

2-009

Análise estatística de um sistema agroflorestal através do Índice de Produção Equivalente

Antonio Claudio Almeida de CARVALHO¹, Hilton Thadeu Zarate do COUTO², Silas MOCHIUTTI³

¹ Eng^o Agrônomo, M.Sc. em Estatística e Experimentação Agronômica, pesquisador da Embrapa Amapá à disposição do Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá. – IEPA, acacarvalho@uol.com.br. ² Eng^o Florestal Ph.D, livre-docente da ESALQ/USP. ³ Eng^o Agrônomo, M.Sc. em Sistemas Agroflorestais, pesquisador da Embrapa Amapá.

Introdução

As interações biológicas, econômicas e ambientais que ocorrem entre as culturas componentes de um sistema agroflorestal (*SAF*), implicam em respostas diferenciadas das respectivas culturas, conforme os arranjos aos quais as mesmas estejam submetidas. Num ensaio de avaliação de *SAF's*, cada parcela apresenta mais de uma variável a ser estudada e portanto, os dados apresentam-se de forma multidimensional. Assim sendo, a forma mais apropriada para análise desses sistemas é através do uso das técnicas da estatística multivariadas. Não obstante, o tipo de análise estatística mais frequentemente realizado nos sistemas consorciados é através da transformação do problema multivariado em um problema univariado através da obtenção de uma única variável como função resposta das observações das culturas componentes e, a partir da mesma, aplicam-se os testes estatísticos comumente empregados na análise de dados agronômicos.

A transformação dos rendimentos das culturas componentes de um sistema agroflorestal em um único valor (índice) é difícil de ser realizada uma vez que as mesmas diferem entre si sobre vários aspectos. Isto é, sobre a natureza dos produtos, valores monetários, valores energéticos, valores ecológicos, etc. Todavia, vários procedimentos têm sido utilizados para obtenção desses índices. O mais comum é utilizar as informações comuns entre todos os componentes do sistema agroflorestal (quantidade de matéria seca ou produção de proteína ou valor monetário por unidade do produto, etc.) para obter um valor equitativo, que passa a representar todas as informações da parcela, simultaneamente. Essa combinação dos componentes do sistema é feita através de uma função linear que origina um valor índice, denominado "Índice de Produção Equivalente - IPE" (*Income Equivalent Ratio*). O *LER* (*Land Equivalent Ratio*) que avalia a eficiência do sistema consorciado em comparação à produção obtida no monocultivo é outro índice bastante usado em análise de sistemas de cultivo consorciado. Outros índices como o *ATER* (*Area Time Equivalent Ratio*) e *ATHER* (*Area Heverest Equivalent Ratio*) são recomendados para casos específicos em que há diferença de ciclo entre as culturas envolvidas. Não obstante, conforme informa (Nair, 1990), nenhum desses índices são ajustados adequadamente para análise de sistemas agroflorestais, uma vez que eles não consideram o seu principal atributo que é a promoção da sustentabilidade do sistema a longo prazo.

Metodologia

A análise estatística de sistemas agroflorestais, através das técnicas univariadas, são feitas a partir de índices de equivalência, que agrupam as informações dos diferentes componentes do sistema em um único valor. Em geral, esses índices são obtidos por combinações lineares entre os valores observados dos rendimentos de cada uma das culturas componentes. Vários são os índices que podem ser obtidos a partir de combinações das culturas componentes de um sistema consorciado, não obstante, serão comentados nesse trabalho apenas os que têm alguma relação com a análise estatística dos sistemas agroflorestais. Todavia, conforme explica (Carvalho, 1996) nem todos índices obtidos a partir de combinações dos rendimentos das culturas componentes, são uma variável aleatória com distribuições normais ou aproximadamente normais, cujas pressuposições, são exigidas para aplicação dos testes estatísticos empregados na maioria dos casos de análises de dados agronômicos.

Índice da Produção Equivalente - *IPE* (*Income Equivalent Ratio*)

É o método mais prático para análise de experimentos cuja unidade experimental apresenta mais de variável aleatória. O Índice da Produção Equivalente, denotado aqui por *IPE*, consiste em utilizar valores

observados, comum a todos os componentes do sistema e, através de funções lineares, os agrupam em um único índice. Esse procedimento exige que as informações dos componentes sejam extraídas de variáveis comuns a todos os componentes, como por exemplo: produção de matéria seca, proteína bruta, nível de fertilidade do solo, quantidade de um determinado elemento biológico, valor monetário por Kg da produção de cada componente, etc. Esse índice em geral é obtido por uma função do tipo:

$$y = \sum r_i \cdot x_i \Rightarrow \text{onde: } y \text{ é a produção equivalente dos componentes do sistema agroflorestal}$$

x_i é o valor observado no i -ésimo componente do sistema
 r_i é o padrão monetário, biológico, etc, do i -ésimo componente

O emprego do índice *IPE* é encontrado em diversos trabalhos de análise de sistemas de cultivo consorciado. Em (Gomes, 1984) encontramos o seguinte exemplo "Seja um experimento de culturas consorciadas, envolvendo milho e feijão, cada parcela tem a produção de feijão (x_1) e a produção de milho (x_2). Um quilograma de feijão vale tanto quanto 5 kg de milho, então o Índice da Produção Equivalente é dado pela seguinte função: $y = 1x_1 + 5x_2$

Resultado e discussão

A partir da tabela 1, onde encontram-se vários arranjos de sistemas agroflorestais, cujos os dados foram obtidos através de simulação, serão feitas as comparações entre os tratamentos através das técnicas estatísticas univariadas, aplicadas ao Índice de Produção Equivalente (*IPE*).

TABELA 1. Dados simulados de um experimento de avaliação de SAF's, instalado em blocos ao acaso, cujas as variáveis analisadas são as produções anuais de cacau e seringueira (Kg/ha).

Tratamento	BLOCO I		BLOCO II		BLOCO III		BLOCO IV		TOTAL	
	Seringueira	cacau	Seringueira	cacau	seringueira	cacau	Seringueira	Cacau	seringueira	Cacau
SAF ₁	257,51	1302,83	262,79	1315,63	263,07	1321,58	270,52	392,99	1053,89	5333,03
SAF ₂	262,13	1002,12	249,87	1023,40	273,33	1032,25	253,07	959,83	1038,40	4017,60
SAF ₃	322,18	1771,26	318,95	1820,37	322,67	1776,27	315,65	705,26	1279,45	7073,16
SAF ₄	261,80	941,15	270,79	947,01	264,64	930,91	272,73	876,32	1069,96	3695,39
Total	1103,62	5017,36	1102,40	5106,41	1123,71	5061,01	1111,97	1934,40	4441,70	20119,18

SAF₁ = SERINGUEIRA IAN 717 + CACAU CATONGO
 SAF₂ = SERINGUEIRA IAN 717 + CACAU SIAL 70

SAF₃ = SERINGUEIRA RRIM 600 + CACAU CATONGO
 SAF₄ = SERINGUEIRA RRIM 600 + CACAU SIAL 70

O primeiro passo para análise estatística dos sistemas agroflorestais, cujos os dados são apresentados na tabela acima, é obter o *IPE* de cada unidade amostral (parcela). Para o presente exemplo, a função de obtenção dos valores dos *IPE* é a seguinte: $y = r_1x_1 + r_2x_2$. Nessa função, x_1 e x_2 são os valores correspondentes às produções de seringueira e cacau, respectivamente e, r_1 e r_2 são os valores monetários das respectivas produções. Considerando que 1 Kg de borracha vale o mesmo que 1 Kg de cacau, temos os seguintes valores para os dados do experimento:

$$y = 1 \cdot x_1 + 1 \cdot x_2 \Rightarrow \begin{cases} y_{11} = 257,51 + 1302,83 = 1560,34 \\ y_{12} = 262,79 + 1315,63 = 1578,42 \\ \vdots \\ y_{44} = 272,73 + 876,32 = 1149,05 \end{cases}$$

TABELA 2 Índices da Produção Equivalente (*IPE*) dos dados de um experimento de avaliação de diferentes sistemas agroflorestais dados na Tabela 1.

Tratamento	BLOCO I (Valor do IPE)	BLOCO II (Valor do IPE)	BLOCO III (Valor do IPE)	BLOCO IV (Valor do IPE)	TOTAL (Valor do IPE)
SAF ₁	1560,34	1578,42	1584,65	1663,51	6338,92
SAF ₂	1264,25	1273,27	1305,58	1212,90	50564,00
SAF ₃	2093,44	2139,32	2098,94	2020,91	8352,61
SAF ₄	1202,95	1217,80	1195,55	1149,05	4756,35

Total	6120,98	6208,81	6184,72	6046,37	24560,88
-------	---------	---------	---------	---------	----------

Para sabermos se existe de fato diferenças significativas entre os sistemas agroflorestais testados, isto é, se as diferenças observadas nos valores dos Índices de Produção Equivalente, indicados na Tabela 2, não são meros efeitos do acaso, temos que realizar a análise de variância. A análise de variância é feita através da aplicação do teste F , conforme descrito na tabela abaixo.

TABELA 3. Avaliação de forma univariada de sistemas agroflorestais através da Análise de Variância, aplicada sobre o Índice de Produção Relativa

Fonte de Variação	G. L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Valor de F	Pr > F	Significância
SAF 's	3	2005332,73	668444,24	361,31	0,0001	**
Bloco	3	3965,71	1321,90	0,71	0,5676	<i>N.S</i>
Resíduo	9	16650,48	1850,05			
Total	15	2025948,90				

** indica que o efeito testado é significativo ao nível de 1%, * indica significância ao nível de 5% e *N.S* indica não significância

Através dos valores críticos da distribuição F , indicados na Tabela 3 por ($Pr > F$), podemos verificar, com um nível de significância superior a 1% ($Pr > 0,0001$) que existe diferença significativa entre os sistemas agroflorestais testados. Como o teste F foi significativo, devemos prosseguir a análise para saber quais SAF 's diferem entre si.. Esta análise pode ser feita através do próprio teste F , a partir do desdobramento dos graus de liberdade do componente SAF 's ou através da aplicação do teste $t - Student$. Para tanto temos que estabelecer os contrastes ortogonais entre os sistemas agroflorestais que desejamos comparar no referido experimento. Considerando que o interesse seja comparar os dois primeiros SAF 's contra os dois últimos, ou seja, os que têm o clone de seringueira IAN 717 contra os que têm o clone de seringueira RRIM 600 e em seguida fazer as comparações entre os dois primeiros e os dois últimos, temos os seguintes contrastes ortogonais:

$$\begin{cases} \hat{Y}_1 = -\hat{y}_1 - \hat{y}_2 + \hat{y}_3 + \hat{y}_4 \\ \hat{Y}_2 = -\hat{y}_1 + \hat{y}_2 + 0 + 0 \\ \hat{Y}_3 = 0 + 0 - \hat{y}_3 + \hat{y}_4 \end{cases}$$

TABELA 4. Contrastes ortogonais, estimativas dos contrastes, níveis de significância do teste $t - Student$

Contrate	$\hat{y}_1 = 1596,73$	$\hat{y}_1 = 1596,73$	$\hat{y}_1 = 1596,73$	$\hat{y}_1 = 1596,73$	Estimativa	Pr > t	Significância
Y_1	-1	-1	+1	+1	418,76	0,0001	**
Y_2	-1	+1	0	0	-332,73	0,0001	**
Y_3	0	0	-1	+1	-968,81	0,0001	**

** indica que o contraste é significativo ao nível de 1%.

Conclusão

Conforme podemos observar, a análise de sistemas agroflorestais através dos testes estatística univariados aplicados ao Índice da Produção Equivalente é de fácil aplicação e de fácil compreensão, uma vez que a maioria dos pesquisadores utiliza com bastante frequência os referidos testes. Não obstante, é importante lembrar que as informações dos diferentes componentes do sistema agroflorestal é transformada através de combinação linear em um único valor, o índice IPE , e portanto há perda de informações que podem ser importante para as conclusões do experimento. Dessa forma, sempre que possível é recomendado o uso da estatística multivariada para a análise dos experimentos envolvendo sistemas agroflorestais. Para o presente exemplo, a análise estatística feita através do índice IPE permite informar com um nível de significância de 1% que: os SAF_3 e SAF_4 são superiores aos SAF_1 e SAF_2 , no que tange a Produção Equivalente das culturas seringueira e cacau. Comparando os dois primeiros sistemas, verificamos que o SAF_1 é superior ao SAF_2 e, de forma análoga, verificamos que o SAF_3 é superior ao SAF_4 .

Referências Bibliográficas

- Carvalho, A. C. A. de. O método bootstrap e sua aplicação em análise de dados agroflorestais com variável aleatória do tipo razão. Piracicaba-SP, ESALQ/USP, 1996. 89 p. (Dissertação de Mestrado)
- Gomes, F. P. A estatística moderna na pesquisa agropecuária. POTAFOS, Piracicaba-SP. 1984.

Nair, P. K. R. The prospects for Agroforestry in the tropics. Washington, U.S.A., 1990. 79 p. (World Bank technical paper, no 131) 79 p.