e Qualis A2.

## Vita

Vinícius de Anhaia Camargo, filho de Francisco Carlos Camargo e Flávia Filha de Anhaia Camargo, nascido em 21 de dezembro de 1990, em Porto Alegre – RS. Concluiu o ensino fundamental na E.E.E.F. Carlos Barbosa no município de Calos Barbosa – RS, e o ensino médio na E.E. Arlindo de Andrade Gomes em Campo Grande – MS. Em 2011, ingressou na Faculdade de Medicina Veterinária da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Durante os anos de graduação desenvolveu atividades de pesquisa de iniciação científica no Laboratório de Reprodução Animal e de Extensão no Setor de Medicina de Grandes Ruminantes. Formou-se em Medicina Veterinária em julho de 2017 e fundou sua empresa, trabalhando com assistência técnica e prestação de serviços veterinários. Em abril de 2019 ingressou no Mestrado em Produção Animal, pelo Programa de Pós-Graduação em Zootecnia – UFRGS, sob orientação do professor Júlio Otávio Jardim Barcellos. Foi submetido a banca de defesa de Mestrado em março de 2021.