

## Transformação de dados como alternativa a análise de variância univariada

Katia A. Campos<sup>1 †</sup>, Crysttian A. Paixão<sup>2</sup>, Augusto R. de Moraes<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Instituto Federal de Educação do Sul de Minas Gerais (IFSULDEMINAS), Campus Machado

<sup>2</sup> Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Campus Curitibanos

<sup>3</sup> Universidade Federal de Lavras (UFLA), Departamento de Ciências Exatas

**Resumo:** *Em experimentos é comum a obtenção de várias variáveis respostas, as quais são submetidas a análises estatísticas individuais que levam a resultados para cada característica. Com a finalidade de apresentar uma análise alternativa para quando se tem várias características, neste trabalho foi utilizada a análise discriminante de Fisher, por meio da qual se realiza uma transformação dos dados multivariados das várias características em uma nova variável univariada, sem grandes perdas de informação. Para ilustração da técnica foram utilizados dados de um experimento para a produção de mudas de café, em tubetes, no qual foram avaliados o efeito de dois substratos comerciais (A e B), e de cinco proporções (0, 20, 40, 60 e 80%) de substituição dos substratos por um composto orgânico. Sete características de qualidade das mudas foram avaliadas e uma nova variável foi obtida a partir da transformação das variáveis originais por meio da aplicação da função discriminante linear de Fisher. A análise de variância das características da qualidade de mudas individuais detectou diferenças significativas somente entre as proporções de substituição do substrato por adubo orgânico, sendo estimadas as proporções ótimas de 19 a 29% dependendo da característica. Já a análise de variância dos dados transformados detectou diferenças significativas na interação substratos  $\times$  percentual de substituição. Esses resultados mostram que a transformação dos dados multivariados em uma nova variável unidimensional por meio da função discriminante de Fisher pode ser considerada uma técnica viável para avaliação de experimento com várias características.*

**Palavras-chave:** *função discriminante linear de Fisher; análise de variância multivariada; qualidade das mudas; tubetes; transformação de dados.*

**Abstract:** *In experiments, it is common to obtain various response variables that are subject to individual statistical analysis, leading to results for each characteristic. In order to propose an alternative analysis to deal with several characteristics at the same time, Fisher's Discriminant Analysis was used in this work. Through this analysis, multivariate data of various characteristics are transformed into a new univariate variable without information loss. To illustrate the technique, we used data from an experiment of producing coffee seedlings in tubes, which evaluated the effect of two commercial substrates (A and B), and five substitution proportions (0, 20, 40, 60 and 80%) of the substrate for an organic compound. Seven quality characteristics of the seedlings were evaluated, and a new variable was obtained through the transformation of the original variables using Fisher's Linear Discriminant function. The variance analysis of quality characteristics of individual seedlings detected significant differences only in the replacing proportion of the substrate for organic fertilizer, and optimal proportions of 19 to 29% were estimated depending on the characteristic. On the other hand, the variance analysis of the transformed data detected significant differences in substrate interaction  $\times$  percentage replacement. These results show that using Fisher's Discriminant Function to transform multivariate data into a new unidimensional variable can be considered a viable technique for evaluating experiments with various characteristics.*

**Keywords:** *Fisher's Linear Discriminant function; multivariate analysis of variance; seedling quality; tubes; data transformation.*

<sup>†</sup> Autor correspondente: [katia.campos@ifsuldeminas.edu.br](mailto:katia.campos@ifsuldeminas.edu.br)

## Introdução

Normalmente nos experimentos, realizados em diferentes áreas do conhecimento, cada parcela fornece diversas variáveis respostas, como forma de melhor caracterizar o objeto em estudo e suas análises são em grande parte realizadas por meio de análises de variância individuais em detrimento a análise de variância multivariada.

Em ensaios, quando é mensurada mais de uma variável resposta, a opção mais adequada é a análise de variância multivariada, indicada por diversos autores, entre eles Chatfield e Collins (1980), Ferreira (2011), Hair et al. (2009) e Manly (2008).

Entretanto, poucos são os trabalhos aplicados, principalmente na área agrícola, cujos pesquisadores utilizam técnicas multivariadas e menor ainda o número de trabalhos que adotam a análise de variância multivariada como técnica de análise estatística. Tal fato pode ser explicado pela maior complexidade dessas técnicas.

As análises estatísticas de dados de experimentos desse tipo, em geral, são efetuadas para cada característica individual, o que leva a resultados próprios para cada característica, o que, às vezes, fica difícil de chegar a uma conclusão geral.

Uma alternativa, relativamente mais simples foi proposta por Pimentel-Gomes (2009) que utilizou a Função Discriminante Linear de Fisher - FDF, Fisher (1936) para a transformação de dados multivariados em uma nova variável, por meio da variável canônica principal, de maneira a atribuir a esta nova variável um valor máximo do teste F da análise de variância univariada, o que possibilita nova opção de análise de variância dos dados multivariados.

Com vista a divulgar esse tipo de análise alternativa para situações envolvendo várias características obtidas em um experimento realizado para formação de mudas de cafeeiro em tubetes, desenvolveu-se este trabalho, com objetivo de ilustrar a utilização de transformação de dados multivariados, por meio da FDF, como alternativa à análise multivariada e às análises de variância univariadas das características.

Para que uma cultura como o cafeeiro tenha sucesso, a utilização de mudas de alta qualidade se torna uma etapa importantíssima na implantação da lavoura. Vários fatores influenciam no desenvolvimento das mudas no período em viveiro, como a composição do substrato (MENDES; GUIMARÃES, 1998; VALLLONE et al., 2010). Em experimentos sobre a qualidade de mudas em viveiro é comum se obter informações relativas a várias características das mudas, como altura, diâmetro, entre outras, visando quantificar a qualidade das mudas. Um exemplo desse tipo de ensaio foram os dados coletados um experimento sobre mudas de cafeeiro produzidas em tubetes (Figura 1(a)), no qual se buscou a proporção de substrato comercial que pode ser substituída por composto orgânico sem alterar o padrão de qualidade das mudas, tendo em vista minimizar o custo de produção dessas mudas; visto que a utilização de tubetes para a produção de mudas de café apresenta custo mais elevado, se comparado ao tradicional (Figura 1(b)), principalmente com a implantação desse sistema, sendo que as maiores diferenças são decorrentes do nível tecnológico empregado, isto é, a utilização de insumos apropriados que são mais caros (MARANA et al., 2008).



(a) Mudas produzidas com tubetes



(b) Mudas produzidas no sistema tradicional

Figura 1: Produção de mudas de café por meio de tubetes e sacos plásticos (método tradicional).

## Material e métodos

Este trabalho foi instalado e conduzido em viveiro de produção de mudas, do Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Sul de Minas Gerais - câmpus Machado (IFSULDEMINAS), o qual se situa a 820m de altitude, 21° 40' 29" de latitude Sul e 45° 55' 11" de longitude Oeste. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com três repetições, sendo os tratamentos dispostos em esquema fatorial  $2 \times 5$ , (dois substratos comerciais e cinco proporções de substituição dos substratos por composto orgânico). Cada parcela experimental constou de oito tubetes (Figura 2).

Os substratos utilizados no experimento foram: A) substrato artificial comercial e B) substrato inerte - Vermiculita. As proporções de substituição dos substratos por composto orgânico foram 0, 20, 40, 60 e 80%, sendo o composto orgânico constituído por esterco bovino.



Figura 2: Tubetes com mudas de café utilizadas no experimento.

Foram avaliadas sete características, dentre as mais usuais para determinar a qualidade das mudas de cafeeiro, que foram mensuradas aos 180 dias após o plantio, altura da planta ( $X_1$ ), diâmetro da base do caule ( $X_2$ ), comprimento radicular ( $X_3$ ), matéria seca da parte aérea ( $X_4$ ), matéria seca radicular ( $X_5$ ), área foliar ( $X_6$ ), estimada como proposto por Silva; Leite e Ferreira (2008), e número de folhas verdadeiras por planta ( $X_7$ ). Na Figura 3 estão representadas algumas mudas selecionadas para a coleta dos dados (Figura 3(a)) e algumas as mudas já preparadas para a coleta das medidas mencionadas anteriormente (Figura 3(b)).



(a) Mudas condicionadas para análise.



(b) Mudas de café preparadas para realização das medidas.

Figura 3: Mudas de café selecionadas para a análise do experimento

Os dados utilizados nesse trabalho, cujos valores obtidos estão organizados na Tabela 1, foram apresentados para ilustrar a situação e para servir como referência a outros estudos semelhantes, além de poder posicionar o leitor, que pode ter em suas pesquisas o mesmo problema a ser analisado.

Tabela 1: Valores observados das características altura da planta (ALT), diâmetro do caule (DIAM), comprimento radicular (RAIZ), a matéria seca da parte aérea (MSPA), a matéria seca radicular (MSR), a área foliar (AREA), o número de folhas (NFOLHA) e os dados transformados por meio da função discriminante linear de Fisher (FDF), em mudas de cafeeiro aos 180 dias após a semeadura, em função dos tratamentos substratos (SUBST) e proporção de substituição por composto orgânico (ORG).

SUBST	ORG	bloco	ALT	DIAM	RAIZ	MSPA	MSR	AREA	NFOLHA
A	80	1	11,6	1,766	8,2	2,94	1,63	28,6991	4,75
A	60	1	17,0	2,832	12,6	6,96	3,51	61,8314	8,50
A	40	1	17,9	2,549	12,7	8,02	3,46	73,8565	10,00
A	20	1	9,7	1,940	11,5	2,14	2,04	17,0805	2,50
A	0	1	15,7	2,449	11,6	5,86	2,81	61,8579	6,75
B	80	1	5,0	1,601	6,7	1,48	1,43	12,7694	1,25
B	60	1	12,6	2,336	11,1	5,43	2,69	50,9051	6,75
B	40	1	15,3	2,535	10,8	5,80	2,69	52,1232	6,75
B	20	1	17,7	2,575	12,1	7,66	3,18	67,1379	9,63
B	0	1	19,8	2,972	12,5	8,92	3,26	70,5921	9,50
A	80	2	9,0	2,090	13,0	2,47	2,68	24,9189	3,00
A	60	2	12,0	2,157	10,9	4,23	2,38	33,7619	5,75
A	40	2	14,0	2,501	11,5	4,17	2,57	66,4127	5,00
A	20	2	16,5	2,709	12,3	6,43	3,09	62,7585	8,00
A	0	2	11,9	2,308	12,9	4,57	2,71	31,4158	6,00
B	80	2	9,2	1,965	11,7	2,59	2,15	37,0153	3,50
B	60	2	11,7	2,352	12,1	4,75	2,62	33,8942	7,75
B	40	2	14,9	2,275	12,6	5,13	2,86	64,3097	5,75
B	20	2	14,2	2,601	12,0	3,71	2,86	36,2237	4,50
B	0	2	13,3	2,389	10,4	5,87	2,98	50,3226	7,00
A	80	3	9,3	1,943	9,6	2,50	2,11	24,5443	2,75
A	60	3	12,7	2,235	11,2	5,32	2,55	63,2038	5,75
A	40	3	14,0	2,413	11,1	5,83	2,61	53,7494	6,50
A	20	3	11,8	2,455	11,5	6,67	3,29	42,9094	7,25
A	0	3	11,5	2,451	11,7	5,06	3,26	38,5062	6,50
B	80	3	9,9	2,439	9,0	4,82	2,83	42,2018	6,25
B	60	3	13,6	2,224	11,0	6,04	2,74	50,4651	9,00
B	40	3	13,5	2,631	12,0	6,48	3,45	42,6906	7,25
B	20	3	14,0	2,990	13,1	5,84	3,86	42,2464	5,75
B	0	3	12,4	2,613	9,1	7,26	3,09	57,6043	7,00

Os valores obtidos (Tabela 1) de cada característica foram submetidos à análise de variância de acordo com sugestões de Pimentel-Gomes (2009) e Steel, Torrie e Dickey (1997) para os experimentos fatoriais no delineamento em blocos casualizados; foram avaliados os pressupostos da análise de variância; usando o teste de Shapiro-Wilks (1965) para verificar a normalidade de erros e o teste de Bartlett (1937) para homogeneidade de variâncias. Quando houve significância da proporção de substituição, utilizou-se a análise de regressão para descrever o comportamento das características em relação à proporção matéria orgânica e para estimar o ponto de melhor aproveitamento desse adubo.

De maneira a realizar a comparação proposta foi obtida uma nova variável por transformação das sete variáveis originais por meio da função discriminante linear de Fisher (FDF), utilizando para sua construção o autovetor  $t$ , que é associado ao máximo autovalor e que maximiza a razão  $\frac{t'Ht}{t'Rt}$ , em que H e R são respectivamente as matrizes de soma de quadrados e de produtos devidos aos efeitos dos tratamentos e dos resíduos, conforme análise multivariada apresentada por Padovani e Aragon (2005).

A função discriminante linear de Fisher (FDF) a ser estimada é uma função linear nas características

da qualidade de mudas, representada por:

$$FDF = b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 + b_5X_5 + b_6X_6 + b_7X_7, \quad (1)$$

em que  $X_i$ , com  $i = 1, \dots, 7$  representa cada uma das sete características, e  $b_i$ , com  $i = 1, \dots, 7$ , são os coeficientes ou pesos a ser determinados pelo método proposto.

Após a estimação dos coeficientes da FDF de (1), substituiu-se os valores observados de cada característica para obtenção da nova variável (FDF), que explica grande parte das informações contida nas características. Os valores obtidos dessa nova variável foram submetidos a análise de variância conforme esquema proposto para cada característica.

Todas as análises foram realizadas no programa estatístico R (2013).

## Resultados e discussões

Após a mensuração das sete características da muda, para aplicar o tratamento multivariado alternativo aos dados foi encontrada a FDF:

$$FDF = -0,1823X_1 + 0,7249X_2 + 0,1128X_3 - 0,3547X_4 - 0,4426X_5 + 0,0156X_6 + 0,3265X_7 \quad (2)$$

em que  $X_1, \dots, X_7$  representam os valores das características avaliadas, sendo altura ( $X_1$ ), diâmetro ( $X_2$ ), comprimento radicular ( $X_3$ ), matéria seca da parte aérea ( $X_4$ ), matéria seca radicular ( $X_5$ ), área foliar ( $X_6$ ) e número de folhas ( $X_7$ ).

Para a aplicação de testes de hipóteses, normalmente, compara-se o valor estimado para o teste com um valor tabelado ou escolhe-se um valor de corte, por exemplo, toma-se o nível de significância  $p = 0,05$ . O mesmo é feito para os testes dos pressupostos da análise de variância. Para o teste Shapiro-Wilks os valores de  $p$  estimados foram superiores a 0,12 e para o teste de Bartlett, que foi aplicado a cada um dos fatores em estudo, substrato (SUBST) e proporção de substituição de substrato por composto orgânico (ORG) e em ambos os casos os valores de  $p$  ficaram superiores a 0,06, mostrando que as pressuposições de normalidade dos erros e homocedasticidade foram satisfeitos tanto para as características mensuradas, quanto para a variável obtida por meio da transformação (Tabela 2).

Tabela 2: Valores das estatísticas dos testes de Shapiro-Wilks (W) para normalidade dos erro, de Bartlett (B) para homocedasticidade de variâncias, análises de variância univariada e seus respectivos valores  $p$  obtidos nas características altura da planta (ALT), diâmetro do caule (DIAM), comprimento radicular (RAIZ), a matéria seca da parte aérea (MSPA), a matéria seca radicular (MSR), a área foliar (AREA), ao número de folhas (NFOLHA) e os dados transformados por meio da função discriminante linear de Fisher (FDF), em mudas de cafeeiro aos 180 dias após a semeadura.

Característica	W	Valor p	B substrato	Valor p	B % adubo	Valor p
ALT	0,9551	0,2310	0,0324	0,8570	5,8996	0,2068
DIAM	0,9684	0,4971	0,1045	0,7465	3,7175	0,4456
RAIZ	0,9501	0,1703	0,2793	0,5972	5,9498	0,2029
MSPA	0,9541	0,2168	1,4461	0,2292	8,6685	0,0694
MSR	0,9788	0,7940	3,1938	0,0739	4,6088	0,3298
AREA	0,9881	0,9777	0,4543	0,5003	3,2584	0,5156
NFOLHA	0,9702	0,5436	0,1258	0,7229	7,5806	0,1082
FDF	0,9452	0,1257	0,0601	0,8063	3,6958	0,4487

Assim, procedeu-se a análise de variância univariada das sete características e observou-se que não houve efeito significativo dos fatores substratos, blocos e interação substrato  $\times$  proporções (Tabela 3); mas para a nova variável obtida por meio da transformação (FDF) verificou-se efeito significativo da

interação. Em todas as características houve efeito significativo da proporção de substituição dos substratos pelo composto orgânico.

Tabela 3: Valores p do teste F da análise de variância das características altura da planta (ALT), diâmetro do caule (DIAM), comprimento radicular (RAIZ), a matéria seca da parte aérea (MSPA), a matéria seca radicular (MSR), a área foliar (AREA), ao número de folhas (NFOLHA) e os dados transformados por meio da função discriminante linear de Fisher (FDF), em mudas de cafeeiro aos 180 dias após a semeadura.

C.V.	G.L.	ALT	DIA	RAIZ	MSPA	MSR	AREA	NFOLHA	FDF
Substrato	1	0,85	0,26	0,41	0,28	0,45	0,76	0,43	0,59
Adubo	4	< 0,01 <sup>s</sup>	< 0,01 <sup>s</sup>	0,05 <sup>s</sup>	< 0,01 <sup>s</sup>	0,02 <sup>s</sup>	0,02 <sup>s</sup>	0,02 <sup>s</sup>	< 0,01 <sup>s</sup>
Blocos	2	0,18	0,66	0,19	0,13	0,30	0,69	0,49	< 0,01 <sup>s</sup>
Interação	4	0,37	0,58	0,66	0,60	0,83	0,49	0,90	< 0,01 <sup>s</sup>
Resíduos	18								

<sup>s</sup>: Considerados significativos em nível de 5%

Como não houve significância nas interações de cada variável, exceto na FDF, estudou-se o comportamento das características em função das proporções de substituição por meio da análise de regressão (Tabela 4).

As equações de regressão apresentaram bons coeficientes de ajuste da função quadrática com valores de coeficiente de determinação ( $R^2$ ) maiores que 70% permitindo estimar os pontos de máximo que indicam as melhores proporções de substituição para as características de qualidade de muda variaram de 19 a 29% de esterco bovino, composto orgânico (Tabela 4). Este resultado expressa a possibilidade da utilização do resíduo orgânico bovino como componente do substrato para a formação de mudas de cafeeiro em tubetes, e implica em economia e redução do custo de produção. O valor médio de substituição de ambos os substratos comerciais, de 23,7% é inferior ao encontrado no trabalho de Santana et al. (2011), no qual os pesquisadores adicionaram fontes de adubos orgânico, na proporção de 35% do volume do tubete, ao substrato comercial. Mas, mesmo assim, demonstra a possibilidade de substituição de quase um quarto do substrato por esterco bovino, em ambos os substratos testados.

Tabela 4: Equações de regressão quadráticas obtidas no ajuste das características altura da planta (ALT), diâmetro do caule (DIAM), comprimento radicular (RAIZ), a matéria seca da parte aérea (MSPA), a matéria seca radicular (MSR), a área foliar (AREA), ao número de folhas (NFOLHA) e os dados transformados por meio da função discriminante linear de Fisher (FDF) em função da proporção de substituição (x) em mudas de cafeeiro. Coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e ponto críticos máximos (PM).

Característica	Equação de ajuste	$R^2\%$	PM%
ALT	$\hat{y} = -0,0019x^2 + 0,10137x + 13,6805$	92,9	26
DIAM	$\hat{y} = -0,0002x^2 + 0,00590x + 2,5150$	98,2	19
RAIZ	$\hat{y} = -0,0009x^2 + 0,05176x + 11,3557$	96,7	29
MSPA	$\hat{y} = -0,0008x^2 + 0,03081x + 5,8869$	82,9	19
MSR	$\hat{y} = -0,0002x^2 + 0,00922x + 2,99719$	98,3	19
AREA	$\hat{y} = -0,0092x^2 + 0,52071x + 47,6914$	70,9	29
NFOLHA	$\hat{y} = -0,0010x^2 + 0,05312x + 6,60557$	66,6	25

A análise dos dados transformados pela FDF, que possibilitou detectar diferenças na interação entre os fatores em estudo, substratos e o percentual de substituição, ( $p < 0,001$ ). Após o desdobramento observou-se que o substrato A, substrato artificial comercial, não mostrou diferenças significativas entre os percentuais de substituição ( $p = 0,74$ ), indicando que a substituição do substrato por compostos orgânicos não interfere na qualidade das mudas.

A análise dos dados para o substrato B foi significativa ( $p < 0,01$ ), sendo que o comportamento da

FDF pode ser representado pela equação de regressão ajustada  $\hat{y} = 0,0121x - 0,1837$ ; com  $R^2 = 79,9\%$  que indica o ganho crescente de qualidade nas mudas com o aumento da substituição do substrato por compostos orgânicos.

Ressalta-se que a interação substrato  $\times$  proporção de substituição significativa somente foi detectada na variável FDF que representa a transformação dos dados, como pode ser verificado na Tabela 3. Para as demais variáveis, quando analisadas individualmente não foi possível detectar a esse efeito significativo. Isso é uma evidência do poder discriminante que a transformação dos dados permite.

Para completar a comparação desses resultados foi realizada uma análise de variância multivariada com o mesmo conjunto de dados avaliados de forma univariada e pela transformação. Os resultados dos testes multivariados, Tabela 5, indicam que a FDF apresenta valores similares aos das estatísticas multivariadas, concordando com os testes quando detectam o nível de significância entre os blocos e para a proporção de substrato. Destaca-se principalmente que os resultados da FDF e do teste de Roy são bem similares, inclusive na avaliação da interação.

Os resultados dos testes multivariados (Tabela 5) vêm corroborar para a eficiência de se usar a FDF, validando os resultados detectados em grande maioria pelos testes multivariados.

Tabela 5: Valores p do teste F da análise de variância multivariada. São apresentados os resultados para as Estatísticas de Roy (ROY), Pillai (PILLAI), Hotelling-Lawley (HW) e Wilks (W).

F.V.	Testes			
	ROY	PILLAI	HL	W
Substrato	0,592	0,592	0,592	0,592
Adubo	0,000 <sup>s</sup>	0,055	0,044 <sup>s</sup>	0,050 <sup>s</sup>
Blocos	0,008 <sup>s</sup>	0,004 <sup>s</sup>	0,010 <sup>s</sup>	0,006 <sup>s</sup>
Interação	0,002 <sup>s</sup>	0,161	0,095	0,115

<sup>s</sup>: Considerados significativos em nível de 5%

Desse modo, com a aplicação da primeira função discriminante linear de Fisher às observações multivariadas, pode-se reduzir o espaço p dimensional a um espaço unidimensional, obtendo uma nova variável resposta, neste trabalho a FDF, a partir da qual pode ser realizada uma análise de variância univariada, e seus testes complementares, técnica que permite realizar uma análise mais simples e ainda mostrar provável diferenças, que podem não ser verificadas individualmente.

A vantagem da utilização dessa nova variável é que ela acumula informações das outras características e, também, facilita a interpretação dos efeitos dos tratamentos.

## Conclusões

A transformação dos dados por meio da função discriminante linear de Fisher, para posterior análise, é considerada uma técnica viável para apurar ou detectar diferenças significativas.

## Referências

BARTLETT, M. S. Properties of sufficiency and statistical tests. Proceedings of the Royal Society of London, Series A, London, v. 160, n. 2, p. 268-282, 1937. <http://www.jstor.org/stable/96803>

CHATFIELD, C.; COLLINS, A. J. Introduction to multivariate analysis. Gembloux: Presses Agromiques, 1980. 362 p.

FERREIRA, D. F. Estatística multivariada. 2. ed. Lavras: UFLA, 2011. 675 p.

FISHER, R. A. The use of multiple measurements in taxonomic problems. *Annals of Eugenics*, London, v. 7, n. 2, p. 179-188, 1936. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-1809.1936.tb02137.x>

HAIR, J. F. et al. *Análise multivariada de dados*. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. 688 p.

MANLY, B. J. F. *Métodos estatísticos multivariados: uma introdução*. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2008. 229 p.

MARANA, J.P., MIGLIORANZA, E., FONSECA, E. de P., KAINUMA, R. H., Índices de qualidade e crescimento em mudas de café, produzidas em tubetes. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.38, n.1, p. 39-45, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782008000100007>

MENDES, A. N. G.; GUIMARÃES, R. J. *Plantio e formação da lavoura cafeeira*. Lavras, UFLA/FAEPE, 1998. 42p.

PADOVANI, C. R. P.; ARAGON, F.F. Programa computacional para método de discriminante de Fisher. *Energ. Agric. Botucatu*, v. 20, n. 1, p 1-10. 2005.

PIMENTEL-GOMES, F. *Curso de estatística experimental*. 15. ed. Piracicaba: FEALQ, 2009. 451 p.

R CORE TEAM. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2013. ISBN 3-900051-07-0, <http://www.R-project.org/>

SANTANA, S. L. S.; COGO, F. D.; GONÇALVES, B. O.; RIBEIRO, B. T.; CAMPOS, K. A.; MORAIS, A. R. Adição de Resíduos Orgânicos ao Substrato para Produção de Mudas de Café em Tubete. *Agrogeoambiental, Inconfidentes*, v.3, n.2, p.9-13, 2011. <http://joomla3.ifsuldeminas.edu.br/~ojs/index.php/Agrogeoambiental/article/view/326>

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality: complete samples. *Biometrika*, London, v. 52, n. 3/4, p. 591-611, Dec. 1965. <http://www.jstor.org/stable/2333709>

SILVA, A. R.; LEITE, M. T.; FERREIRA, M. C. Estimativa da área foliar e capacidade de retenção de calda fitossanitária em cafeeiro. *Bioscience Journal*, Uberlândia, v. 24, n. 3, p. 66-73, 2008. <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/viewFile/6872/4552>

STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H.; DICKEY, J. E. *Principles and procedures of statistics*. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 1997. 666p.