

Delineamentos experimentais utilizados na avaliação da produção de leite

Experimental design used in the evaluation of milk production

Diseño experimental utilizado en la evaluación de la producción de leche

Recebido: 21/03/2023 | Revisado: 30/03/2023 | Aceitado: 04/04/2023 | Publicado: 09/04/2023

Andrezza Araújo de França

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5050-8812>
Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Brasil
E-mail: andrezza.franca@ufersa.edu.br

Ana Maria Duarte Cabral

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6101-1104>
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil
E-mail: amdcabral@gmail.com

Patrícia de Azevedo Castelo Branco do Vale

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1419-5403>
Universidade Federal de Sergipe, Brasil
E-mail: patriciavale78@gmail.com

Antonio Dennys Melo de Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6370-8124>
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil
E-mail: dennysmelo15@gmail.com

Francisco Fernando Ramos de Carvalho

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9211-0263>
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil
E-mail: ffrcarvalho@hotmail.com

Ariosvaldo Nunes de Medeiros

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1997-2649>
Universidade Federal da Paraíba, Brasil
E-mail: ariosvaldo.medeiros@gmail.com

Girlene Cordeiro de Lima Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6979-6321>
Universidade Federal da Paraíba, Brasil
E-mail: girlenecordeiross@gmail.com

Resumo

Objetivou-se identificar os tipos de delineamentos utilizados em experimentos para a avaliação da produção de leite, por meio de uma busca de estudos publicados na Revista Brasileira de Zootecnia (RBZ), em um período de 10 anos. Realizou-se uma busca eletrônica de artigos publicados na RBZ, que avaliaram a produção de leite caprino ou bovino no período de 2010 a 2019. Com isso, os artigos encontrados foram divididos em dois grupos, o de pesquisa com produção de leite bovino e pesquisa com produção de leite caprino. Em cada artigo foi avaliado os tipos de delineamentos experimentais utilizados. Após serem identificados, os dados foram compilados e sistematizados com o auxílio de planilha eletrônica Microsoft Excel®. Posteriormente, os dados foram organizados mediante estatística descritiva e submetidos a testes de correlação. Além disso, foi realizada uma revisão abrangente sobre cada delineamento identificado. Os delineamentos utilizados nos estudos foram, o quadrado latino (QL), em 21% (duplo = 21%; triplo = 23%; quatro = 4%) dos estudos, na sequência o delineamento em blocos casualizados (DBC) com 11%, delineamento inteiramente casualizados (DIC) com 11%, fatorial com 4% e parcelas subdivididas (P.SUB) com apenas 2%. QL com 9% (duplo = 9%; triplo = 18%; quatro = 9%); seguido por DIC com 28%, P.SUB com 18% e fatorial com 9%. Assim, a análise de variância é fundamentalmente aplicada para mensurar as diferenças entre os tratamentos de ensaios experimentais.

Palavras-chave: Estatística experimental; Teste de médias; Produção de leite.

Abstract

The objective was to identify the types of designs used in experiments to evaluate milk production, through a systematic search of studies published in the Revista Brasileira de Zootecnia (RBZ) over a period of 10 years. An electronic search was carried out for articles published in the RBZ, which evaluated the production of goat or bovine milk in the period from 2010 to 2019. With this, the articles found were divided into two groups, research with bovine milk production and research with goat milk production. In each article, the types of experimental designs used were evaluated. After being identified, the data were compiled and systematized using a Microsoft Excel® spreadsheet. Subsequently, the data were organized using descriptive statistics and submitted to correlation tests. In addition, a comprehensive review

of each identified design was performed. The designs used in the studies were the Latin square (QL), in 21% (double = 21%; triple = 23%; four = 4%) of the studies, followed by the randomized block design (DBC) with 11%, completely randomized design (DIC) with 11%, factorial with 4% and split plots (P.SUB) with only 2%. QL with 9% (double = 9%; triple = 18%; four = 9%); followed by DIC with 28%, P.SUB with 18% and factorial with 9%. Thus, analysis of variance is fundamentally applied to measure differences between treatments in experimental trials.

Keywords: Experimental statistics; Means test; Milk production.

Resumen

El objetivo fue identificar los tipos de diseños utilizados en experimentos para evaluar la producción de leche, a través de una búsqueda sistemática de estudios publicados en la Revista Brasileira de Zootecnia (RBZ) durante un período de 10 años. Se realizó una búsqueda electrónica de artículos publicados en la RBZ, que evaluaron la producción de leche caprina o bovina en el período de 2010 a 2019. Con esto, los artículos encontrados se dividieron en dos grupos, investigaciones con producción de leche bovina e investigaciones con producción de leche de cabra. En cada artículo se evaluaron los tipos de diseños experimentales utilizados. Después de ser identificados, los datos fueron compilados y sistematizados utilizando una hoja de cálculo de Microsoft Excel®. Posteriormente, los datos fueron organizados mediante estadística descriptiva y sometidos a pruebas de correlación. Además, se realizó una revisión exhaustiva de cada diseño identificado. Los diseños utilizados en los estudios fueron el cuadrado latino (QL), en un 21% (doble = 21%; triple = 23%; cuatro = 4%) de los estudios, seguido del diseño de bloques al azar (DBC) con un 11%, diseño completamente al azar (DIC) con 11%, factorial con 4% y parcelas divididas (P.SUB) con solo 2%. QL con 9% (doble = 9%; triple = 18%; cuatro = 9%); seguido de DIC con 28%, P.SUB con 18% y factorial con 9%. Así, el análisis de varianza se aplica fundamentalmente para medir diferencias entre tratamientos en ensayos experimentales.

Palabras clave: Estadísticas experimentales; Prueba de medios; Producción de leche.

1. Introdução

Os delineamentos experimentais, também chamados de desenho ou modelo experimental, servem exatamente para delinear ou esquematizar a distribuição dos fatores envolvidos no estudo de uma hipótese e tem como objetivo estabelecer relações causais entre eventos que constituem as relações sistemáticas entre variáveis que podem assumir qualquer valor de um determinado conjunto (Cabral et al., 2021; Moraes et al., 2021). Por exemplo, na tentativa de comprovar o aumento da produção de leite com o uso de determinado tipo de alimento, todos os fatores envolvidos nesta resposta serão organizados em um modelo experimental que será definido de acordo com as condições dispostas no ambiente.

Logo, conforme as condições experimentais, deve-se estabelecer um delineamento experimental que seja capaz de isolar os efeitos sistemáticos, assim como diminuir os efeitos dos fatores não controlados, e obedecer aos princípios fundamentais da experimentação: repetição, casualização e controle local (Moraes et al., 2021).

Os experimentos podem ser considerados aleatórios ou sistêmicos. Os experimentos aleatórios são aqueles em cujo planejamento entra ao acaso. Os mais importantes são: Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), Delineamento em Blocos Casualizados (DBC) e Delineamento em Quadrado Latino (DQL). Enquanto os delineamentos sistêmicos são aqueles em cujo planejamento não entra ao acaso, onde os tratamentos a serem avaliados são colocados juntos (Ferreira 2000; Moraes et al., 2021).

Segundo Ferreira Filho (2009), uma pesquisa científica estatisticamente planejada consiste nas seguintes etapas: enunciado do problema com formulação de hipóteses; escolha dos fatores (variáveis independentes) que devem ser incluídas no estudo; escolha da unidade experimental; escolha das variáveis, que serão medidas na unidade de observação; determinação das regras e procedimentos pelos quais os diferentes tratamentos (combinação de níveis de fatores) são atribuídos às unidades experimentais (ou vice-versa); análise estatística e interpretação dos resultados; e, relatório final contendo conclusões com medidas de precisão das estimativas, interpretação dos resultados com possível referência a outras pesquisas similares e sugestões para possíveis alterações em pesquisas futuras.

Desse modo, a realização de um experimento é um processo complexo no qual o pesquisador percorre várias etapas inter-relacionadas. Através do planejamento experimental busca-se obter o máximo de dados relevantes para uma melhor eficiência com o mínimo de custos, ou seja, obter o máximo de informação por unidade de investimento (Monteiro, 2002). Logo,

aspectos como tipo de delineamento experimental adequado e o planejamento correto na experimentação são fundamentais na obtenção de dados fidedignos na pesquisa científica.

Para isso, é necessário o conhecimento do pesquisador dos tipos de delineamentos existentes, quais os mais empregados em cada tipo de avaliação e como conduzi-los de maneira cientificamente eficiente e precisa. Uma técnica muito eficiente de resolver essa lacuna do conhecimento é por meio da busca e sistematização quantitativa e qualitativa de informações disponível em periódicos da área que se deseja conhecer (Santos et al., 2020).

Na sistematização quantitativa, dados obtidos de experimentos podem se apresentar como população (conjunto de todos os resultados, respostas, medidas ou contagens dos trabalhos científicos que não se restringem apenas às unidades neles estudadas). Outra forma para obtenção de dados é através de amostra (subconjunto de uma população, com a finalidade de representar esta população). Sendo assim, a sistematização por meio de estatísticas descritiva dos achados é utilizada como ferramenta científica indispensável para aceitação ou não de medidas experimentais que possam auxiliar em decisões dos sistemas produtivos. Quanto à produção de leite, por exemplo, a aplicação de diversos conhecimentos pode ser estabelecida ao longo dos anos, por afirmações fundamentadas em experimentações (Santos et al., 2020; Cabral et al., 2021).

Assim, o objetivo desse estudo foi identificar os tipos de delineamentos utilizados em experimentos para a avaliação da produção de leite, por meio de uma busca sistemática de estudos publicados na RBZ em um período de 10 anos.

2. Metodologia

Esse estudo foi conduzido por meio de uma revisão narrativa, exploratória, qualitativa e quantitativa, que permitiu identificar lacunas do conhecimento científico (Pereira et al., 2018). Foi realizada uma busca eletrônica de artigos publicados na Revista Brasileira de Zootecnia (RBZ), que avaliaram a produção de leite caprino ou bovino no período de 2010 a 2019. Com isso, os artigos encontrados foram divididos em dois grupos, o de pesquisa com produção de leite bovino e pesquisa com produção de leite caprino. Em cada artigo foi avaliado os tipos de delineamentos experimentais utilizados (Santos et al., 2020).

A escolha da RBZ como base de consulta única, é baseado na estatística inferencial, que consiste na utilização uma amostra não aleatória de uma determinada população para se obter estimativas sobre um determinado assunto a partir de dados observados (Ferreira, 2005; Frei, 2020).

Após serem identificados, os dados foram compilados e sistematizados com o auxílio de planilha eletrônica Microsoft Excel®. Posteriormente, os dados foram organizados mediante estatística descritiva e submetidos a testes de correlação.

Todos os delineamentos experimentais identificados nos artigos foram minuciosamente detalhados nesse estudo a partir de informações científicas disponíveis na literatura (Pereira, 2018).

3. Princípios da Experimentação na Avaliação da Produção de Leite

Todo e qualquer experimento deve tomar como base os três princípios da experimentação: a casualização, compreende a distribuição aleatória de um dado tratamento ou situação experimental a fim de minimizar o erro ocorrido na distribuição dos tratamentos no local a ser implantado o experimento, de modo que todos os tratamentos ou amostras tenham situações de campo semelhantes; o controle local tem como pressuposto reduzir o efeito premeditado do ambiente experimental nos dados finais a serem obtidos; já a repetição tem por finalidade reduzir o erro experimental, já que quanto maior o número de repetições, mais certeza terá o pesquisador de que quanto mais um determinado dado se repete, isso significa que este dado é o mais próximo do real para uma determinada hipótese a ser avaliada. Portanto, a depender do delineamento experimental empregado, tais princípios serão utilizados com maior ou menor rigor (Moraes et al., 2021).

O número de repetições, ou seja, número de vezes em que o tratamento aparece no experimento, tem expressiva importância, visto que, com baixo número poderá comprometer a casualização e o número de graus de liberdade do resíduo.

Menos que oito graus de liberdade do resíduo são insuficientes para se obter uma estimativa confiável do erro experimental ou variação residual (Mead, 1997). Para Ferreira (2000), quanto maior o número de repetições de um experimento, menor probabilidade de erro ele terá. O número de repetições poderá variar com os fatores ambientais onde será realizado o experimento, número de tratamentos, mão-de-obra e recursos financeiros (Cabral et al., 2021).

A casualização tem como base a distribuição aleatória dos tratamentos dentro das parcelas, de forma a permitir que os tratamentos tenham as mesmas condições de ocupar qualquer uma das parcelas. Ainda possibilita a confiabilidade da estimativa do erro experimental, pelo fato da distribuição ocorrer independente do erro (Cabral et al., 2021; Moraes et al., 2021).

O princípio do controle local tem seu efeito quando as parcelas apresentam diferenças entre si, antes mesmo de receberem os tratamentos. Assim, as parcelas poderão ser agrupadas em blocos para redução das diferenças existentes, e como consequência irá haver uma diminuição do erro experimental. O agrupamento das parcelas homogêneas em blocos pode ser constituído de acordo com a idade, peso, estágio de lactação, ordem de parição etc. De acordo com Ferreira (2000), algumas observações se fazem necessárias para formação dos blocos: quando o ambiente é homogêneo dispensa-se os blocos, todavia, havendo dúvidas quanto a homogeneidade, faz-se uso dos mesmos; em certos tipos de experimentos os blocos não contêm todos os tratamentos, sendo conhecidos como blocos incompletos; nos blocos, cada tratamento, só aparece uma única vez: em certos casos, os blocos são constituídos de mais de uma repetição dos tratamentos; e, a variação dentro dos blocos deve ser a menor possível, ao passo que a variação entre os blocos pode ser grande ou pequena.

A casualização e a repetição é que propiciam uma comparação não viciada dos tratamentos, ao passo que o controle local e a repetição permitem reduzir o erro experimental médio. Um erro experimental menor permite inferir como significativa uma diferença real pequena entre médias de tratamentos, a escolha destes deve seguir-se em função dos objetivos dos experimentos (Moraes et al., 2021).

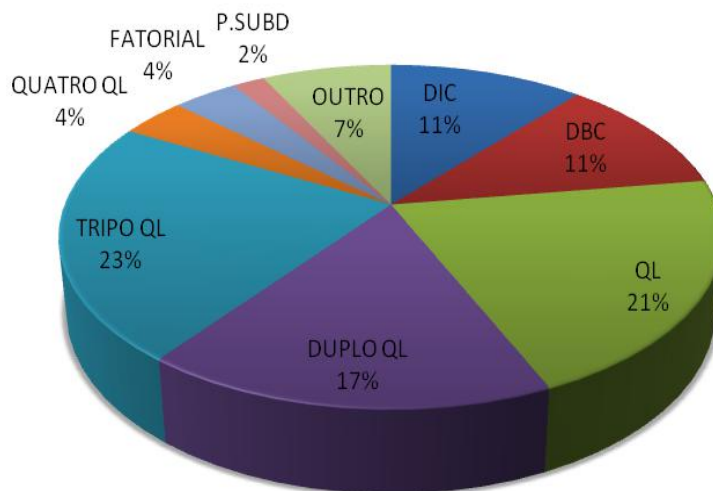
4. Resultados e Discussão

Um total de 107 artigos publicados na RBZ 10 em um período de anos avaliaram a produção de leite bovino (n : 86) e caprino (n : 21).

Nas Figuras 1 e 2, são apresentados os diferentes tipos de delineamentos experimentais identificados nos estudos de produção de leite bovino e caprino, respectivamente.

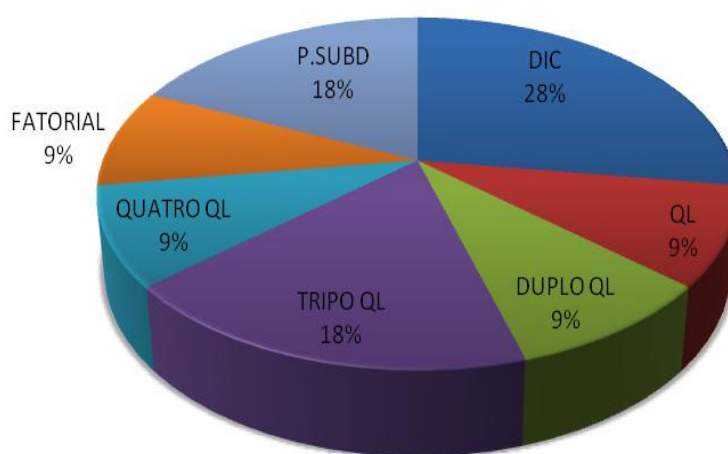
Note que, em artigos que avaliaram a produção de leite bovino (APLB) (Figura 1) os principais delineamentos utilizados foram: o quadrado latino (QL), em 21% (duplo = 21%; triplo= 23%; quatro = 4%) dos estudos; e na sequência, delineamento em blocos casualizados (DBC) com 11%, delineamento inteiramente casualizados DIC com 11%, fatorial com 4% e parcelas subdivididas (P.SUB) com apenas 2%. Já para os delineamentos utilizados nos estudos que avaliaram a produção de leite caprino os resultados mostram: QL com 9% (duplo = 9%; triplo = 18%; quatro = 9%); seguido por DIC com 28%, P.SUB com 18% e fatorial com 9% (Figura 2).

Figura 1 - Percentual de delineamentos estatísticos utilizados nas pesquisas sobre a produção leiteira bovina publicadas em 10 anos na Revista Brasileira de Zootecnia.



Fonte: Revista Brasileira de Zootecnia (2010 - 2019).

Figura 2 - Percentual de delineamentos estatísticos utilizados nas pesquisas sobre a produção leiteira caprina publicadas em 10 anos na Revista Brasileira de Zootecnia.



Fonte: Revista Brasileira de Zootecnia (2010 - 2019).

Delineamento Quadrado Latino

Observe que, a maioria dos trabalhos, tanto aqueles que avaliaram a produção de leite bovino como caprino, empregam seus tratamentos em QL (Figuras 1 e 2). Como essas espécies se tratam de animais de médio (cabras) e grande porte (vacas), este tipo de delineamento apresenta uma vantagem econômica, uma vez que se pode utilizar um reduzido número de animais. Principalmente, para produção de leite, diante da necessidade de grupos de animais homogêneos, o uso deste delineamento permite uma estimativa menos elevada do erro experimental.

O delineamento QL possui alta eficiência em relação aos resultados obtidos, sendo o delineamento estatístico mais utilizado na pesquisa voltada a produção leite, entretanto, exige que o número de tratamentos seja igual ao número de repetições. Além disso, no experimento em QL, a fim de controlar o número de repetições, geralmente o número de tratamentos é inferior a oito, visto que acima deste valor, seria necessário maior número de animais. Enquanto os experimentos em QL 3 x 3 e 4 x 4,

utiliza um número reduzido de parcelas, tornando-se necessário, que sejam usados mais de um quadrado, geralmente empregados para uma análise conjunta (Ribeiro, 2019; Cabral et al., 2021).

Os experimentos em delineamento QL levam em consideração os três princípios básicos da experimentação. Sendo eles: o controle local, que é mais eficiente quando comparado ao DBC, uma vez que a heterogeneidade do ambiente é controlada nos dois sentidos, horizontal e vertical, e os blocos são organizados de maneiras diferentes, uns constituindo as linhas, outros as colunas, e com os tratamentos distribuídos nos blocos através da casualização, de forma que cada um apareça uma só vez em cada linha e em cada coluna. Para a análise da variância do experimento em DQL, utiliza-se o modelo da ANOVA apresentado na Tabela 1 (Calegare, 2009; Cabral et al., 2021).

Tabela 1 - Análise de variância de um Delineamento Quadrado Latino.

Causa de variação	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	$t - 1$	SQ Tratamentos	QM Tratamentos	$\frac{QM \text{ Tratamento}}{QM \text{ Resíduo}}$
Linhas	$t - 1$	SQ Linhas	-	-
Colunas	$t - 1$	SQ Colunas	-	-
Resíduo	$(t - 1)(t - 2)$	SQ Resíduo	QM Resíduo	
Total	$t^2 - 1$	SQ Total		

GL = número de graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio; F = valor calculado do teste F; t = número de tratamento. Fonte: Ferreira (2000).

A organização de um quadrado latino sistemático é obtida colocando-se as letras que representam os tratamentos numa mesma ordem na linha e coluna, no qual se numera os blocos, tanto na horizontal como na vertical, apresentando o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ij} = \mu + t_i + b_j + e_{ij}.$$

Em que:

Y_{ij} = observação do tratamento i ($i = 1, 2, \dots, t$) no bloco j ($j = 1, 2, \dots, r$);

b_j = efeito no bloco j ;

μ = constante inerente a todas as observações Y_{ij} ;

t_i = efeito do tratamento i ; e,

e_{ij} = erro experimental associado à observação Y_{ij} .

Inúmeros trabalhos são encontrados na literatura com o uso de DQL para a execução de experimentos com produção de leite (Santos et al., 2021; Nascimento et al., 2022). Como os outros delineamentos experimentais, este também apresenta vantagens, assim como desvantagens em relação a outros delineamentos (Calegare, 2009; Ribeiro, 2019).

Vantagens do delineamento QL:

Há estimativas menos elevadas do erro experimental.

Desvantagens do delineamento QL:

Os blocos devem ficar num mesmo local da área experimental;

O número de tratamentos deve ser igual ao número de repetições;

O número de graus de liberdade é menor para o resíduo (devido ao controle local);

O quadrado auxiliar da ANOVA deverá estar completo para a análise estatística.

Delineamento Inteiramente Casualizado

Os resultados apresentados nas Figuras 1 e 2, mostram que 11% dos estudos que avaliaram a produção de leite bovino, e um total de 28% dos trabalhos que estudaram a produção de leite caprino, incluíram o DIC em suas pesquisas.

O DIC é considerado o mais simples de todos os delineamentos experimentais. Sendo, um delineamento estatístico básico, que deu origem aos demais. No DIC, consideram-se somente os princípios da repetição e da casualização, não tendo, portanto, o princípio do controle local (Stochero, et al., 2020).

Os tratamentos são distribuídos nas parcelas aleatoriamente (Tabela 2), e pelo fato de não apresentarem o princípio do controle local, exige-se que o ambiente onde os experimentos serão conduzidos seja o mais uniforme possível. Desta forma, tem sido adotado nos ensaios em laboratórios, gaiolas metabólicas, viveiros, ripados, estábulos, etc., desde que as condições experimentais possam ser controladas. O DIC apresenta o seguinte modelo estatístico (Calegare, 2009; Stochero, et al., 2020):

$$Y_{ij} = \mu + t_i + e_{ij}.$$

Em que:

Y_{ij} = observação do tratamento i ($i = 1, 2, \dots, t$) na repetição j ($j = 1, 2, \dots, r$);

μ = constante inerente a todas as observações Y_{ij} ;

t_i = efeito do tratamento i ; e,

e_{ij} = erro experimental associado à observação Y_{ij} .

Tabela 2 - Análise de variância de um Delineamento Inteiramente Casualizado.

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	$t - 1$	SQ Tratamentos	QM Tratamentos	$\frac{QM \text{ Tratamentos}}{QM \text{ Resíduo}}$
Resíduo	$t(r - 1)$	SQ Resíduo	QM Resíduo	
Total	$t \times r - 1$	SQ Total		

GL = número de graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio; F = valor calculado do teste F; t = número de tratamento; r = número de repetições do experimento. Fonte: Ferreira (2000).

Se $F_{calculado} \geq F_{tabelado}$, em nível de significância α , com $n_1 = t - 1$ graus de liberdade de tratamentos e $n_2 = t(r - 1)$ graus de liberdade do resíduo, rejeita-se H_0 . Caso contrário não se rejeita H_0 , condição considerada para todos os modelos experimentais (Calegare, 2009; Stochero, et al., 2020).

Este delineamento experimental apresenta certas vantagens e desvantagens importantes em relação aos demais delineamentos.

Vantagens do DIC:

Qualquer número de tratamentos ou de repetições pode ser usado;

O número de repetições pode variar de um tratamento para o outro;

A análise estatística é a mais simples;

O número de graus de liberdade para o resíduo é o maior possível.

Desvantagem do DIC:

Exige homogeneidade total das condições experimentais.

No experimento de Zambom et al. (2008), conduzido em delineamento inteiramente casualizado, dezoito cabras foram distribuídas em três tratamentos (frequências de ordenha) para avaliação da sua influência sobre a produção de leite, ingestão e digestibilidade de matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), proteína bruta (PB) e fibra em detergente neutro (FDN) no período de lactação, sendo estas duas últimas variáveis também avaliadas no período pré-parto. A análise de variância mostrou que não houve significância dos tratamentos na produção de leite, ingestão e digestibilidade da MS e MO no período de lactação. Como o $F_{calculado}$ foi maior que o $F_{tabelado}$, não houve necessidade da realização de outros testes ou análises. Das avaliações tomadas no período pré-parto observa-se que, houve significância entre as médias de ingestão de MS, MO, PB e FDN e digestibilidade de PB e FDN, com efeito linear crescente para todas as variáveis, com exceção da ingestão de FDN, cujo efeito foi decrescente.

O teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade foi suficiente para demonstrar o efeito sobre a produção de leite, ingestão e digestibilidade de matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), proteína bruta (PB) e fibra em detergente neutro (FDN) no período de lactação. O modelo estatístico utilizado foi o seguinte:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + e_{ij}$$

Em que:

Y_{ij} = observação do animal j recebendo o tratamento i , $i = 0, 50$ e 100 ;

μ = constante geral;

T_i = efeito do tratamento i , $i = 0, 50$ e 100 ;

e_{ij} = erro aleatório associado a cada observação.

Delineamento em Blocos Casualizados

Ao observar as Figuras 1 e 2, é possível visualizar que o delineamento em blocos casualizados (DBC), foi identificado apenas nos estudos que avaliaram produção de leite bovino, sendo que apresentou 11% do total geral de delineamentos empregados para essa espécie.

O DBC, também conhecido como delineamento em blocos completos casualizados, possui relativa simplicidade, flexibilidade e alta precisão nos resultados. Nos experimentos em blocos casualizados são levados em consideração os três princípios básicos da experimentação. Entretanto, o controle local é representado pelos blocos, os quais incluem todos os tratamentos. Dentro dos blocos os tratamentos são atribuídos às parcelas aleatoriamente. Para que se tenha uma boa eficiência experimental, cada bloco deverá ser o mais uniforme possível, e os blocos poderão diferir bastante uns dos outros (Tabela 3) (Calegare, 2009; Moraes et al., 2021).

No DBC, cada bloco será constituído de animais de características semelhantes. Por exemplo, utilizam-se no mesmo bloco, animais da mesma raça, da mesma idade, da mesma época de produção e de produção equivalente. Desse modo, quando há dúvidas sobre a homogeneidade do ambiente onde o experimento será conduzido deve-se utilizar o DBC, nestas condições, ele é mais eficiente do que o DIC. Cada bloco deve ser bem homogêneo (oferecer as mesmas condições a todos os tratamentos) e conter os tratamentos uma única vez, que é praticamente a forma mais utilizada. O modelo estatístico do DBC é dado por (Calegare, 2009; Moraes et al., 2021):

$$Y_{ij} = \mu + t_i + b_j + e_{ij}$$

Em que:

Y_{ij} = observação do tratamento i ($i = 1, 2, \dots, t$) no bloco j ($j = 1, 2, \dots, r$);

b_j = efeito no bloco j ;

μ = constante inerente a todas as observações Y_{ij} ;

t_i = efeito do tratamento i ; e,

e_{ij} = erro experimental associado à observação Y_{ij} .

Tabela 3 - Análise de variância de um Delineamento em Blocos Casualizados.

Causa de Variação	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	$t - 1$	SQ Tratamentos	QM Tratamentos	$\frac{\text{QM Tratamentos}}{\text{QM Resíduo}}$
Blocos	$r - 1$	SQ Blocos	QM Blocos	$\frac{\text{QM Bloco}}{\text{QM Resíduo}}$
Resíduo	$(t - 1)(r - 1)$	SQ Resíduo	QM Resíduo	
Total	$t \times r - 1$	SQ Total		

GL = número de graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio; F = valor calculado do teste F; t = número de tratamento; r = número de repetições do experimento. Fonte: Ferreira (2000).

Vantagens do DBC:

- A perda total de um ou mais blocos, ou de um ou mais tratamentos em nada dificulta a análise estatística;
- Conduz a estimativas menos elevadas do erro experimental;
- A análise estatística é relativamente simples;
- Permite, dentro de certos limites, utilizar qualquer número de tratamentos, e de blocos;
- Controla a heterogeneidade do ambiente onde o experimento será conduzido;
- Apresenta um número razoável de graus de liberdade para o resíduo.

Desvantagens do DBC:

- Exige que o quadro auxiliar da análise da variância esteja completo para poder efetuar a análise estatística;
- O princípio do controle local é usado com pouca precisão;
- Há uma redução do número de graus de liberdade para o resíduo, pela utilização do princípio do controle local.

Um exemplo prático da utilização do delineamento em blocos casualizados pode ser observado no trabalho de Porto et al. (2009). Os autores testaram o efeito de três gramíneas em dois ciclos de pastejo sobre o consumo de matéria seca, produção e composição do leite de vacas, assim como as características nutricionais da lâmina foliar, bainha e colmo de cada gramínea.

Na avaliação da pastagem, os blocos foram representados pelas próprias partes das plantas (lâmina foliar, bainha e colmo) a fim de isolar os efeitos das diferenças dentro de cada planta. Com relação às avaliações das variáveis observadas nos animais em função das gramíneas, os animais representaram os blocos, isto para reduzir as possíveis diferenças existentes entre eles. As comparações foram feitas segundo o modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_i + \alpha_j + \gamma_k + \beta\alpha_{ij} + \alpha\gamma_{ik} + \epsilon_{ijk}$$

Em que:

Y_{ijk} = variáveis dependentes da forragem do pastejo simulado: teores de MS, PB, EE, FDN, FDA, lignina, DIVMS, no bloco i , gramíneas j e ciclos de pastejo k ;

μ = constante geral;

β = efeito do bloco i , $i = 1, 2$;

α = efeito da gramínea j , $j = 1, 2, 3$;

γ = efeito do ciclo de pastejo k , da gramínea j , $j = 1, 2, 3$;

$\beta\alpha_{ij}$ = efeito da interação bloco $i \times$ gramínea j ;

$\alpha\gamma_{ik}$ = efeito da interação gramínea $j \times$ ciclo de pastejo k ; e,

ϵ_{ijk} = erro aleatório associado a cada observação ijk .

Em ambas as avaliações, as análises de variância computadas foram relativas aos tratamentos, blocos, ciclos de pastejo, bem como a interação entre blocos \times tratamentos e tratamentos \times ciclos de pastejo. Devido ao cálculo dessa interação, a análise aproxima-se de um arranjo fatorial. Foi observado que não houve interação entre gramíneas e períodos de ciclo de pastejo e entre períodos e blocos, porém houve efeito significativo das gramíneas sobre a produção de leite.

Experimentos fatoriais

Para avaliação da produção de leite bovino e caprino, observou-se (Figuras 1 e 2), que o delineamento fatorial representou 4% e 9%, respectivamente do total geral de delineamentos.

Os experimentos fatoriais, envolvem dois ou mais fatores, ou seja, são aqueles que incluem todas as combinações possíveis entre dois ou mais grupos de tratamentos, e representam os casos em que vários grupos de tratamentos são estudados simultaneamente, e a influência destes tratamentos na resposta central avaliada no experimento (Souza, 2015). Esses experimentos não constituem propriamente um delineamento estatístico, mas um esquema orientado de desdobramento de graus de liberdade de tratamentos, podendo ser instalados em qualquer um dos delineamentos apresentados anteriormente. (Calegare, 2009; Carvalho et al., 2022).

Nos experimentos fatoriais, fator e nível são termos que devem ser bem definidos: um fator é qualquer grupo de tratamentos avaliado, em tais experimentos qualquer fator inclui, obrigatoriamente, dois ou mais níveis de tratamento. Enquanto, o nível é considerado qualquer uma das subdivisões dentro do fator. Portanto, é de grande relevância em experimentos de arranjo fatorial, observar a interação entre os fatores que compõem as variáveis estudadas, tais interações podem ser consideradas positivas ou negativas a depender dos níveis de combinação entre os fatores (Perecin & Filho, 2008; Carvalho et al., 2022).

O tipo mais simples de experimento fatorial é o 2×2 (dois por dois), ou seja, são analisados dois fatores em dois níveis. Entretanto, são realizados experimentos fatoriais 3×3 , onde são envolvidos dois fatores com três níveis. Podendo ainda, serem realizados experimentos fatoriais 3×4 , 2×3 etc. Quando o número de níveis é igual para todos os fatores, estes experimentos são referidos como 2^2 , 3^2 , 2^3 etc. O expoente indica o número de fatores e a base indica o número de níveis. Desta forma, um fatorial 2^2 tem dois fatores em dois níveis e um fatorial 3^2 tem dois fatores em três níveis (Carvalho et al., 2022).

Considerando um experimento fatorial 3×2 , onde combinam-se três tratamentos A (A0, A1, A2) e dois tratamentos B (B0, B1), e quatro repetições, então tem-se o seguinte quadro auxiliar (Tabela 3) da análise da variância:

Tabela 4 - Tabela de Dupla Entrada.

Tratamentos A	Tratamentos B		Totais de Tratamentos A
	B ₀	B ₁	
A ₀	T A ₀ B ₀	T A ₀ B ₁	T A ₀
A ₁	T A ₁ B ₀	T A ₁ B ₁	T A ₁
A ₂	T A ₂ B ₀	T A ₂ B ₁	T A ₂
Totais de Tratamentos B	T B ₀	T B ₁	

Fonte: Ferreira (2000).

Para a análise da variância do experimento fatorial, utiliza-se o modelo apresentado na Tabela 5, que corresponde ao desdobramento dos graus de liberdade de tratamentos no esquema fatorial, o qual é obtido a partir de uma análise efetuada numa Tabela, proveniente do quadro auxiliar anterior, chamada de dupla entrada.

Tabela 5 - Esquema da análise da variância (quadro da anova).

Causa de Variação	GL	SQ	QM	F
Tratamentos A	t _A - 1	SQ Tratamentos A	QM Tratamentos A	$\frac{QM \text{ Tratamentos A}}{QM \text{ Resíduo}}$
Tratamentos B	t _B - 1	SQ Tratamentos B	QM Tratamentos B	$\frac{QM \text{ Tratamentos B}}{QM \text{ resíduo}}$
Interação A x B	(t _A - 1) (t _B - 1)	SQ Interação A x B	QM Interação A x B	$\frac{QM \text{ Interação AxB}}{QM \text{ resíduo}}$
Tratamentos	t - 1	SQ Tratamentos	-	-
Blocos	r - 1	SQ Blocos	-	-
Resíduo	(t - 1) (r - 1)	SQ Resíduo	QM Resíduo	
Total	t x r - 1			

GL = número de graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio; F = valor calculado do teste F; t = número de tratamentos (combinações); r = número de repetições do experimento; t_A = número de tratamentos A; t_B = número de tratamentos B. Fonte: Ferreira (2000).

Vantagens dos experimentos fatoriais:

- Melhor utilização dos recursos com maior eficiência nas análises;
- Permitem estudar os efeitos principais dos fatores e os efeitos das interações entre os fatores.

Desvantagens dos experimentos fatoriais:

- A análise estatística é mais trabalhosa;
- O número de tratamentos ou combinações cresce rapidamente, dificultando a instalação do experimento.

Um exemplo do esquema fatorial foi utilizado por Santos et al. (2018), ao avaliar variáveis fisiológicas, alterações na pelagem e produção de leite de diferentes grupos genéticos de vacas, mantidas em duas estações do ano distintas. O arranjo montado nos experimentos destes autores foi o do tipo 5x2 com 5 grupos genéticos e 2 estações do ano em delineamento inteiramente casualizado. Por meio destes experimentos, os autores concluíram que houve pouca alteração nas respostas fisiológicas dos animais em virtude de sua adaptação nas condições ambientais ao longo do ano. Com relação à produção de leite, as vacas de genótipos Holandês x Gir e Holandês x Nelore x Gir apresentaram produção superior aos outros grupos

avaliados no período do outono, por outro lado, na primavera os grupos que apresentaram produção de leite superior foram Holandês x Gir, Holandês x Zebu e Holandês x Nelore x Gir. Segundo os autores, houve diferença entre a pelagem dos diferentes grupos genéticos ao longo dos anos, no entanto, apesar das variações observadas, os grupos genéticos tiveram pelagem considerada adequada para as condições climáticas tropicais ao qual foram mantidos.

Experimentos em parcelas subdivididas

Os resultados apresentados nas Figuras 1 e 2, mostram que apenas 2% dos estudos com bovinos optaram pelo delineamento experimental em P.SUB, enquanto, os estudos com caprinos representaram para esse tipo de delineamento um total de 18%.

O esquema experimental em parcelas subdivididas se caracteriza como sendo uma variação do experimento fatorial com dois fatores. A principal característica destes experimentos é que as parcelas são divididas em subparcelas. Os tratamentos das parcelas são chamados de primários ou principais e são dispostos segundo um tipo qualquer de delineamento, sendo mais utilizados os delineamentos em blocos casualizados, com o objetivo de procurar controlar a variabilidade que possa haver no material experimental (Costa, 2003; Ferreira, 2000; Vieira, 1999; Calegare, 2009; Huerta et al., 2019).

Os tratamentos das subparcelas são chamados secundários e são dispostos aleatoriamente dentro de cada parcela. Assim, cada parcela funciona como um bloco para os tratamentos secundários. Primeiro casualizam-se os níveis do fator primário nas parcelas de cada bloco; em seguida, casualizam-se os níveis do fator secundário nas subparcelas de cada parcela (Huerta et al., 2019). Diferentes autores, são unânimes em afirmar a maior precisão existente no teste de tratamentos secundários. O modelo de esquema de parcela subdividida pode ser observado em um DBC, dado por:

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_j + \alpha_i + \delta_{ij} + \gamma_k + (\alpha\gamma)_{ik} + \epsilon_{ijk}$$

Em que:

y_{ijk} é o valor observado referente a parcela que recebeu o i -ésimo nível do tratamento principal α ;

k -ésimo nível do tratamento secundário γ no j -ésimo bloco;

μ representa uma constante geral associada a esta variável aleatória;

β_j é o efeito do j -ésimo bloco;

α_i é o efeito do i -ésimo nível do tratamento principal;

$\delta_{ij} = (\alpha\beta)_{ij}$ indica o efeito residual (parcelas), caracterizado como componente do erro (a);

γ é o efeito do k -ésimo nível do tratamento secundário;

$(\alpha\gamma)_{ik}$ é o efeito da interação do i -ésimo nível do tratamento principal α com o k -ésimo nível do tratamento secundário γ e; ϵ_{ijk} representa o efeito residual das subparcelas, caracterizado como componente do erro (b).

Vantagens das parcelas subdivididas:

Caso os níveis de um dos fatores exijam grande quantidade de material, devem ser casualizados dentro das parcelas;

Havendo informações prévias de que as diferenças entre os níveis de um dos fatores são maiores que as do outro fator;

Possibilidade de maior precisão para comparações entre níveis de um dos fatores;

Poderá se organizado onde a instalação do experimento no esquema fatorial é difícil.

Desvantagem das parcelas subdivididas:

O número de graus de liberdade do erro pode ser reduzido (existência de dois erros) um referente às parcelas e outro que equivale às subparcelas dentro das parcelas.

5. Conclusão

Os principais tipos de delineamentos utilizados avaliação da produção de leite bovino são, o quadrado latino (QL), em 21% (duplo = 21%; triplo= 23%; quatro = 4%) dos estudos, na sequência o delineamento em blocos casualizados (DBC) com 11%, delineamento inteiramente casualizados (DIC) com 11%, fatorial com 4% e parcelas subdivididas (P.SUB) com apenas 2%. Já para os delineamentos utilizados nos estudos que avaliaram a produção de leite caprino os resultados mostram: QL com 9% (duplo = 9%; triplo = 18%; quatro = 9%); seguido por DIC com 28%, P.SUB com 18% e fatorial com 9%. Assim, a análise de variância é fundamentalmente aplicada para mensurar as diferenças entre os tratamentos em ensaios experimentais.

Sugere-se pesquisas que, avaliem os delineamentos experimentais a partir de uma abordagem mais detalhadas em diferentes bases de dados.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES - Código Financeiro 001) pela bolsa de estudos.

Referências

- Cabral, A. M. D., de Lima Santos, G. C., de Carvalho, F. F. R., Lima, M. G., de França, A. A., da Silva, M. J. M. S., & Araujo, B. W. (2021). Métodos estatísticos aplicados à experimentação para avaliação da produção de leite. *Research, Society and Development*, 10(11), e464101119737-e464101119737.
- Calegare, Á. J. A. (2009). *Introdução ao delineamento de experimentos*. Editora Blucher.
- Carvalho, A. M. X. D., Souza, M. R. D., Marques, T. B., Souza, D. L. D., & Souza, E. F. M. D. (2022). Erro tipo I familiar da ANOVA e da ANOVA on ranks em experimentos fatoriais. *Ciência Rural*, 53.
- Costa, J. R. (2019). *Técnicas Experimentais aplicadas às Ciências Agrárias*. Seropédica – RJ, Documentos 163, 2003.
- Ferreira Filho, P. (2009). *Introdução ao Planejamento e Análise Estatística de Experimentos*. Universidade Federal de São Carlos – UFSCAR, Centro de Ciências Exatas e Tecnologias, 2009.
- Ferreira, P. V. (2000). *Estatística Experimental Aplicada à Agronomia*. (3a ed.), EDUFAL, 2000, 422P. 2000.
- Ferreira, P. L. (2005). *Estatística descritiva e inferencial: breves notas*.
- Frei, F. (2020). Aprendizagem baseada em problemas (abp) aplicada ao ensino de estatística inferencial não paramétrica no Ensino Superior. *Revista de Ensino de Ciências e Matemática*, 11(1), 13-26.
- Huerta, A. G, López, D. D. J. P., Arriaga, M. R, Rodríguez, F. G., Martínez, J. F., & Lara, A. P. (2019). InfoStat, InfoGen y SAS para contrastes mutuamente ortogonales en experimentos en bloques completos al azar en parcelas subdivididas. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(6), 1417-1431.
- Mead, N., et al. (1997). *The State of Software Engineering Education and Training*. IEEE Software, 14(6), 1997.
- Monteiro, L. S. (2002). *A experimentação e a experiência*. Revista portuguesa de ciências veterinárias, 117, 1-16.
- Moraes, W. S, Barros, O. H. B., de Freitas, H. C., Carneiro, A. C., da Silva Oliveira, G. R. A., de Oliveira Luciano, D., & Portella, A. C. F. (2021). Delineamento em blocos casualizados nas pesquisas em ciências agrárias: Uma revisão integrativa de literatura. *Research, Society and Development*, 10(8), e53510817616-e53510817616.
- Nascimento, M. I. D. S. S., da Silva Ferreira, F. F., Albuquerque, H. J. O., Nascimento, T. L. F., Albuquerque, H. O., Cabral, A. M. D., & de Lima Santos, G. C. (2022). Insights dos principais produtos oriundos da caprinovinocultura no Nordeste brasileiro. *Research, Society and Development*, 11(5), e41811528264-e41811528264.
- Perecin, D., & Cargnelutti Filho, A. (2008). Efeitos por comparações e por experimento em interações de experimentos fatoriais. *Ciência e Agrotecnologia*, 32, 68-72.
- Pereira, A. S., et al. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. UFSM
- Porto, P. P., Deresz, F., Santos, G. T. D., Lopes, F. C. F., Cecato, U., & Cóser, A. C. (2009). Produção e composição química do leite, consumo e digestibilidade de forragens tropicais manejadas em sistema de lotação intermitente. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38, 1422-1431.
- Ribeiro, A. D. S. (2019). *Avaliações das interações entre os efeitos do modelo estatístico do delineamento em quadrado latino*.
- Santos, G. C. L., & Cabral, A. M. D. (2021). Índices bioclimáticos, modelagem matemática e índices estatísticos para avaliação de modelos utilizados na estimativa do conforto térmico animal. *Research, Society and Development*, 10(3), e20910313328.

Santos, G. C. L., Neto, S. G., Bezerra, L. R., & de Medeiros, A. N (2020). Análise exploratória, conceitual e metodológica do uso de meta-análise aplicada às ciências animais. In: Carlos Alexandre Oelke. (Org.). *Zootecnia Nutrição e Produção Animal*. 1ed. Guarujá-SP: Científica Digital, 2020, p. 11-24.

Santos, L. V., Carvalho, C. D. C. S., Ruas, J. R. M., Diniz, T. A., da Silva, E. A., & Moreira, S. D. J. M. (2018). Impacto do microclima sobre a fisiologia, pelame e produção de leite de vacas lactantes em diferentes estações do ano. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, 17(3), 368-376.

Souza, F. A. D. (2015). *Experimentos Fatoriais Fracionados Assimétricos para Avaliação de Modelos para Previsão de Chuva no Nordeste do Brasil* (Master's thesis, Brasil).

Stochero, E. L. M., Jacobi, L. F., & Lúcio, A. D. C. (2020). Imputação de dados na análise de variância em experimentos no Delineamento Inteiramente Casualizado. *Ciência e Natura*, 42, e37-e37.

Vieira, S. (1999). *Estatística Experimental*/Sônia Vieira, (2a ed.): Atlas, 184p, 1999.

Zambom, M. A., Alcalde, C. R., Silva, K. T. D., Macedo, F. D. A. F. D., Ramos, C. E. C. O., & Passianoto, G. D. O. (2008). Desempenho e digestibilidade dos nutrientes de rações com casca do grão de soja em substituição ao milho para cabras Saanen em lactação e no pré-parto. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37, 1311-1318.