

Identificação de fatores de risco associados ao desempenho de touros da raça Canchim, em confinamento, utilizando a teoria de análise de sobrevivência

Marina O. Cunha^{1†}, Cleide M. M. Lima², Waldomiro Barioni Júnior³, Vera Lucia D. Tomazella⁴, Cintia R. Marcondes³, Jackelya A. Silva², Yuri A. Iriarte⁵

¹Universidade Federal do Piauí (UFPI).

²Departamento de Estatística, Universidade Federal do Piauí, Teresina, PI, Brasil.

³Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos, SP, Brasil.

⁴Departamento de Estatística, Universidade Federal de São Carlos, SP, Brasil.

⁵Departamento de Matemáticas, Facultad de Ciencias Básicas, Antofagasta, Chile.

Resumo: O estudo do desempenho de bovinos de corte em confinamento tem despertado muito interesse e vem crescendo no Brasil. Pois em ambiente controlado, facilita a medição de parâmetros de desempenho e eficiência alimentar com coletas diárias, gerando dados mais precisos. Essa prática proporciona aos animais maiores ganhos de peso em menor período de tempo, tornando-se uma opção mais rentável para frigoríficos e produtores. Portanto, o objetivo deste trabalho foi analisar o tempo que touros Canchim levam para atingir um ganho de peso diário de 1,2 kg durante um período de confinamento, bem como os possíveis fatores que podem afetar esse tempo. Para isso, foi considerada uma abordagem de análise de sobrevivência utilizando técnicas não paramétricas e o modelo paramétrico de Cox. O modelo paramétrico de Cox-Gompertz considerando a covariável peso ao nascer (PI) apresentou o melhor ajuste aos dados, ou seja, dentro do conjunto de covariáveis adotado para análise, essa covariável teve importante influência no tempo para o animal atingir o peso desejado durante o período de confinamento; um menor peso ao nascer contribuiu para um melhor desempenho.

Palavras-chave: Canchim; Confinamento; Modelo de Cox.

Identification of risk factors associated with the performance of Canchim bulls, in confinement, using the theory of survival analysis

Abstract: The study of the performance of beef cattle in confinement has aroused a lot of interest and is growing in Brazil due to these animals being in a controlled environment, facilitating the measurement of performance parameters and feed efficiency with daily collections, which results in more accurate data. Associated with this, this practice also provides animals with greater weight gain in a shorter period of time, making it a more profitable option for slaughterhouses and producers. Therefore, the objective of this work was to analyze the time it takes for Canchim bulls to achieve a daily weight gain of 1.2 kg during a period of confinement, as well as the possible factors that may affect this time. For this, a survival analysis approach using non-parametric techniques and the parametric Cox model was considered. The parametric Cox-Gompertz model considering the covariate birth weight (PI) presented the best fit to the data, that is, within the set of covariates adopted for analysis, this variable had an important influence on the time for the animal to reach the desired weight during the confinement period; a low birth weight contributed to better performance.

Keywords: Canchim; Confinement; Cox Model.

Introdução

Em 2017, com um rebanho de bovinos de 221,81 milhões de cabeças, o Brasil, se posicionou como o maior produtor de carne bovina mundial e ficou em segundo lugar como exportador, inferior apenas aos Estados Unidos que, em 2018, exportaram US\$ 7,32 bilhões e o Brasil US\$ 5,59 bilhões (ABIEC,2019).

† Autor correspondente: marina.oliveira@ufpi.edu.br.

Com uma demanda cada vez mais crescente impulsionada pelo aumento da população mundial, o Brasil, para manter esta posição de produtor e exportador na cadeia de carne bovina, necessita produzir cada vez mais animais com maior eficiência alimentar, maior rendimento de carcaça e reduzir o tempo de abate. Isto exige maior rigor dos programas de melhoramento genético de bovinos de corte e, conseqüentemente, a utilização de metodologias de análise de alta eficiência.

Neste sentido, o estudo de desempenho de bovinos de corte em confinamento tem despertado muito interesse e crescendo muito no Brasil, pois em um ambiente controlado, facilita a tomada dos parâmetros de desempenho e de eficiência alimentar com coletas diárias, gerando dados mais precisos. Esta prática proporciona aos animais maiores ganhos de peso em um menor espaço de tempo, tornando uma opção mais lucrativa para os frigoríficos e produtores (de Deus et al., 2009). Com isso, metodologias de análises que possibilitem o acompanhamento do rebanho desde o nascimento até a idade adulta dos animais são fundamentais.

Uma técnica que vem sendo abordada nesse tipo de estudo é a Análise de Sobrevivência. Esta é uma metodologia estatística que tem sido utilizada para lidar com dados de tempo até a ocorrência de um evento de interesse (tempo de falha), na presença de censura (COLOSIMO E GIOLO, 2006). Aplicada a dados de caprinos, foi considerada por Lima et al. (2021) recomendável para identificação de fragilidades em animais, o que teria utilidade em programas de melhoramento animal e em estudos de resistência a verminose.

Na raça Nelore, uma raça Zebu da Índia que se tornou predominante no Brasil devido ao cuidado fácil, adaptabilidade e produção econômica, algumas características de interesse econômico já foram avaliadas por meio de modelos de análise de sobrevivência, como por exemplo: o tempo em dias do nascimento à desmama que um animal leva para ganhar 160 kg de peso (Giolo et al., 2003); idade ao primeiro parto em fêmeas Nelore (Cunha e Melo, 2012); a idade da vaca Nelore ao último parto como medida de longevidade (Caetano, 2011); entre outros. Quanto à raça Canchim, uma raça que é fruto de um trabalho científico que visa viabilizar economicamente a obtenção de carne de melhor qualidade nas condições brasileiras, parece haver uma escassez de estudos que usam ferramentas de análise de sobrevivência relativos à melhoria dos processos de produção.

O objetivo deste trabalho é analisar o tempo que touros da raça Canchim levam para atingir um ganho de 1,2 kg de peso diário em um período de confinamento, bem como os possíveis fatores que podem afetar esse tempo. Para isso, é considerada uma abordagem de análise de sobrevivência. Inicialmente, é ajustado o tempo que os touros em análise levam para atingir o ganho de peso desejado, considerando diferentes distribuições de probabilidade. Posteriormente, é considerado um modelo paramétrico de Cox para estabelecer a relação de dependência entre as covariáveis disponíveis e o tempo de falha.

Material e Métodos

Descrição dos dados

Foram utilizados dados de 64 touros da raça Canchim nascidos em 2017, provenientes de 14 rebanhos de produtores associados da Associação Brasileira de Criadores de Canchim (ABC-CAN). Os animais passaram por um confinamento comercial de 150 dias em Piracicaba/SP, com peso médio inicial de 329 kg e peso médio ao final de 476 kg (ganho médio diário de 1,3 kg), no qual os 33 primeiros dias de confinamento foram destinados à adaptação dos animais. A dieta do confinamento (1 a 150 dias) foi baseada em bagaço de cana, concentrado, com núcleo mineral composto por: 70% de matéria seca (MS), 13% de proteína bruta (PB), 72% de nutrientes digestíveis totais (NDT) e 3% de estrato etéreo (EE).

Considerou-se neste estudo as seguintes covariáveis: PI: Peso ao nascimento (*kg*); P_EC: Peso de entrada no período de adaptação; P_SC: Peso de saída no período de adaptação; D_EC: Idade de entrada no período de adaptação; D_SC: Idade de saída no período de adaptação; EN:

Estação de nascimento do bezerro (0 = época seca de junho a agosto e 1 = época chuvosa de setembro a novembro).

Tabela 1: Estatísticas descritivas das covariáveis em estudo.

Variável	n	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo	Coefficiente de variação
PI	64	35,48	4,43	28	54	12,47%
P_EC	64	303,13	51,08	179	396	16,85%
D_EC	64	290,34	38,51	197	369	13,26%
P_SC	64	354	53,46	222	464	15,10%
D_SC	64	323,34	38,51	230	402	11,91%

Fonte: Dos autores (2023).

A variabilidade das covariáveis P_EC e D_EC pode ser explicada por fatores ambientais como a competição na alimentação entre os animais no período em que eram criados a pasto e a estação do ano (EN) no momento do nascimento do bezerro. Pode-se supor que a variabilidade da covariável PI esteja associada a fatores genéticos dos pais e mães, uma vez que há um controle e padronização da alimentação e outros aspectos que podem influenciar o período gestacional. Além disso, a variabilidade das covariáveis P_SC e D_SC, será determinada de acordo com o comportamento de cada animal com relação a ocorrência da falha (atingir 1,2 kg de ganho de peso diário observado no período de 150 dias de confinamento).

Análises Estatísticas

Para análise dos dados, as técnicas de análise de sobrevivência foram utilizadas. Devido à presença de censuras em dados de sobrevivência, os mesmos são resumidos com estimativas da função de sobrevivência e função de risco (MOORE, 2016). Para a estimativa dessas funções foi utilizado o método não paramétrico de Kaplan e Meier (KAPLAN e MEIER, 1958). Para analisar a influência de covariáveis no tempo, foi utilizado o modelo paramétrico de Cox. Todas as análises estatísticas foram realizadas usando a linguagem de programação R (R, versão 4.4.1, Team 2013).

Modelo paramétrico de Cox

O modelo de riscos proporcionais de Cox (Cox, 1972) permite modelar dados de sobrevivência na presença de covariáveis, por meio da função de risco. Segundo o modelo de Cox, a função de risco para um indivíduo com vetor de covariáveis \mathbf{x} é dado por:

$$h(t|\mathbf{x}) = h_0(t) \exp(\boldsymbol{\beta}' \mathbf{x}) \quad (1)$$

onde $h_0(t)$ é a função de risco base, ou seja, o risco de um animal com todas as covariáveis iguais a zero; $\boldsymbol{\beta}' = (\beta_1, \dots, \beta_k)$ é o vetor de dimensão k de coeficientes de regressão desconhecidos e $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_k)$ é o vetor de dimensão k de covariáveis para o i -ésimo animal.

O modelo (1) é composto pelo produto de dois componentes: $\exp(\boldsymbol{\beta}' \mathbf{x})$ que mede o efeito das covariáveis; e $h_0(t)$, que pode ser paramétrico ou não. No caso semiparamétrico, o componente $h_0(t)$ é considerado como uma função não negativa do tempo; quando paramétrico, este pode assumir distribuições como Weibull, Gompertz entre outras.

A principal pressuposição para o modelo (1) é que a razão de taxas de falha entre dois animais distintos é constante ao longo do tempo, ou seja, a razão das funções de riscos para dois animais i e j é dado por:

$$\frac{h(t|\mathbf{x}_i)}{h(t|\mathbf{x}_j)} = \frac{h_0(t) \exp(\boldsymbol{\beta}' \mathbf{x}_i)}{h_0(t) \exp(\boldsymbol{\beta}' \mathbf{x}_j)} = \exp\{\boldsymbol{\beta}' (\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j)\} \quad (2)$$

a qual é constante ao longo do tempo. Por exemplo, se um animal no início do estudo tem uma taxa de falha igual a duas vezes a de um segundo animal, então, esta razão de taxas de falha será a mesma para todo o período de acompanhamento.

A interpretação dos coeficientes em um modelo de regressão de Cox é realizada através das quantidades $\exp(\beta_i)$, chamadas de razão de taxas de risco ou falhas (*RTF*). Um valor de β_i maior que zero, ou equivalente a uma taxa de risco maior que um, indica que, como o valor de i -ésimas covariáveis, o risco de falha aumenta e, portanto, a duração da sobrevivência diminui. Dito de outra forma, uma taxa de risco acima de 1 indica uma covariável que está positivamente associada à probabilidade do evento de interesse e, portanto, negativamente associada à duração da sobrevivência. Em suma, $RTF = 1$: sem efeito; $RTF < 1$: redução do risco e $RTF > 1$: aumento do risco.

No modelo de Cox, a função de sobrevivência é definida por:

$$S(t_i|\mathbf{x}_i) = \exp \left\{ - \int_0^{t_i} h_0(u) \exp \{ \boldsymbol{\beta}' \mathbf{x}_i \} du \right\} = [S_0(t_i)]^{\exp \{ \boldsymbol{\beta}' \mathbf{x}_i \}} \quad (3)$$

onde: $S_0(t_i)$ é a função de sobrevivência base, ou seja, a função de sobrevivência de um animal com todas as covariáveis iguais a zero.

Neste trabalho, é considerada a abordagem paramétrica para o modelo de Cox, onde diferentes formas paramétricas podem ser assumidas para as funções de sobrevivência e risco base $S_0(t)$ e $h_0(t)$, respectivamente. A Tabela 2 mostra as funções de densidade de probabilidade ($f(t)$), funções de risco ($h_0(t)$), funções de sobrevivência ($S_0(t)$) e funções de risco acumulado base ($H_0(t)$) para as distribuições Gompertz e Weibull que serão consideradas neste estudo.

Tabela 2: Funções de densidade de probabilidade ($f(t)$), funções de risco ($h_0(t)$), funções de sobrevivência ($S_0(t)$) e funções de risco acumulado base ($H_0(t)$) para as distribuições Gompertz e Weibull.

	Gompertz	Weibull
$f(t)$	$\lambda \exp(\gamma t) \exp \left\{ - \left(\frac{\lambda}{\gamma} \right) (\exp(\gamma t) - 1) \right\}$	$\frac{\lambda}{\gamma} t^{\gamma-1} \exp \left\{ - \left(\frac{t}{\lambda} \right)^\gamma \right\}$
$h_0(t)$	$\lambda \exp(\gamma t)$	$\frac{\gamma}{\lambda} t^{\gamma-1}$
$H_0(t)$	$\frac{\lambda}{\gamma} (\exp(\gamma t) - 1)$	$\left(\frac{t}{\lambda} \right)^\gamma$
$S_0(t)$	$\exp \left\{ - \left(\frac{\lambda}{\gamma} \right) (\exp(\gamma t) - 1) \right\}$	$\exp \left\{ - \left(\frac{t}{\lambda} \right)^\gamma \right\}$

Fonte: Dos autores (2023).

Por exemplo, considerando a função de sobrevivência e risco base da distribuição Gompertz, temos o modelo de riscos proporcionais de Cox-Gompertz, cuja função de risco fica assim definida:

$$h(t|\mathbf{x}) = \lambda \exp(\gamma t) \exp(\boldsymbol{\beta}' \mathbf{x}), \quad (4)$$

Substituindo a função ($S_0(t)$) da distribuição Gompertz em (3) a função de sobrevivência é reescrita da seguinte forma:

$$S(t|\mathbf{x}) = \left[\exp - \frac{\lambda}{\gamma} (\exp(\gamma t) - 1) \right]^{\exp \{ \boldsymbol{\beta}' \mathbf{x} \}} \quad (5)$$

Inferências

Em análise de sobrevivência, o método mais utilizado para estimação dos parâmetros $\theta = (\gamma, \lambda, \boldsymbol{\beta})$, do modelo 4, é o método de máxima verossimilhança, devido ao fato de o mesmo ser capaz de incorporar dados censurados.

Considere o conjunto de dados $W = (n, \mathbf{t}, \boldsymbol{\delta}, \mathbf{X})$, em que $\mathbf{t} = (t_1, \dots, t_n)$ são os tempos de falha observados, $\boldsymbol{\delta} = (\delta_1, \dots, \delta_n)'$ são os tempos de falha censurados e \mathbf{X} é uma matriz $n \times k$ contendo

as covariáveis. Supondo que os dados sejam independentes e identicamente distribuídos, a função de verossimilhança com dados censurados, segundo Lawless (2011) é definida por:

$$L(\theta) = \prod_{i=1}^n [h(t_i|\mathbf{x}_i)]^{\delta_i} S(t_i|\mathbf{x}_i), \quad (6)$$

em que δ_i é o indicador de censura. Por exemplo, substituindo as funções 4 e 5 em 6 tem-se a função de verossimilhança para o modelo Cox-Gompertz.

$$L(\theta) = \prod_{i=1}^n \left[\lambda \exp(\gamma t) \exp \left\{ \beta' \mathbf{x}_i \right\} \right]^{\delta_i} \left[\exp \left\{ -\frac{\lambda}{\gamma} (\exp(\gamma t) - 1) \right\} \right]^{\exp \left\{ \beta' \mathbf{x}_i \right\}}. \quad (7)$$

As estimativas de máxima verossimilhança são obtidas através da maximização numérica da função log-verossimilhança (7). Os parâmetros foram estimados utilizando o pacote *optim* do *software* R e o método "BFGS" para maximização.

Os intervalos de confiança para os parâmetros do modelo são baseados nas propriedades de normalidade assintótica dos estimadores de máxima verossimilhança. Se $\hat{\theta}$ denota os estimadores de máxima verossimilhança de θ então a distribuição de $\hat{\theta} - \theta$ é aproximada por uma distribuição normal q-variada com média zero e matriz de covariância $I^{-1}(\hat{\theta})$, onde $I(\theta)$ é a matriz de informação observada. Assim, um intervalo de confiança assintótico com $100(1 - \alpha)\%$ para cada parâmetro θ_i é:

$$IC(\theta, 100(1 - \alpha)\%) = \left(\hat{\theta}_i - z_{\alpha/2} \sqrt{\hat{V}(\theta_i)}, \hat{\theta}_i + z_{\alpha/2} \sqrt{\hat{V}(\theta_i)} \right) \quad (8)$$

onde $\hat{V}(\theta_i)$ é o elemento da diagonal principal de $I^{-1}(\hat{\theta})$ correspondente a cada parâmetro e $z_{\alpha/2}$ é o quantile $(1 - \alpha)\%$ da distribuição normal padrão.

Para testar as hipóteses relacionadas ao vetor de parâmetros θ , três testes são, em geral, utilizados para esta finalidade: Wald, Escore e Razão de Verossimilhança (COLOSIMO e GIOLO, 2006). Critérios de seleção de modelos como o critério de informação de Akaike (AIC) proposto por Akaike (1974), e o critério de informação bayesiano (BIC), proposto por Schwarz et al. (1978), são frequentemente utilizados para selecionar modelos em diversas áreas. Os melhores modelos são considerados aqueles que apresentam menores valores de AIC e BIC. Para avaliar a adequação do modelo de Cox são utilizados os resíduos de Cox-Snell (COX e SNELL, 1968); resíduos martingale; resíduos deviance.

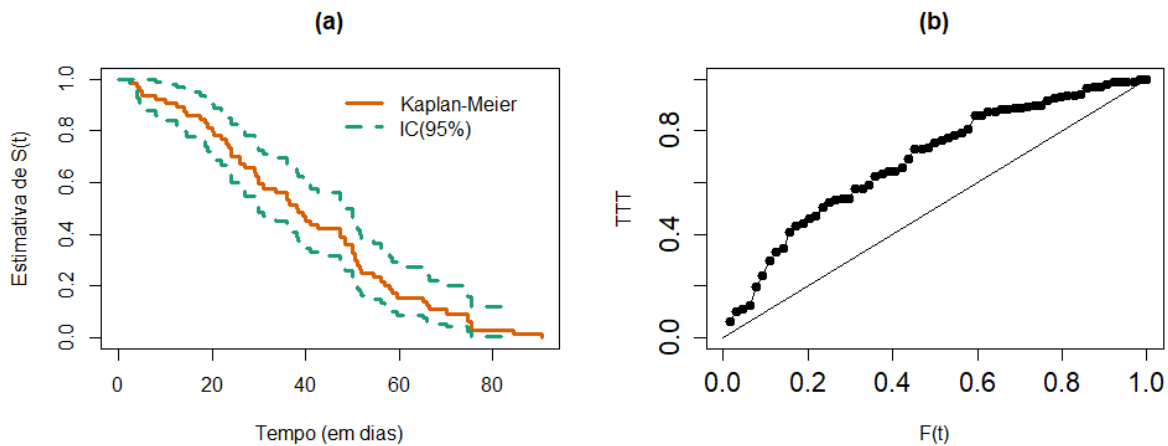
Resultados e Discussões

Análise não-paramétrica

Analisando a variável tempo (em dias), observou-se que o tempo mínimo até um touro apresentar o evento de interesse dentro do confinamento foi de 2,5 dias, enquanto o tempo máximo foi de 90,5 dias. Além disso, o tempo médio para os touros atingirem o ganho de peso desejado (1,2 kg) foi de 39,54 dias. No painel (a) da Figura 1 tem-se o gráfico da função de sobrevivência estimada por Kaplan-Meier, evidenciando que não houve nenhum dado censurado durante o período de estudo.

A busca de um modelo paramétrico que apresente um bom ajuste dos tempos de sobrevivência pode ser facilitada através do gráfico TTT (Sun e Kececloglu, 1999). O gráfico TTT para os tempos que os touros levaram para alcançar o ganho de peso desejado é apresentado no painel (b) da Figura 1, indicando que a função de risco para estes dados é crescente. Assim, é possível observar que modelos paramétricos com função de risco crescente, como os modelos Weibull e Gompertz, poderiam ajustar adequadamente os tempos.

Figura 1: Curva de sobrevivência estimada de Kaplan-Meier (a) e gráfico TTT (b).



Fonte: Dos autores (2023).

Ajuste do tempo de falha

A Tabela 3 apresenta as estimativas de máxima verossimilhança para os parâmetros dos modelos Weibull e Gompertz, além do critério de comparação de ajuste de Akaike (AIC) e critério de informação bayesiano (BIC) para cada modelo ajustado. Na tabela, observa-se que o modelo Gompertz tem menor valor AIC, o que indica uma melhor qualidade de ajuste desse modelo. Entretanto, este valor é bem próximo ao encontrado para o modelo Weibull.

Tabela 3: Estimativas de máxima verossimilhança (EMV), Erro padrão (EP) e Intervalo de confiança (IC 95%) para os parâmetros dos modelos ajustados.

Parâmetros	Modelos					
	Gompertz			Weibull		
	EMV	EP	IC (95%)	EMV	EP	IC (95%)
γ	0,009	0,002	[0,005;0,014]	44,335	3,097	[38,661;50,841]
λ	0,033	0,006	[0,022;0,044]	1,874	0,191	[1,535;2,289]
AIC		571,212			573,795	
BIC		575,530			578,113	

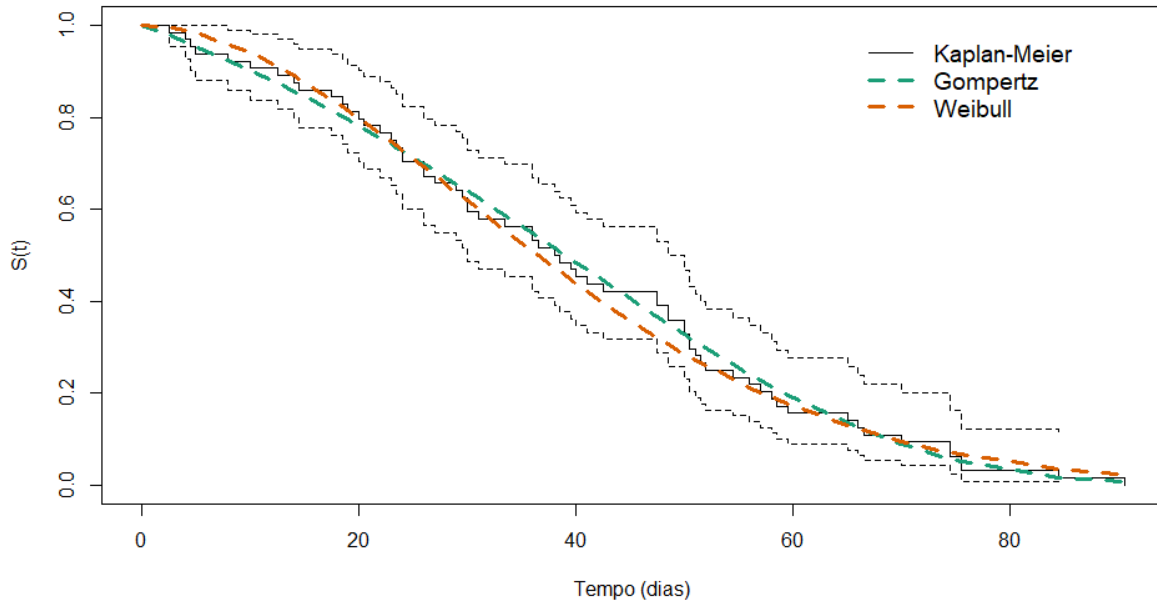
Fonte: Dos autores (2023).

A Figura 2 ilustra bem este cenário, apesar de estarem bem próximas à curva de Kaplan-Meier, observa-se empiricamente que a curva de sobrevivência do Modelo Gompertz apresentou melhor ajuste.

Ajuste do Modelo paramétrico de Cox

O modelo de Cox paramétrico foi ajustado considerando todas as covariáveis disponíveis. Entretanto, o modelo final ficou apenas com a covariável peso do bezerro ao nascimento (PI), pois foi a única covariável significativa, com um p-valor inferior a 0,05. A razão de taxa de falha (RTF) para os modelos de Cox-Gompertz e Cox-Weibull foi igual a 0,928 e 0,944, respectivamente. Como a $RTF < 1$, isto indica que, quanto maior peso ao nascer menor será o risco de ocorrer o evento de interesse (ganho de peso diário de 1,2 kg). A Tabela 4 apresenta as estimativas de máxima verossimilhança, erro-padrão, intervalos de 95% de confiança para os dois modelos ajustados.

Figura 2: Comparação das curvas de sobrevivência dos modelos Weibull e Gompertz com o estimador de Kaplan-Meier.



Fonte: Dos autores (2023).

Tabela 4: Estimativas de máxima verossimilhança (EMV), Erro-padrão (EP) e Intervalo de Confiança (IC 95%) para os parâmetros dos modelos de Cox-Gompertz e Cox-Weibull.

Parâmetros	Modelos					
	Gompertz			Weibull		
	EMV	EP	IC (95%)	EMV	EP	IC (95%)
γ	0,038	0,006	[0,028;0,049]	1,963	0,203	[1,628;2,298]
λ	0,108	0,118	[-0,087;0,303]	15,473	3,933	[9,003;21,492]
β_{1PI}	-0,075	0,032	[-0,128;-0,022]	-0,058	0,016	[-0,084;-0,032]
AIC		566,648			571,514	
BIC		573,125			577,991	

Fonte: Dos autores (2023).

A seleção de modelos pelos critérios de Akaike (AIC) e critério de informação bayesiano (BIC) mostraram que, o modelo de Cox-Gompertz foi o mais adequado, por apresentar os menores valores de AIC e BIC, o que indica que este modelo possui uma melhor qualidade de ajuste aos tempos de sobrevivência estimados.

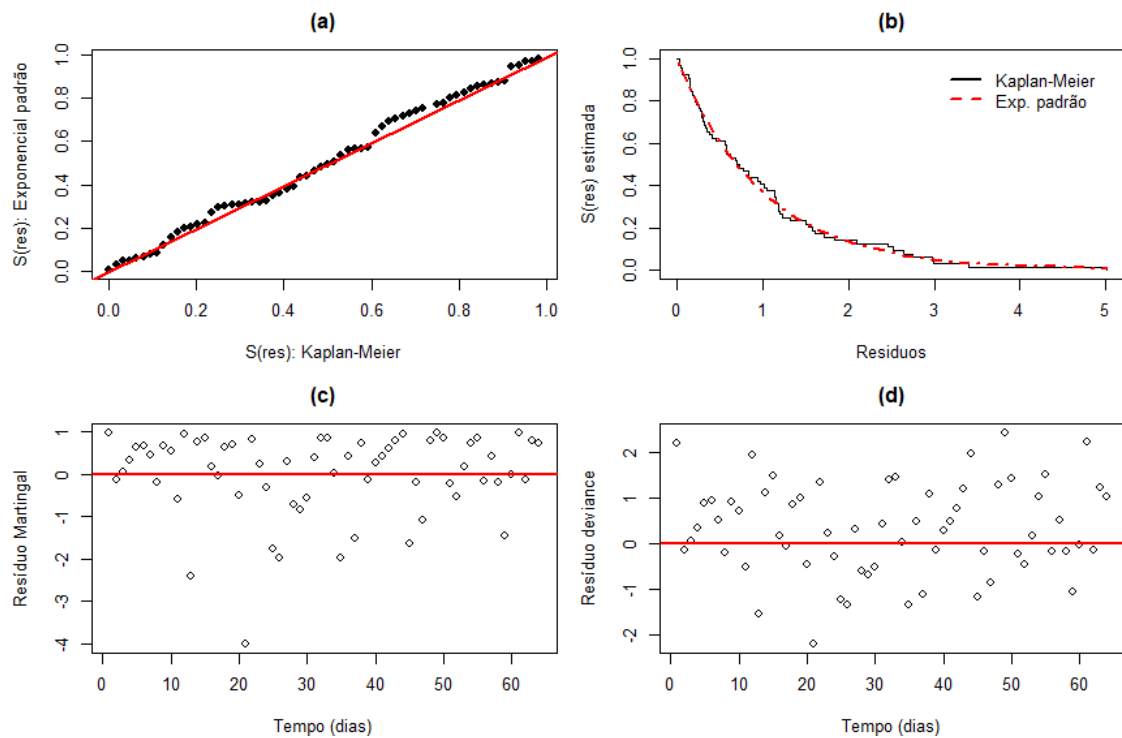
Nos painéis (a) e (b) da Figura 3, observa-se que a distribuição dos resíduos de Cox-Snell segue aproximadamente uma distribuição exponencial padrão, o que indica uma qualidade aceitável de ajuste global do modelo. Já os painéis (c) e (d) não sugerem a existência de pontos que possam ser considerados atípicos (outliers). A função de sobrevivência estimada e a função de risco estimada (por este modelo) para um touro Canchim é apresentada em 9 e 10.

Função de sobrevivência $\hat{S}(t|x_1)$ e risco estimada $\hat{h}(t|x_1)$ do modelo Cox-Gompertz:

$$\hat{S}(t|x_1) = \exp \left\{ - \left(\frac{0,108}{0,038} \right) \times \left(e^{(0,038 \times t)} - 1 \right) \right\} e^{\{-0,075 \times x_1\}} \quad (9)$$

$$\hat{h}(t|x_1) = 0,108 \times \exp \{0,038 \times t\} \times \exp \{-0,075 \times x_1\} \quad (10)$$

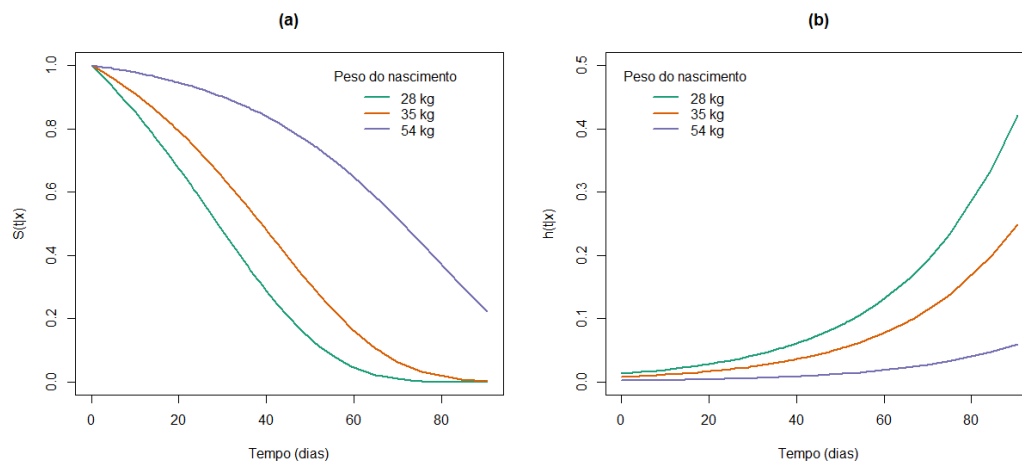
Figura 3: Análise de resíduos para o modelo paramétrico de Cox-Gompertz.



Fonte: Dos autores (2023)

Na Figura 4, são comparadas as curvas de sobrevivência estimadas e as curvas de risco estimadas para touros da raça Canchim com diferentes pesos ao nascimento (28, 35 e 54 kg). Nota-se que bezerros com mais peso ao nascer possuem um risco menor de alcançar o ganho de peso desejado. Em contrapartida, bezerros com menor peso ao nascer têm maior risco de obter ganho de peso desejado, e conseqüentemente demoram menos tempo para atingir o evento de interesse.

Figura 4: Curvas de Sobrevivência (a) e risco (b) estimados pelo modelo paramétrico de Cox-Gompertz para peso ao nascimento iguais a 28 kg, 35 kg e 54 kg.



Fonte: Dos autores (2023).

Este resultado é favorável aos sistemas de produção que visam animais prontos para o abate mais cedo. Desta forma, torna-se interessante saber com quais covariáveis o peso ao nascer está relacionado. A partir do cálculo das correlações, foi encontrado que o peso ao nascer tem uma correlação linear negativa com o peso de entrada no período de adaptação ($\rho = -0,28$; $p = 0,023$) e o peso de saída no período de adaptação ($\rho = -0,27$; $p = 0,033$). Embora esta relação não seja tão forte, ainda assim foi significativa. Também é importante ressaltar que estas duas covariáveis (peso de entrada no período de adaptação e peso de saída no período de adaptação) apresentam entre si, uma correlação linear positiva e forte ($\rho = 0,989$; $p < 0,0001$). Isto indica que os animais com menor peso ao nascimento (PI) corresponderam aos animais de maior peso tanto na entrada (P_EC) como na saída (P_SC) do período de adaptação do confinamento. Este resultado pode estar associado ao manejo e/ou ao sistema de produção que os animais eram criados, pois os mesmos eram oriundos de diferentes produtores.

Conclusão

Neste artigo, analisou-se o tempo que touros da raça Canchim levam para atingir um ganho de 1,2 kg de peso em um período de confinamento de 150 dias, bem como os possíveis fatores que podem afetar esse tempo. Os fatores analisados foram: estação do ano ao nascer, peso ao nascer, idade de entrada e saída do confinamento, peso de entrada e saída do confinamento. A partir de uma análise inicial sem a presença de covariáveis, observou-se que os modelos de Weibull e Gompertz se ajustaram bem aos dados. Logo após a obtenção destes resultados foi feito o ajuste do modelo paramétrico de Cox com base em cada um dos modelos encontrados anteriormente, constatando que o modelo paramétrico de Cox na base Gompertz considerando a covariável peso ao nascimento (PI) apresenta melhor ajuste aos dados. Ou seja, dentro do conjunto de covariáveis adotadas para a análise, o peso ao nascimento teve importante influência no tempo para o animal atingir o ganho de peso desejado no período de confinamento; um menor peso ao nascimento contribui para um melhor desempenho.

Em vista dos resultados, especialmente pelo fato que bezerros com peso mais baixo no nascimento atingem o ponto de abate mais cedo que os nascidos com peso mais alto, uma sugestão nesta prática de criação de animais em sistema de confinamento seria a definição de lotes de animais formados pelo peso ao nascimento.

Referências

- ABIEC. Perfil da Pecuária no Brasil. Beef Report: São Paulo, 2019. Disponível em: (<http://abiec.com.br/Sumario2019.aspx>). Acesso em: 10 de abr. 2023.
- AKAIKE, H. Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. In Second International Symposium on Information Theory (Edited by B. N. Petrov and F. Csaki), p.267-281. Akademiai Kiado, Budapest, 1973.
- CAETANO, S. L. Estudo da idade da vaca ao último parto para avaliar longevidade em rebanhos da raça nelore por análise de sobrevivência. Tese de doutorado - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2011.
- COLOSIMO E.A.; GIOLO S.R. *Análise de Sobrevivência Aplicada*. Editora Blucher, 2006.
- COX, D. R. Regression models and life tables (with discussion). *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*; 34:187 - 220, 1972.

- COX, D. R.; SNELL, E. J. A general definition of residuals. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 30(2), 248-265, 1968.
- CUNHA, E. E., MELO, T. P. Análise de Sobrevivência Não-Paramétrica da Idade ao Primeiro Parto em Fêmeas Nelore: Um Estudo de Simulação. *Revista Brasileira de Biometria*. São Paulo, 30 (3), 305 - 325, 2012.
- DEUS, B. M. M. de; FERREIRA, E. J. P.; BARRA, M. M. Confinamento, uma alternativa para alavancar lucratividade: Compapi Fazenda Santa Adélia. Monografia - Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium - UNISALESIANO, Lins-SP, graduação em Administração, 2009.
- GIOLO, S. R., HENDERSON, R., DEMÉTRIO, C. G. B. Um critério para a seleção de touros nelore usando modelos de sobrevivência. *Rev. Mat. Estat.*, São Paulo, 21(3), 115 - 123, 2003.
- KAPLAN, E. L. E MEIER, P. Nonparametric estimation from incomplete observations. *Journal of the American statistical association*, 53(282):457-481, 1958.
- LAWLESS, J. F. *Statistical models and methods for lifetime data*, volume 362. John Wiley & Sons, 2011.
- LIMA, Cleide Mayra Menezes et al. Modelo de Cox-Gompertz para análise do tempo de permanência em um rebanho de cabras da raça Anglonubiana. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 42, n. 5, p. 2937-2958, 2021.
- MOORE, D. F. *Applied survival analysis using R*. Springer, 2016.
- R CORE TEAM. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2023.
- SCHWARZ, G. et al. Estimating the dimension of a model. *The annals of statistics*, 6(2):461-464, 1978.
- SUN, F. B.; KECECLOGLU D. B. A New Method for Obtaining the TTT Plot for a Censored Sample. *Proceedings of Annual Reliability and Maintainability*, p.112-117, 1999.