



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
COORDENADORIA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E INTEGRAÇÃO ACADÊMICA  
PROGRAMA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E EM DESENVOLVIMENTO  
TECNOLÓGICO E INOVAÇÃO

**LUCIANA HELENA KOWALSKI**

## **RELATÓRIO PARCIAL**

### **INICIAÇÃO CIENTÍFICA:**

PIBIC CNPq ( ), PIBIC CNPq Ações Afirmativas ( ), PIBIC UFPR TN ( ), PIBIC Fundação Araucária ( X ), PIBIC Voluntária ( ), Jovens Talentos ( ), PIBIC EM ( ).

(Período no qual esteve vinculado ao Programa 08/2017 a 07/2018)

### **DELINEAMENTOS ÓTIMOS E MODELOS DE REGRESSÃO EM EXPERIMENTOS DE DESEMPENHO DE FRANGOS DE CORTE**

Relatório apresentado à Coordenadoria de Iniciação Científica e Integração Acadêmica da Universidade Federal do Paraná por ocasião da conclusão das atividades de Iniciação Científica ou Iniciação em desenvolvimento tecnológico e Inovação - Edital 2017/2018.

**Nome do Orientador / Departamento:** Walmes Marques Zeviani - Departamento de Estatística

**Título do Projeto / Número de Registro no BANPESQ/THALES:** Delineamentos Ótimos para Modelos - 2017024003

**CURITIBA**  
2018

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| 1. RESUMO .....   | 3  |
| 2. INTRODUÇÃO .....   | 3  |
| 3. REVISÃO DE LITERATURA .....  | 4  |
| 3.1. MODELOS NÃO LINEARES PARA CURVAS DE CRESCIMENTO DE FRANGOS DE<br>CORTE ..... | 4  |
| 3.2. DELINEAMENTOS ÓTIMOS .....   | 5  |
| 3.2.1. Critérios e métodos para obtenção de delineamentos .....                   | 5  |
| 3.2.1.1. Critério D-ótimo .....   | 6  |
| 3.2.1.2. Critério G-ótimo .....   | 6  |
| 3.3. DELINEAMENTO ÓTIMO BAYESIANO .....   | 6  |
| 4. MATERIAL E MÉTODOS .....   | 7  |
| 4.1. MANEJO DOS ANIMAIS .....   | 7  |
| 4.2. ANÁLISES ESTATÍSTICAS E TRATAMENTO DOS DADOS .....                           | 7  |
| 4.2.1. Ajuste de curvas de crescimento .....                                      | 7  |
| 4.2.2. Delineamentos Ótimo .....  | 8  |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....   | 9  |
| 5.1. AJUSTE LOGÍSTICO DAS UNIDADES EXPERIMENTAIS .....                            | 9  |
| 5.2. OBTENÇÃO DO MODELO ÓTIMO .....   | 10 |
| 6. CONCLUSÕES .....   | 12 |
| 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....   | 12 |
| 8. RELATÓRIO DE ATIVIDADES .....  | 13 |
| 8.1. RESUMOS .....  | 13 |
| 8.2. PARTICIPAÇÃO EM CURSOS .....   | 13 |
| 8.3. APRESENTAÇÃO DE TRABALHOS .....  | 13 |
| 9. APRECIACÃO DO ORIENTADOR .....   | 13 |
| 9.1. Relatório científico e desempenho do bolsista no projeto: .....              | 13 |
| 9.2. Desempenho acadêmico do bolsista, acompanhado do histórico escolar:.....     | 13 |

## DELINEAMENTOS ÓTIMOS E MODELOS DE REGRESSÃO EM EXPERIMENTOS DE DESEMPENHO DE FRANGOS DE CORTE

### 1. RESUMO

A utilização de modelos estatísticos para descrever e ajustar curvas de crescimento animal assim como a aplicação de modelos ótimos vem sendo amplamente utilizados na produção animal. Sendo assim, o objetivo do trabalho foi ajustar o modelo de crescimento logístico por unidade experimental e obter o delineamento ótimo. Foram utilizados dados de peso corporal de frangos de corte machos da linhagem Cobb<sup>®</sup>. Foram realizadas pesagens semanalmente para verificação de peso corporal das aves. Foi realizado o ajuste pelo modelo logístico baseando-se em literatura. Foi aplicado o algoritmo sequencial para obtenção de delineamento ótimo, assim como foram testados 4 distintos delineamentos Bayesianos onde a pesquisa a priori preconizava pesagens semanais para descrição de curva de crescimento. Os modelos Bayesianos foram os que apresentaram melhores resultados, em particular os modelos sem restrição. No entanto, mesmo com melhor resultado, isso apresentou melhoria de apenas 3%, sendo assim, ainda pode ser indicada a utilização dos modelos não bayesianos uma vez que são mais simples de aplicar em pesquisas.

### 2. INTRODUÇÃO

Experimentos são planejados para responder uma variedade de questões científicas em diversas áreas. Contudo, o planejamento de experimentos está sempre cercado de restrições econômicas, operacionais e principalmente, em se tratando de animais, éticas. Quando experimentos são bem planejados tornam-se uma forma eficiente e confiável de investigação e aprendizado. No entanto, quando mal planejados desperdiçam recursos e produzem estimativas e previsões imprecisas, muitas vezes pouco úteis que acarretam em perda de dados e necessidade de repetição da pesquisa, o que impacta nas restrições econômicas e muitas vezes éticas.

As variâncias das estimativas dos parâmetros, bem como das previsões, dependem do delineamento experimental, uma vez que quando um experimento é bem delineado é possível se obter menores variâncias o que permite uma estimativa mais confiável dos parâmetros e torna possível realizar conclusões mais fidedignas baseadas nos dados coletados.

As estimativas dos parâmetros e as previsões da resposta, frequentemente, são o principal interesse do ajuste de modelos de regressão em dados experimentais. Modelos de regressão linear e não linear são predominantemente utilizados para respostas normais, enquanto que os modelos lineares generalizados são empregados em respostas de contagem e binárias.

Sendo assim, o objetivo do trabalho é buscar o melhor ajuste para as curvas de crescimento de frangos de corte da linhagem Cobb<sup>®</sup> e, após o ajuste, obter um delineamento ótimo visando minimizar as variâncias das estimativas e melhorar a previsão do modelo.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1. MODELOS NÃO LINEARES PARA CURVAS DE CRESCIMENTO DE FRANGOS DE CORTE

A principal razão/vantagem da utilização de modelos de regressão não lineares (MRNL) para descrição de curvas de crescimento são em detrimento da informação advinda dos parâmetros, mesmo quando em menor número é capaz de estimar as taxas de crescimento e peso apenas com o fornecimento das coordenadas de peso e tempo (LAIRD; HOWARD, 1967). Vários MRNL vem sendo utilizados a fim de descrever curvas de crescimento, na Tabela 1 são apresentados alguns modelos conhecidos.

Quando aplicado este modelo para a área de produção animal, assim como para frangos de corte, os MRNL permite conhecer a função de crescimento da população. Sendo assim, é possível alterar estratégias de alimentação, selecionar animais e, como consequência, será possível ter maior controle no ganho de peso dos mesmos.

Tabela 1 – MRNL utilizados para descrever curvas de crescimento.

| MRNL                        | CURVA DE CRESCIMENTO  |
|-----------------------------|---|
| Von Bertalanffy             | $y_i = A(1 - b \exp^{-kt_i})^3 + e_i$                       |
| Brody                       | $y_i = A(1 - b \exp^{-kt_i}) + e_i$                         |
| Gompertz                    | $y_i = A \exp^{(-\exp(b-kt_i))} + e_i$                      |
| Logístico                   | $y_i = \frac{A}{(1 + \exp^{(b-kt_i)})} + e_i$               |
| Richards                    | $y_i = \frac{A}{(1 + \exp^{(b-kt_i)})^{1/m}} + e_i$         |
| Schnute                     | $y_i = \frac{A}{(1 + m \cdot \exp^{(b-kt_i)})^{1/m}} + e_i$ |
| Mitscherlich                | $y_i = A(1 - \exp^{(kb-kt_i)}) + e_i$                       |
| Meloun I                    | $y_i = A - b \cdot \exp^{(-kt_i)} + e_i$                    |
| Meloun II                   | $y_i = A - \exp^{(-b-kt_i)} + e_i$                          |
| Michaelis-Menten            | $y_i = \frac{At_i}{t_t + b} + e_i$                          |
| Michaelis-Menten Modificado | $y_i = \frac{b \cdot k^m + At_i^m}{k^m + t_i^m} + e_i$      |
| Weibull                     | $y_i = A - b \cdot \exp^{-\exp^k t_i^m} + e_i$              |

$y_i$  - valor observado; A - peso assintótico; b - constante de integração; k - índice de maturidade,  $t_i$  - tempo dado em dias, m - parâmetro que dá forma à curva;  $e_i$  - erro aleatório.

Fonte: RIBEIRO(2014)

Alguns trabalhos vêm sendo desenvolvidos com MRNL para ajuste de curva de crescimento de frangos de corte. Aggrey (2002) testou os modelos de Richards, Gompertz e Logística para 405 frangos, o autor relatou que os modelos de Richards e Gompertz apresentaram

melhor ajuste, entretanto o modelo Logístico foi o que apresentou o pior ajuste da curva. Entretanto, Freitas (2005) avaliou os modelos Brody, Von Bertalanffy, Logístico, Gompertz e Richards e os modelos Gompertz e Logísticos foram os que apresentaram melhor ajuste. Uma pesquisa que avaliou especificamente frangos de corte da linhagem Pilch testou os modelos Gompertz, Logístico, Richards e Von Bertalanffy e, novamente, os modelos Gompertz e Logístico foram os que apresentaram melhor ajuste (FREITAS et al., 1984).

Porém, em se tratando de frangos de corte, o melhoramento genético destes animais teve uma evolução muito acelerada, um exemplo é a pesquisa supracitada de Freitas et al. (1984) onde os animais atingiram idade de abate apenas aos 68 dias, o que não ocorre mais atualmente, onde os frangos de corte atingem idade de abate entre 35-49 dias dependendo da linhagem. Este fator pode alterar consideravelmente a curva de crescimento destas aves e, conseqüentemente, o MRNL que teria melhor ajuste à curva, sendo assim necessários novos estudos.

### 3.2. DELINEAMENTOS ÓTIMOS

Em Estatística Experimental, assim como em experimentos com animais, o termo delineamento está associado à forma como é feito o controle local. Nessa área são introduzidos os delineamentos inteiramente casualizado, em blocos completos casualizados, em quadrado latino e em blocos incompletos balanceados, por exemplo. Além de definir o delineamento, as decisões no planejamento incluem definir a unidade experimental, o número de repetições dos tratamentos, como realizar a casualização e aperfeiçoar o controle local (SAKOMURA; ROSTAGNO, 2016).

Aspectos econômicos, operacionais e éticos impõem restrições para a realização de um experimento ou estudo por amostragem. O problema natural do delineamento ótimo de experimentos é, portanto, como tomar decisões para a realização do experimento de tal forma a maximizar o ganho de informação e minimizar os riscos diante das limitações para sua execução.

#### 3.2.1. Critérios e métodos para obtenção de delineamentos

Um critério de otimabilidade para modelos de regressão, é expresso como função  $\varphi$  da matriz de covariância das estimativas dos parâmetros do modelo,  $Cov(\theta, x)$ .

Em delineamentos ótimos, um delineamento, denotado por  $\xi$ , corresponde a um conjunto de  $n$  vetores com  $x$  dimensões e  $k$  números de fatores estudados. Ou seja, o conjunto dos vetores representa as  $n$  combinações estudadas dos  $k$  fatores do experimento.

Um delineamento  $\xi$  é  $\varphi$ -ótimo se obtém-se sobre os valores possíveis de  $x$  em uma região experimental delimitada  $X$ , com  $n$  pontos de suporte, o ótimo da função  $\varphi$ , ou seja:

$$\varepsilon(x, n) = \arg_{x \in X} \max \varphi(Cov(\theta, x))$$

Pode-se trabalhar diretamente com a matriz de informação de Fisher, que corresponde ao hessiano da função de log-verossimilhança, ao invés da matriz de covariância para modelos diferentes dos apresentados aqui. Os critérios de otimizabilidade são usualmente representados por letras maiúsculas, motivadas pela função critério empregada, sendo os mais comuns descritos a seguir:

#### 3.2.1.1. Critério D-ótimo

O critério D-ótimo visa minimizar o determinante da matriz covariância dos parâmetros ( $Cov(\theta, x)$ ), o que é igual a minimizar a variância generalizada das estimativas ou reduzir o volume da região de confiança dos parâmetros. Este é um critério voltado para estimação precisa dos parâmetros (ATKINSON; DONEV; TOBIAS, 2007).

#### 3.2.1.2. Critério G-ótimo

G-ótimo é o critério que minimiza o maior elemento da matriz de projeção do modelo ( $H = X(X^T X)^{-1} X$ ) que tem o efeito de minimizar a maior das variâncias entre os valores preditos, sendo este um critério voltado para predição precisa (ATKINSON; DONEV; TOBIAS, 2007).

#### 3.2.1.3. Critério A-ótimo

Este critério tem como objetivo minimizar o traço da matriz de covariância, o que corresponde a minimizar a variância média das estimativas (ATKINSON; DONEV; TOBIAS, 2007).

#### 3.2.1.4. Critério E-ótimo

O E-ótimo procura maximizar o menor dos autovalores da decomposição da matriz de covariância (ATKINSON; DONEV; TOBIAS, 2007).

#### 3.2.1.5. Critério V-ótimo

O V-ótimo tem por finalidade minimizar a variância de predição sobre um conjunto fixo de  $m$  novos pontos experimentais (ATKINSON; DONEV; TOBIAS, 2007).

#### 3.2.1.6. Outros critérios

Existem também critérios que não são construídos sobre a matriz de covariância. Santos & Santos (2008) propuseram um método para obtenção de delineamento ótimo para modelo de regressão não linear (MRNL) que é baseado em preencher a região experimental com pontos dando preferência para regiões com maior taxa da função.

### 3.3. DELINEAMENTO ÓTIMO BAYESIANO

Um delineamento ótimo Bayesiano é considerado um delineamento mais robusto, no entanto exige mais recursos computacionais, o que dificulta sua aplicação (OVERSTALL et al., 2017). Este modelo de delineamento é definido quando se maximiza todos os possíveis delineamentos, onde se obtém a distribuição conjunta de todas as quantidades desconhecidas incluindo as variáveis respostas, ainda não observadas (CHALONER; VERDINELLI, 1995). Neste modelo de delineamento são utilizadas ideias da estatística Bayesiana através da incorporação de

informações a priori sobre o  $\theta$  visando estabelecer um delineamento ótimo menos sensível a valores particulares (SANTOS, 2010).

Chaloner (1984) desenvolveu o delineamento ótimo Bayesiano, no entanto, devido aos escassos recursos computacionais disponíveis, o modelo era utilizado apenas em desenhos experimentais de pequenas dimensões (OVERSTALL et al., 2017; RYAN et al., 2016). Recentemente, OVERSTALL et al. (2017) começaram a utilizar modelos de simulação onde cadeia de Markov Monte Carlo e algoritmos sequenciais Monte Carlo são utilizados a fim de resolver problemas mais complexos deste delineamento ótimo (RYAN et al., 2016). No entanto, Overstall & Woods (2017) apresentaram recentemente uma metodologia geral que é capaz de encontrar modelo ótimo Bayesiano de alta dimensão usando o algoritmo *approximate coordinate exchange* (ACE). Baseado neste algoritmo, desenvolveu um pacote do programa R intitulado *acebayes* que facilita a utilização deste modelo de delineamento para pesquisadores menos experientes.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. MANEJO DOS ANIMAIS

O trabalho foi conduzido na unidade experimental de frangos de corte da empresa Impextraco Latin America localizada em Fernandes Pinheiro – PR.

Foram avaliados 2520 frangos de corte da linhagem Cobb<sup>®</sup>, os quais foram divididos em 65 boxes (40 aves por box) de 3m<sup>2</sup> com comedouro tipo pendular e bebedouro tipo *nipple*. Para realizar o controle ambiental a granja é equipada com aquecedores tipo campânula a gás, nebulizadores e ventiladores, diariamente era realizado o controle de temperatura do galpão. Todos os animais tiveram acesso *ad libitum* à ração e água e semanalmente era realizada a pesagem dos animais.

No momento do alojamento, os animais foram pesados um a um e foi realizada a blocagem de acordo com o peso corporal inicial, eliminando-se este possível efeito nos dados. O experimento iniciou com pintinhos de um dia de idade e o término ocorreu na idade de abate dos animais (42 dias).

### 4.2. ANÁLISES ESTATÍSTICAS E TRATAMENTO DOS DADOS

#### 4.2.1. Ajuste de curvas de crescimento

A partir dos dados coletados foi utilizado o modelo Logístico de ajuste uma vez que em literatura é amplamente utilizado em literatura, conforme demonstrado abaixo:

$$f(x, \theta_{ain}, \theta_{asp}, \theta_{xmd}, \theta_{scl}) = \theta_{ain} + \frac{\theta_{asp} - \theta_{ain}}{1 + \exp\left\{-\frac{-(x - \theta_{xmd})}{\theta_{scl}}\right\}}$$

Onde:

$x$  - Variável idade dos animais (dias);

$\theta_{ain}$  - assíntota inferior;

$\theta_{asp}$  - assíntota superior e representa o peso máximo dos animais;

$\theta_{xmd}$  - tempo corresponde a troca de concavidade da curva de crescimento o onde está localizada a maior taxa de crescimento;

$\theta_{scl}$  - parâmetro inversamente proporcional à taxa de crescimento máxima

Foi inicialmente ajustada uma única curva aos dados, ignorando a estrutura experimental de tratamentos e repetições. Em seguida, foram feitos ajustes individualizados por unidade experimental, resultante da combinação de 7 tratamentos com 9 repetições que resulta em 63 unidades experimentais, portanto, 63 curvas ajustadas.

Após feita a análise do conjunto de curvas ajustadas, juntamente com informações da literatura, isso permitirá a elucidação de prioris para obtenção de delineamentos ótimos.

#### 4.2.2. Delineamentos Ótimo

Foram avaliados 6 tipos distintos de delineamento ótimo, sendo o primeiro o método regularmente espaçado que é o usual da unidade experimental, o método proposto por Santos & Santos (2008), onde a solução dos autores corre em duas dimensões que se parece com mesh de triângulos e os demais métodos foram baseados em delineamento ótimo Bayesiano que foram obtidos usando-se o algoritmo da troca de coordenada aproximada, implementado no pacote *acebayes* do R, conforme descrito abaixo:

- a) Delineamento regularmente espaçado (RE) de 7 dias: {1, 7, 14, 21, 28, 35, 42}. Para ser uma progressão geométrica perfeita, o primeiro ponto de suporte deveria ser o 0. No entanto, esse é conjunto de pontos de suporte usado na prática.
- b) Delineamento obtido pela abordagem de Santos & Santos (2008) (SS).
- c) Delineamento Bayesiano com prioris uniformes para os parâmetros (U) - estes delineamentos as prioris usadas foram elucidadas via análise exploratória dos ajustes feitos por unidade experimental. Com isso delimitou-se os extremos das distribuições uniformes para cada parâmetro do modelo logístico. As prioris são independentes entre os parâmetros.
- d) Delineamento Bayesiano com prioris Gaussianas para os parâmetros (N) - As prioris usadas foram elucidadas via análise exploratória dos ajustes feitos por unidade experimental. Com isso determinou-se a média e variância para as distribuições Gaussianas de cada parâmetro do modelo logístico. As prioris são independentes entre os parâmetros.



- e) Delineamento c) mas com restrição de intervalo mínimo de 5 dias entre observações (UR) - este delineamento preserva as configurações do c), no entanto, é incluída a restrição de que as observações consecutivas devem estar espaçadas de pelo menos 5 dias.
- f) Delineamento d) mas com restrição de intervalo mínimo de 5 dias entre observações (NR) - este delineamento preserva as configurações do d), no entanto, é incluída a restrição de que as observações consecutivas devem estar espaçadas de pelo menos 5 dias.

Todos os delineamentos serão avaliados dentro do domínio real limitado em  $[1,42]$ . A função utilidade ou critério de otimizabilidade será o D-ótimo.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. AJUSTE LOGÍSTICO DAS UNIDADES EXPERIMENTAIS

Os dados experimentais de peso corporal dos animais apresentaram bom ajuste de acordo com o modelo logístico (Tabela 2 e Figura 1). Sendo assim possível utilizar este ajuste para o teste de delineamentos ótimos.

Tabela 2 – Ajuste logístico dos dados experimentais.

| Parâmetros | Estimador | Erro padrão | Valor t | Pr(> t ) |
|------------|-----------|-------------|---------|----------|
| ain        | -0,163    | 0,018       | -9,056  | 0,000    |
| asp        | 4,539     | 0,088       | 51,824  | 0,000    |
| xmd        | 32,746    | 0,366       | 89,530  | 0,000    |
| scl        | 10,110    | 0,241       | 42,007  | 0,000    |

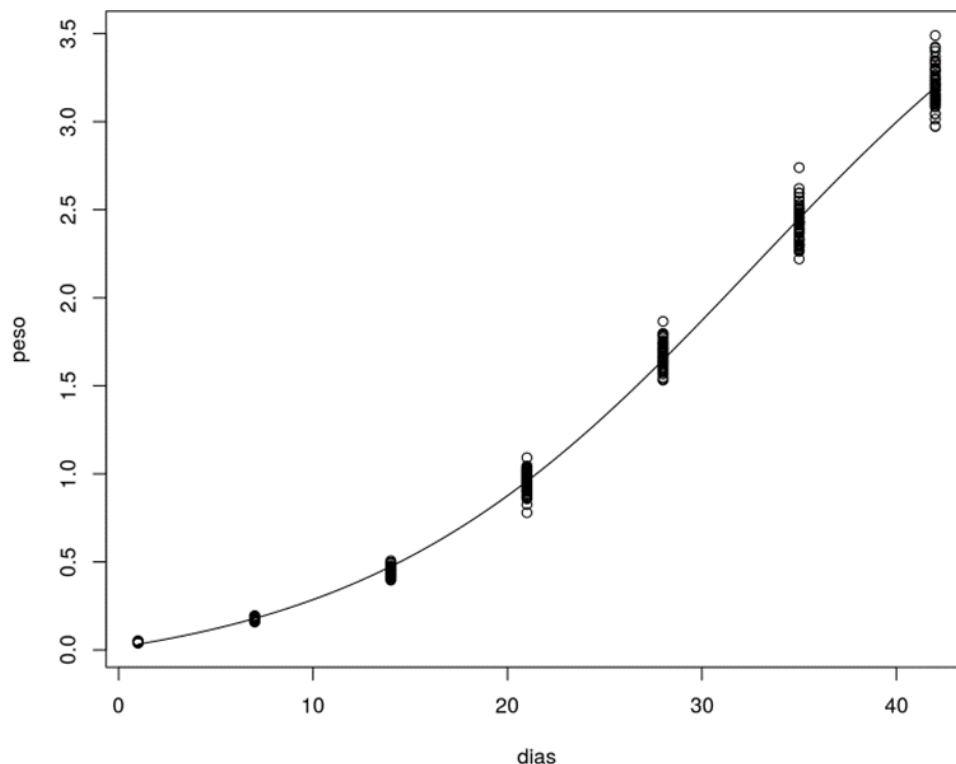


Figura 1 – Gráfico de ajuste logístico dos dados.

## 5.2. OBTENÇÃO DO MODELO ÓTIMO

Com base no ajuste logístico realizado previamente, foi obtido os modelos ótimos segundo diferentes metodologias acima citadas. A Tabela 3 mostra a comparação dos resultados segundo cada método avaliado.

Tabela 3 - Delineamentos obtidos com as metodologias avaliadas.

| RE | SS    | U     | UR    | N     | NR    |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1  | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |
| 7  | 11,25 | 1     | 6,07  | 1     | 6,07  |
| 14 | 21,5  | 18,62 | 15,95 | 18,36 | 15,95 |
| 21 | 26,62 | 18,63 | 21    | 18,36 | 21    |
| 28 | 31,75 | 33,03 | 29,93 | 32,75 | 29,93 |
| 35 | 36,88 | 33,04 | 35    | 32,76 | 35    |
| 42 | 42    | 42    | 42    | 42    | 42    |

RE: regularmente espaçado; SS: Santos & Santos (2008); U: Bayesiano com priores uniformes; UR: Bayesiano com priores uniformes com restrições; N: Bayesiano com priores Gaussianas; NR: Bayesiano com priores Gaussianas e restrição;

O delineamento de Santos & Santos (2008) resultou em uma disposição de pontos de suporte mais concentrada do lado direito, região do domínio onde a curva apresenta maior taxa de crescimento. Os delineamentos Bayesianos uniforme e gaussiano ficaram bem próximos e apresentaram, apenas 4 pontos de suporte uma vez que os três primeiros pontos de suporte foram duplicados. Arredondando-se para o inteiro mais próximo e tomando apenas os valores únicos, dos delineamentos são {1, 19, 33, 42} e {1, 18, 33, 42} para o uniforme e o gaussiano, respectivamente. No entanto, os delineamentos Bayesianos uniforme e gaussiano com restrição de espaçamento mínimo de 5 dias foram idênticos considerando a precisão preconizada no estudo. Sendo assim, é possível afirmar que a restrição eliminou o efeito das priores da determinação dos pontos de suporte.

A Tabela 4 mostra os resultados de eficiência relativa de cada modelo testado comparado aos modelos Bayesianos, onde valores maiores indicam melhor eficiência do modelo.

Tabela 4 - Eficiência relativa dos delineamentos (linhas) em relação a cada um dos delineamentos Bayesianos (colunas).

|    | U      | UR     | N      | NR     |
|----|--------|--------|--------|--------|
| U  | 100,00 | 102,61 | 99,98  | 102,89 |
| UR | 97,45  | 100,00 | 97,17  | 100,00 |
| N  | 99,98  | 102,60 | 100,00 | 102,91 |
| NR | 97,45  | 100,00 | 97,17  | 100,00 |
| RE | 96,48  | 99,00  | 96,04  | 98,84  |

A Figura 2 apresentam os dados de cada modelos ótimo testado com as linhas verticais demonstrando os pontos de suporte resultantes de cada análise.

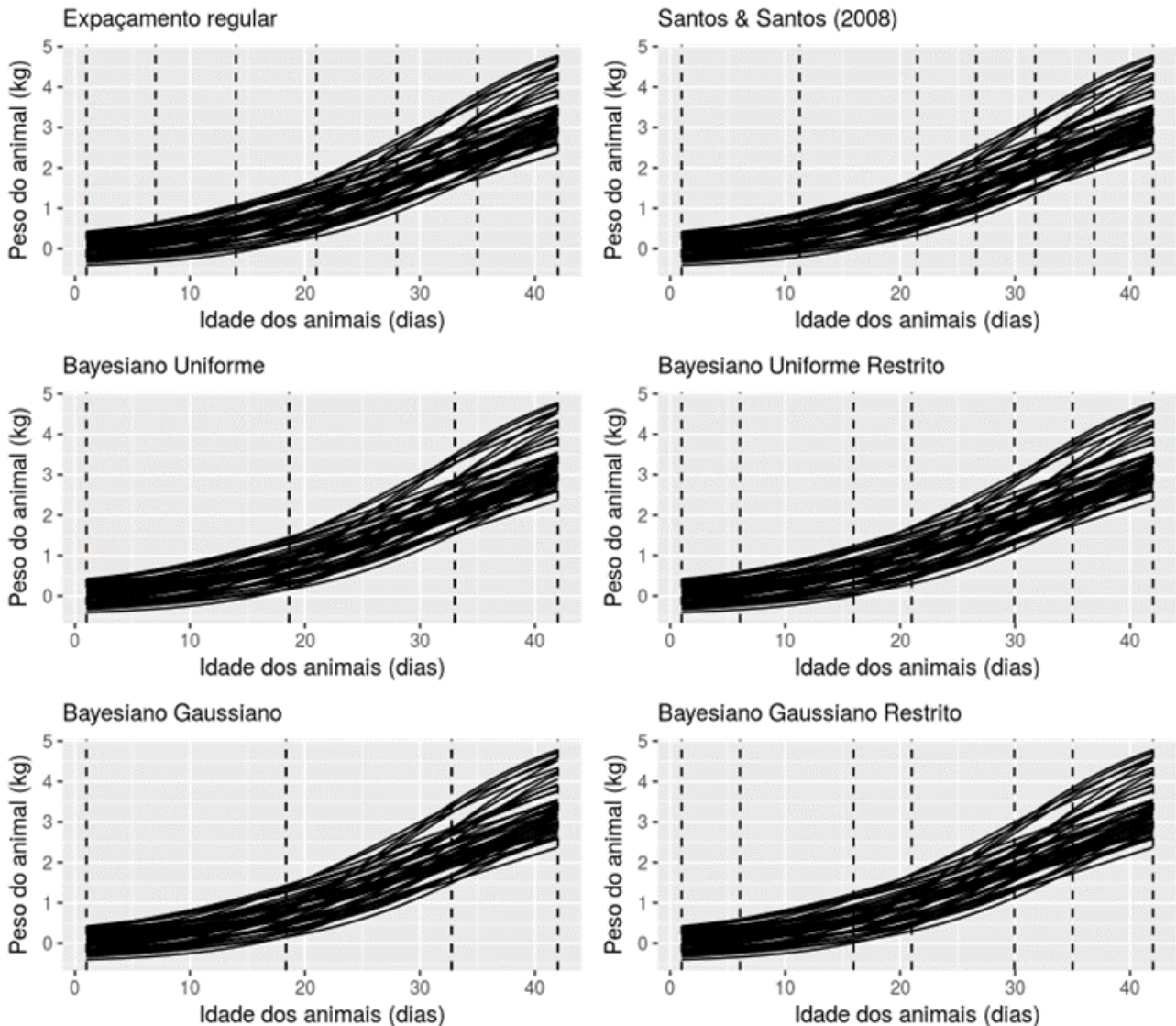


Figura 2 - Curvas simuladas a partir das priores uniformes. As linhas verticais tracejadas indicam os pontos de suporte de cada delineamento avaliado

Os delineamentos Bayesianos uniforme e Gaussiano foram os mais eficientes, já os dois modelos com restrição foram menos eficientes que os não restritos. Isso mostra que a restrição no domínio reduziu a eficiência considerando o critério D-ótimo. Por outro lado, a eficiência não passou de 3% e dessa forma, talvez seja mais aconselhável, assumir na prática os delineamentos com restrição que, por terem mais pontos de suporte, permitem que modelos mais complexos sejam também ajustados aos dados.

A eficiência do delineamento de Santos & Santos (2008) foi ainda inferior aos delineamentos com restrição, porém esta diferença não ultrapassou de 3%. Sendo assim, devido a facilidade de obtenção de delineamentos com o algoritmo sequencial, esta abordagem é indicada mesmo com a menor eficiência.

O delineamento regularmente espaçado ficou muito próximo aos delineamentos Bayesianos com restrição. Esse fato era esperado já que a restrição de separação mínima de 5 dias força um delineamento aproximadamente regular dentro de um intervalo de 42 dias.

## 6. CONCLUSÕES

Apesar da melhor eficiência do modelo quando se utilizam os modelos ótimos bayesianos, em especial os sem restrição, ainda pode-se indicar a utilização do delineamento de Santos & Santos (2008) e do delineamento regularmente espaçado uma vez que o ganho não ultrapassou 3% e estes modelos são mais simples de aplicar.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGGREY, S. E. Comparison of three nonlinear and Spline Regression Models for describing Chicken Growth Curves. **Poultry science**, v. 81, n. 15, p. 1782–1788, 2002.

ATKINSON, A.; DONEV, A.; TOBIAS, R. **Optimum Experimental Designs, With SAS**. 1ª ed. [s.l.] Oxford University Press, 2007.

CHALONER, K. Optimal Bayesian experimental design for linear models. **The Annals of Statistics**, v. 12, n. 1, p. 283–300, 1984.

CHALONER, K.; VERDINELLI, I. Bayesian Experimental Design : A Review. **Statistical Science**, v. 10, n. 3, p. 273–304, 1995.

FREITAS, A. R. et al. Modelos de curvas de crescimento em frangos de corte. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 19, n. 9, p. 1057–1064, 1984.

FREITAS, A. R. Curvas de crescimento na produção animal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 3, p. 786–795, 2005.

LAIRD, A. K.; HOWARD, A. Growth Curves in Inbred Mice. **Nature**, v. 213, n. 5078, p. 786–788, fev. 1967.

OVERSTALL, A. M.; WOODS, D. C. Bayesian Design of Experiments Using Approximate Coordinate Exchange. **Technometrics**, v. 59, n. 4, p. 458–470, 2 out. 2017.

OVERSTALL, A.; WOODS, D.; ADAMOU, M. acebayes: An R Package for Bayesian Optimal Design of Experiments via Approximate Coordinate Exchange. **Technometrics**, v. 59, n. 4, p. 458–470, 23 maio 2017.

RIBEIRO, J. C. **Identidade de modelos não lineares e regressão aleatória para o estudo da curva de crescimento de codornas de corte em diferentes gerações sob seleção**. [s.l.] Universidade Federal de Viçosa, 2014.

RYAN, E. G. et al. **Fully Bayesian Optimal Experimental Design: A Review**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://eprints.qut.edu.au/75000/1/75000.pdf>>.

SAKOMURA, N. K.; ROSTAGNO, H. S. Planejamento dos experimentos com monogástricos. In: **Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos**. 2ª ed. Viçosa - MG: Funep, 2016. p. 2–17.

SANTOS, M. B. **Delineamentos Ótimos Para Experimentos Farmacocinéticos**. [s.l.] UNESP-Botucatu, 2010.

SANTOS, M. I. R.; SANTOS, P. M. R. Sequential experimental designs for nonlinear regression simulation metamodels. **Simulation modelling practice and theory**, v. 16, n. 9, p. 1365–1378, out. 2008.

## 8. RELATÓRIO DE ATIVIDADES

### 8.1. RESUMOS

- KOWALSKI, L.H.; ZEVIANI, W.M. **Delineamento ótimo para curvas de crescimento de frangos de corte**. 63º RBras, Curitiba – PR, 2018 (resumo em anexo).

### 8.2. PARTICIPAÇÃO EM CURSOS

- 63ª Reunião Anual da região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria (certificado em anexo).

### 8.3. APRESENTAÇÃO DE TRABALHOS

- Apresentação de pôster referente ao resumo intitulado: **Delineamento ótimo para curvas de crescimento de frangos de corte**. No 63º RBras, Curitiba-PR (banner apresentado em anexo).

## 9. APRECIÇÃO DO ORIENTADOR

### 9.1. RELATÓRIO CIENTÍFICO E DESEMPENHO DO BOLSISTA NO PROJETO:

A bolsista de IC Luciana H. K. desenvolveu o projeto de forma comprometida. Ela foi sempre assídua às reuniões e, também, sempre foi atenta aos prazos estabelecidos. Os dados usados no projeto referem-se ao contexto de trabalho da aluna, então foram conseguidos por ela e tem bastante relevância prática. Pela aluna ser bacharel em Medicina Veterinária, ela acrescenta muito sentido prático aos resultados desenvolvidos no projeto, tornando-o as abordagens não meramente estatísticas, mas multidisciplinares.

### 9.2. DESEMPENHO ACADÊMICO DO BOLSISTA, ACOMPANHADO DO HISTÓRICO ESCOLAR:

O desempenho acadêmico da Luciana manteve-se satisfatório, estável e similar aos demais alunos do Curso. Ela tem participado das disciplinas regulares do Curso e feito disciplinas optativas.

Curitiba, 10 de agosto de 2018.

Prof. Dr. Walmes Marques Zeviani

Acadêmica Luciana Helena Kowalski



Aluno: LUCIANA HELENA KOWALSKI

Matrícula: GRR20160231

Curso: 16A - Curso de Estatística - Noturno

Versão: 2011

| S. D.                                | Código | Nome Disciplina / Atividade                 | C. H.                            | Média / Conceito | Freq.  | Situação                   | Local                                     |
|--------------------------------------|--------|---|----------------------------------|------------------|--------|----------------------------|---|
| <b>Período: 2o. Semestre de 2016</b> |        |   |                                  |                  |        |                            |   |
| A                                    | CE080  | FUNDAMENTOS BÁSICOS PARA ESTATÍSTICA        | 120                              |                  | 100,00 | Equivalência de Disciplina |   |
| A                                    | CE081  | ESTATÍSTICA DESCRITIVA E INFERENCIAL BÁSICA | 120                              |                  | 100,00 | Equivalência de Disciplina |   |
| A                                    | CE082  | SEMINÁRIOS                                  | 30                               | 88,00            | 86,67  | Aprovado                   |   |
| A                                    | CE083  | ESTATÍSTICA COMPUTACIONAL I                 | 60                               | 79,00            | 98,33  | Aprovado                   |   |
| A                                    | CI240  | Fundamentos de Programação                  | 60                               | 79,00            | 90,00  | Aprovado                   |   |
| A                                    | CM041  | Cálculo I                                   | 90                               | 54,00            | 100,00 | Aprovado                   |   |
| A                                    | CM045  | Geometria Analítica                         | 60                               | 80,00            | 100,00 | Aprovado                   |   |
|                                      |        |   | <b>Carga Horária no Período:</b> | 540              |        |                            | <b>Índice de Rendimento Acad.:</b> 0,7260 |
| <b>Período: 1o. Semestre de 2017</b> |        |   |                                  |                  |        |                            |   |
| A                                    | CE084  | PROBABILIDADES A                            | 90                               |                  | 100,00 | Trancamento Total          |   |
| A                                    | CI202  | Métodos Numéricos                           | 60                               |                  | 100,00 | Trancamento Total          |   |
| A                                    | CM005  | Álgebra Linear                              | 60                               |                  | 100,00 | Trancamento Total          |   |
| A                                    | CM042  | Cálculo II                                  | 90                               |                  | 100,00 | Trancamento Total          |   |
|                                      | TRT001 | TRANCAMENTO TOTAL                           | 0                                |                  | 0,00   | Trancamento Total          |   |
|                                      |        |   | <b>Carga Horária no Período:</b> | 0                |        |                            | <b>Índice de Rendimento Acad.:</b> 0,0000 |
| <b>Período: 2o. Semestre de 2017</b> |        |   |                                  |                  |        |                            |   |
| A                                    | CE084  | PROBABILIDADES A                            | 90                               | 71,00            | 95,56  | Aprovado                   |   |
| A                                    | CI202  | Métodos Numéricos                           | 60                               | 70,00            | 76,67  | Aprovado                   |   |
|                                      |        |   | <b>Carga Horária no Período:</b> | 150              |        |                            | <b>Índice de Rendimento Acad.:</b> 0,7060 |
| <b>Período: 1o. Semestre de 2018</b> |        |   |                                  |                  |        |                            |   |
| A                                    | CE062b | TÓPICOS ESPECIAIS DE ESTATÍSTICA II         | 60                               | 81,00            | 100,00 | Aprovado                   |   |
| A                                    | CM005  | Álgebra Linear                              | 60                               | 92,00            | 100,00 | Aprovado                   |   |
| A                                    | CM042  | Cálculo II                                  | 90                               | 82,00            | 100,00 | Aprovado                   |   |
|                                      |        |   | <b>Carga Horária no Período:</b> | 210              |        |                            | <b>Índice de Rendimento Acad.:</b> 0,8457 |
| <b>Período: 2o. Semestre de 2018</b> |        |   |                                  |                  |        |                            |   |
| A                                    | CE085  | ESTATÍSTICA INFERENCIAL                     | 90                               |                  | 100,00 | Matrícula                  |   |
| A                                    | CE086  | MÉTODOS DE AMOSTRAGEM                       | 90                               |                  | 100,00 | Matrícula                  |   |



Aluno: LUCIANA HELENA KOWALSKI

Matrícula: GRR20160231

Curso: 16A - Curso de Estatística - Noturno

Versão: 2011

| S. D. | Código | Nome Disciplina / Atividade | C. H.                            | Média /<br>Conceito | Freq.  | Situação                            | Local  |
|-------|--------|-----------------------------|----------------------------------|---------------------|--------|-------------------------------------|--------|
| A     | CE087  | PROBABILIDADES B            | 60                               |                     | 100,00 | Matrícula                           |        |
| A     | TP052  | Pesquisa Operacional I      | 60                               |                     | 100,00 | Matrícula                           |        |
|       |        |                             | <b>Carga Horária no Período:</b> | 300                 |        | <b>Índice de Rendimento Acad.:</b>  | 0,0000 |
|       |        |                             | <b>Total Carga Horária:</b>      | 1200                |        | <b>Índice de Rend. Acad. Geral:</b> | 0,7595 |

## Delineamento ótimo para curvas de crescimento de frangos de corte

Luciana Helena Kowalski <sup>1 3</sup>

Walmes Marques Zeviani <sup>2 3</sup>

A utilização de modelos estatísticos para descrever e ajustar curvas de crescimento animal assim como a aplicação de modelos ótimos vem sendo amplamente utilizados na produção animal. Sendo assim, o objetivo do trabalho foi ajustar o modelo de crescimento logístico por unidade experimental e obter o delineamento ótimo baseado no método proposto por Santos e Santos (2008). Foram utilizados dados de peso corporal de frangos de corte machos da linhagem Cobb<sup>®</sup>. Os animais foram blocados de acordo com o peso corporal inicial, eliminando-se este possível efeito nos dados. As pesagens, para verificação de peso corporal das aves, eram realizadas semanalmente. O ajuste pelo modelo logístico através da parametrização centro-escala, onde a assíntota superior do modelo, o ponto de inflexão da curva e o parâmetro de escala proporcional a taxa no ponto de inflexão, foram estimados. Foi aplicado o algoritmo sequencial para obtenção de delineamento ótimo, onde a pesquisa a priori preconizava pesagens semanais para descrição de curva de crescimento. No entanto, o delineamento ótimo obtido indica as pesagens com os animais nas seguintes idades: 1, 11, 22, 27, 32, 37 e 42 dias. Sendo assim, com a aplicação do modelo ótimo obteve-se um ganho médio em eficiência de 13% considerando o determinante de  $X^T X$ . Portanto, recomenda-se a utilização do delineamento ótimo em experimentos de avaliação de peso corporal de frangos de corte.

**Palavras-chave:** *aves, modelo logístico, peso corporal.*

---

<sup>1</sup>Graduanda DEST - UFPR. e-mail: [lucianahelenak@gmail.com](mailto:lucianahelenak@gmail.com)

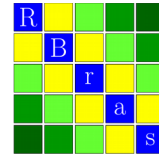
<sup>2</sup>Professor DEST - UFPR.

<sup>3</sup>Agradecimento a Fundação Araucária pelo apoio financeiro.





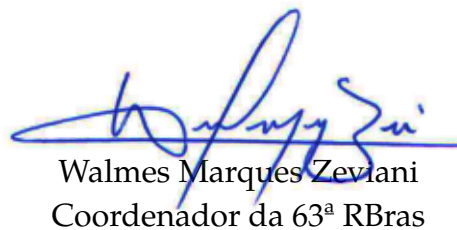
63ª Reunião Anual da Região Brasileira  
da Sociedade Internacional de Biometria  
Departamento de Estatística  
Universidade Federal do Paraná



Certificamos que **LUCIANA HELENA KOWALSKI**  
participou da 63ª Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade  
Internacional de Biometria, realizada no Campus Jardim Botânico da  
Universidade Federal do Paraná em Curitiba/PR/Brasil no período de 23  
a 25 de Maio de 2018.

Curitiba, 25 de Maio de 2018

  
Alessandro Dal'Col Lúcio  
Presidente da RBras

  
Walmes Marques Zeviani  
Coordenador da 63ª RBras



# 63<sup>a</sup> RBras | Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria

## Biometria e aprendizado estatístico na era da informação

23 a 25 de Maio de 2018  
UFPR · Curitiba · PR  
rbras.org.br/rbras63



# DELINEAMENTO ÓTIMO PARA CURVAS DE CRESCIMENTO DE FRANGOS DE CORTE

LUCIANA HELENA KOWALSKI<sup>1</sup>, WALMES MARQUES ZEVIANI<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Acadêmica do curso de estatística da Universidade Federal do Paraná (UFPR).

<sup>2</sup> Professor do curso de estatística da Universidade Federal do Paraná (UFPR).

## INTRODUÇÃO

Aspectos econômicos, operacionais e principalmente, em se tratando de animais, éticos impõem restrições para a realização de um experimento ou estudo por amostragem. O problema natural do delineamento ótimo de experimentos é, portanto, como tomar decisões para a realização do experimento de tal forma a maximizar o ganho de informação e minimizar os riscos diante das limitações para sua execução.

Modelos de regressão não linear (MRNL) vem sendo amplamente utilizados na produção animal uma vez que permitem conhecer a função de crescimento da população como um todo.

Sendo assim, o objetivo do trabalho foi ajustar o modelo de crescimento logístico por unidade experimental e obter o delineamento ótimo.

## MATERIAL E MÉTODOS

**ORIGEM DOS DADOS:** Foram utilizados dados de uma pesquisa com frangos de corte machos da linhagem Cobb®, onde foi aferido peso corporal dos animais semanalmente.

**ESTATÍSTICA:** A partir dos dados coletados foi testado o modelo logístico para o ajuste das curvas de crescimento. Este ajuste foi realizado através da parametrização centro-escala, onde a assíntota superior do modelo (Asym), o ponto de inflexão da curva (xmid) e o parâmetro de escala (scal) proporcional a taxa no ponto de inflexão, foram estimados.

Para a obtenção do delineamento ótimo foi aplicado o algoritmo sequencial baseado no método proposto por Santos & Santos (2008).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de peso corporal de frangos de corte apresentaram adequado ajuste quando aplicado o modelo logístico.

Com base no ajuste logístico realizado previamente, foi obtido o modelo ótimo, o qual preconizou pesagens nos seguintes dias experimentais: 1, 11, 23, 27, 32, 37 e 42, ao invés de pesagens semanais (Tabela 1).

Tabela 1 – Resultados obtidos do delineamento ótimo.

| DELINEAMENTO ATUAL (dias) | DELINEAMENTO ÓTIMO (dias) |
|---------------------------|---------------------------|
| 1                         | 1                         |
| 7                         | 11                        |
| 14                        | 23                        |
| 21                        | 27                        |
| 28                        | 32                        |
| 35                        | 37                        |
| 42                        | 42                        |

Com a utilização do modelo ótimo foi possível observar um ganho médio em eficiência, considerando D-ótimo, de 13%. Ou seja, o determinante de X'X é 13% maior considerando o delineamento ótimo em comparação com o delineamento atual (Figura 1).

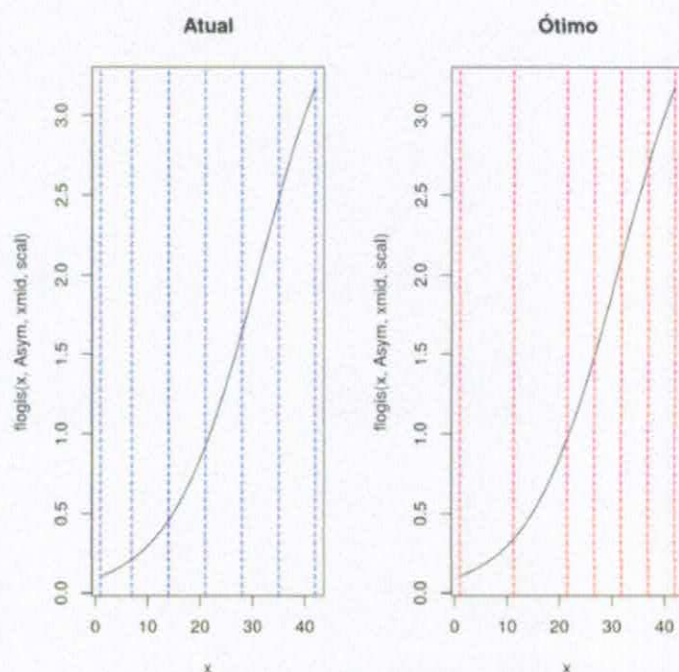


Figura 1 – Curvas de crescimento considerando o modelo utilizado atualmente X modelo ótimo obtido com as análises dos dados.

## CONCLUSÃO

Com a utilização do ajuste adequado dos dados e o delineamento ótimo foi possível verificar uma melhoria no delineamento experimental e na predição do modelo. Sendo assim, indica-se a aplicação destes modelos em pesquisas de desempenho de frangos de corte.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SANTOS, M.I.R.; SANTOS, P.M.R. Sequential experimental designs for nonlinear regression simulation metamodells. *Simulation modelling practice and theory*, v.16, n.9, p.1365-1378, 2008.



FUNDAÇÃO  
ARAUCÁRIA  
Apoio ao Desenvolvimento Científico  
e Tecnológico do Paraná

