

## **Análise da Inter-relação da Produtividade Agrícola e Característica Climática na Região Sudeste do Estado de Mato Grosso, por Técnicas Multivariadas<sup>1</sup>**

### **Analysis of the Agricultural Productivity Interrelation and Climate Characteristic in Southeast Region of the State of Mato Grosso, per Multivariate Technical.**

<sup>2</sup>José Roberto Temponi de Oliveira, <sup>3</sup>Carlos Roberto Padovani

<sup>2</sup>Docente do Departamento de Estatística, ICET/UFMT – Cuiabá/MT – Brasil. temponi@ufmt.br

<sup>3</sup>Orientador e docente titular do Departamento de Bioestatística, IBB/UNESP – Botucatu/SP – Brasil. bioestatistica@ibb.unesp.br

---

**RESUMO:** A necessidade de entender o relacionamento entre variáveis biológicas faz da análise multivariada uma metodologia com grande potencial de aplicação em várias áreas do conhecimento. Na agricultura, a utilização de técnicas de análise multivariada vem auxiliando a compreensão e a obtenção de respostas altamente interessantes e práticas, que permitem optar pelo seu emprego, tanto pela eficiência como pela acurácia do método na interpretação dos resultados. Técnicas de estatística multivariada foram empregadas com o objetivo de estudar a inter-relação produtividade agrícola e característica climatológica na região sudeste mato-grossense. A partir da utilização de análise fatorial buscou-se identificar as dimensões separadas da estrutura de variação dos dados e interpretar a estrutura das interrelações entre os produtos cultivados na região. Para descrever a associação entre o conjunto de variáveis agrícolas e de produtividade, a incorporação de novos procedimentos multivariados na interrelação desses indicadores utilizou-se a análise de correlação canônica. A análise fatorial estabeleceu dois eixos canônicos para as interrelações entre as culturas, sendo o primeiro fator explicando 42,19% da variância total correlacionado com as culturas anuais, podendo ser denominado de “fator de culturas anuais” e o segundo fator, que explicou 16,10%, “fator de culturas semiperenes”. O resultado da primeira correlação canônica (0,67) mostrou associação significativa entre as componentes agrícolas e as condições climáticas.

**Palavras-chave:** Produtividade; Análise multivariada; Análise fatorial, Correlação canônica.

**Abstract:** The need to understand the relationship between biological variables makes the multivariate analysis a methodology with great potential of application in various knowledge areas. In agriculture, its use has been assisting the understanding and obtaining of highly interesting and practical answers which allow choosing their use, both by efficiency and accuracy of the method in the interpretation of the results. Multivariate statistical techniques were used to study the interrelationship agricultural productivity and climatological characteristics in southeastern of Mato Grosso State region. From the use of factor analysis sought to identify the separate dimensions of the data variation structure and interpret the structure of the interrelationships between crops grown in the region. The canonical correlation analysis was used to describe the association between the set of agricultural variables and productivity, and the incorporation of new multivariate procedures in the interrelationship of these indicators. Factor analysis identified two canonical axes for the interrelationships between cultures, with the first factor explaining 42.19% of the total variance correlated with annual culture, which may be termed "annual cultures factor" and the second factor, which explained 16.10% " semi perennial cultures factor." The result of the first canonical correlation (0.67) showed a significant association between agricultural components and climatic conditions.

**Keywords:** productivity; multivariate analysis; factor analysis, canonical correlation.

---

## **INTRODUÇÃO**

---

<sup>1</sup> Parte da tese de doutorado do 1º autor intitulada: Utilização de procedimentos multivariados na produtividade agrícola e climática na região sudeste do estado de Mato Grosso.

Os empresários rurais do Mato Grosso utilizam técnicas agrícolas que consistem de um ciclo de análise da produtividade e das características do solo, do controle da aplicação de insumos e correção da terra e, ainda do controle da aplicação de agrotóxicos. Mas se as técnicas de análise e coleta são facilmente dominadas pelo homem, os dados climáticos representam ainda um problema a ser mais bem estudado, pois a alta variabilidade encontrada nos indicadores de temperatura, umidade relativa do ar, precipitação pluviométrica e evapotranspiração propiciam situações nas quais o trabalho humano e tecnológico pode estar desperdiçado.

A época de semeadura de culturas anuais é dependente da ocorrência de chuvas e das condições de temperatura, sendo que estas podem ser distintas entre as diferentes regiões. A temperatura constitui-se em um elemento climático muito importante para prever os eventos fenológicos das culturas, portanto quanto melhor o entendimento de seu comportamento mais produtiva torna-se a informação para a área agrícola. Diante destes fatos, existe uma grande necessidade de informações climáticas mais específicas que capacitem os agricultores a tomarem decisões operacionais. O conhecimento multidimensional das inter-relações entre produtividade-clima serve como referencial para compreensão da forma e da intensidade em que se verifica a produção de culturas entre as localidades, nos diversos espaços e sua associação com as variáveis climáticas e quais relações podem ser úteis para as tomadas de decisão (OLIVEIRA, 2009).

A necessidade de entender o relacionamento entre variáveis biológicas faz da análise multivariada uma metodologia com grande potencial de aplicação em várias áreas do conhecimento. Na Agricultura a utilização da análise multivariada vem auxiliando na compreensão e obtenção de respostas interessantes e práticas, que permitem optar por seu emprego pela eficiência do método e acurácia na explanação dos resultados.

Neste sentido, tem-se como finalidade de pesquisa estudar a inter-relação produtividade agrícola e característica climática das microrregiões do Sudeste do estado de Mato Grosso e construir modelos multivariados para quantificar e reconhecer a acurácia desta inter-relação.

## **Material e Métodos**

O estado de Mato Grosso ocupa uma área total de 903.357,908 km<sup>2</sup>, onde há, parte de três dos mais importantes biomas brasileiros, a Amazônia, o Cerrado e o Pantanal, além de uma vasta área de transição entre formações de floresta e cerrado. A área territorial do estudo corresponde à mesorregião Sudeste matogrossense. Como descrito em Oliveira (2009) ela está enquadrada entre a latitude sul de 14,58° a 18,05° e longitude oeste de 52,27° a 55,63°. Totaliza uma área de 70.394,355 km<sup>2</sup> que foi subdividida em oito microrregiões em torno dos postos pluviométricos.

Os dados de produção agrícola (em toneladas) observados e considerados foram obtidos de consultas por cidades do Banco Multidimensional de Estatísticas – BME, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, no período de 1975 a 2005. Foram consideradas as culturas mais relevantes para a região. As variáveis são apresentadas em produtividade média, isto é: quantidade produzida/área colhida em tonelada/hectare, sendo os períodos observados e considerados de 1975 a 2005. Consideraram-se as variáveis X1= Algodão, X2= Arroz, X3= Banana, X4= Cana-de-açúcar, X5= Feijão, X6= Mandioca, X7= Milho, X8 = Soja e X9= Sorgo.

Os dados climáticos foram extraídos das duas estações meteorológicas existentes na região Sudeste do estado, a primeira e mais antiga na região de Poxoréu localizada na latitude  $15^{\circ} 42' 00''$ S e longitude  $54^{\circ} 18' 15''$ W a 360 metros de altitude em relação ao nível do mar, dispõe de observações diárias desde outubro de 1978; a outra mais recente, em Rondonópolis, está localizada na latitude  $16^{\circ} 15' 00''$ S e longitude  $54^{\circ} 51' 51''$  W a 227 metros de altitude e dispõe de observações diárias desde março de 1992. As variáveis climáticas disponíveis para o estudo consistiram das temperaturas do ar mínima, máxima e média compensada mensal, umidade relativa média mensal, evaporação total acumulada mensal e precipitação acumulada mensal, cujas séries de dados apresentaram algumas falhas de observação. As séries de precipitação, referente aos oito postos pluviométricos da região em estudo, foram obtidas do banco de dados HidroWeb da Agência Nacional de Águas – ANA e do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, no período de 1975 a 2005.

Os dados de produtividade agrícola e climatológicos foram estudados analiticamente por meio de procedimento multivariados envolvendo intra e interdependência dos atributos a partir da utilização de técnicas de análise fatorial e análise de correlação canônica. Nesta linha denotou-se o número total de variáveis (agrícolas e climáticas) por  $p$ , o número de observações em cada grupo por  $n_i$  e o número de grupos (microrregiões) por  $g$ , mais detalhes podem ser vistos em Oliveira (2009).

## Análise Fatorial

Estuda as inter-relações num grande número de variáveis, com o objetivo de resumir a informação contida nas variáveis em um conjunto menor de variáveis (fatores) com uma perda mínima de comunicação apresentando no resultado a quantificação do efeito residual (BARROSO E ARTES, 2003; DAMÁSIO, 2012).

A análise fatorial permite identificar as dimensões separadas da estrutura de variação dos dados e então determinar a extensão na qual cada variável é explicada por cada dimensão. A redução dos dados pode ser atingida calculando-se escores para cada dimensão subjacente e substituindo então as variáveis originais (HÄRDLE; SIMAR, 2003; NEISSE; HONGYU, 2016).

Para as componentes agrícolas buscou-se por meio da análise fatorial a redução do número original de variáveis agrícolas, por meio da extração de fatores independentes, de tal forma que estes pudessem explicar, de forma simples e reduzida, as variáveis originais.

A construção de cada fator consistiu em encontrar uma combinação linear das variáveis agrícolas incluídas no estudo que maximize o poder de explicação do conjunto todo de variáveis. Na composição destes fatores, são considerados os seguintes aspectos: as variáveis mais correlacionadas combinam-se dentro de um mesmo fator e as variáveis que compõem um fator são independentes das que compõem outros fatores, determinando assim os coeficientes que relacionam as variáveis agrícolas observadas com os fatores comuns. Esses coeficientes denominados de cargas fatoriais desempenham a mesma função dos coeficientes de correlação (OSBORNE; COSTELLO, 2009).

Considerando o modelo fatorial  $\mathbf{Z} = \mathbf{L}\mathbf{F} + \mathbf{e}$ , onde  $\mathbf{F}$  é um vetor aleatório contendo os fatores comuns não correlacionados, também chamados de variáveis latentes e  $\mathbf{L}$  uma matriz de parâmetros, utilizou-se o método da máxima verossimilhança para estimação da matriz  $\mathbf{L}$  através da matriz de correlação (HAIR JR et al., 2005; KIRCH et al., 2017).

A seguir foram determinadas algumas medidas que podem auxiliar na interpretação dos resultados, destacando-se entre elas, as comunalidades que descrevem a quantidade de variância que uma variável original compartilha com todas as outras variáveis agrícolas consideradas na análise, a unicidade que mostra o resíduo da comunalidade em relação à unidade, a porcentagem da variação explicada de cada fator e a porcentagem cumulativa da variância total nos fatores selecionados.

Na determinação do número de fatores foi utilizado o critério de *Scree-plot*, que dispõe os autos valores da matriz de correlação ordenados em ordem decrescente e que procura por inspeção gráfica um “ponto de salto”, que represente um decréscimo de importância em relação à variância total. O número de fatores corresponde ao número de autovalores anteriores ao “ponto de salto” (CATTELL, 1966).

Finalmente, para verificar a adequabilidade do modelo de análise fatorial, utilizou-se a estatística de *Kaiser-Meyer-Olkin* (KMO) e o teste de *Bartlett*. O KMO é um indicador que compara a magnitude do coeficiente de correlação observado com a magnitude do coeficiente parcial. Levando-se em conta que os valores variam de 0 a 1, pequenos valores de KMO (abaixo de 0,50) indicam a não adequabilidade da análise. O teste de esfericidade de *Bartlett* serve para testar a hipótese nula de que a matriz de correlação é uma matriz identidade. Se esta hipótese for rejeitada a análise pode ser realizada (HAIR JR et al, 2005; KIRCH et al., 2017).

### **Análise de Correlação Canônica**

A quantificação da associação entre dois grupos de variáveis pode ser efetuada pela análise de correlação canônica. Tem-se como objetivo avaliar a máxima correlação entre uma combinação linear de variáveis em um dos grupos com uma outra combinação linear das variáveis do outro grupo de variáveis. Os pares de combinações lineares são denominados variáveis canônicas e suas correlações são chamadas de correlações canônicas. Essa correlação mede basicamente o grau máximo de associação existente entre os dois conjuntos de variáveis (RENCHER, 2002; MANLY, 2004).

Com o objetivo de associar linearmente o conjunto das variáveis climáticas representadas por  $\mathbf{X}^{(1)}$  com as agrícolas representadas por  $\mathbf{X}^{(2)}$ , procurando o grau máximo da relação linear existente entre os dois conjuntos de variáveis, utilizou-se a análise de correlação canônica. Basicamente, desenvolveu-se uma combinação linear em cada um dos conjuntos, tal que a correlação entre os dois fosse maximizada. A combinação linear constitui-se numa forma simples de resumir o conjunto das informações contidas nas variáveis e, neste sentido, considerou-se as combinações lineares  $\mathbf{U}$  (conjunto das climáticas) e  $\mathbf{V}$  (conjunto das agrícolas) expressas por:

$$\mathbf{U} = \mathbf{a}' \mathbf{X}^{(1)} \quad (1)$$

$$\mathbf{V} = \mathbf{b}' \mathbf{X}^{(2)} \quad (2)$$

tal que:

$$\text{Corr}(\mathbf{U}, \mathbf{V}) = \frac{\mathbf{a}' \text{Cov}(\mathbf{X}^{(1)}, \mathbf{X}^{(2)}) \mathbf{b}}{\sqrt{\mathbf{a}' \text{Var}(\mathbf{X}^{(1)}) \mathbf{a}} \sqrt{\mathbf{b}' \text{Var}(\mathbf{X}^{(2)}) \mathbf{b}}}, \quad (3)$$

seja a maior possível, ou seja,  $\max_{\mathbf{a}, \mathbf{b}} \text{Corr}(\mathbf{U}, \mathbf{V})$ , que expressa a máxima associação entre as funções lineares dos dois grupos de variáveis (JOHNSON; WICHERN, 2002).

Para avaliar a significância das associações canônicas utilizou-se o teste estatístico que rejeita a hipótese nula (ausência de associação linear entre os conjuntos) se o valor numérico da estatística do teste for maior ou igual ao correspondente valor crítico de uma distribuição de qui-quadrado com graus de liberdade correspondentes à ordinalidade da correlação canônica.

As correlações entre as variáveis canônicas e as variáveis climáticas e agrícolas, foram obtidas considerando as correlações estruturais (*'canonical loadings'* = cargas canônicas) que se referem às associações entre cada variável original e a correspondente variável canônica; e as correlações cruzadas (*'canonical cross-loadings'*) que associam cada variável original do primeiro conjunto (climático) com o correspondente canônico agrícola e vice-versa.

Além disso, foi calculada a proporção da variância total que é explicada pelas variáveis canônicas, considerando em separado, a contribuição no conjunto climático e no agrícola. Isso permite avaliar a relevância de cada conjunto.

### Associação entre técnicas multivariadas

Uma das possibilidades da associação entre as técnicas multivariadas é expandir a habilidade explanatória da eficiência estatística. Com esse objetivo foram consideradas as técnicas análise fatorial e correlação canônica e estudada a associação entre elas, de forma a obter uma ferramenta mais poderosa na abordagem das questões tratadas no presente estudo.

O primeiro momento foi preservar os dados originais onde todas as variáveis agrícolas e climáticas foram consideradas, numa forma mais simples e direta para lidar com os dados, por meio da técnica de análise de correlação canônica, onde a matriz de correlação  $\mathbf{R}$  é expressa por:

Quadro 1

Agrícolas				Climáticas			
$\mathbf{x}_1$	$\mathbf{x}_2$	...	$\mathbf{x}_9$	$\mathbf{x}_{10}$	$\mathbf{x}_{11}$	$\mathbf{x}_{12}$	$\mathbf{x}_{13}$

Fonte: autores

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} \text{Agrícolas}_{9 \times 9} & \vdots & \mathbf{9 \times 4} \\ \dots & \vdots & \dots \\ \mathbf{4 \times 9} & \vdots & \text{Climáticas}_{4 \times 4} \end{bmatrix} \quad (3)$$

O segundo momento foi associar a análise fatorial com a técnica de análise de correlação canônica, onde primeiramente foi aplicada a técnica de análise fatorial sobre os dados de produtividade, com o objetivo de identificar os fatores que explicassem a parte mais significativa da variância dos dados e as respectivas cargas fatoriais. O novo conjunto de dados foi formado a partir de uma relação linear com os coeficientes de sensibilidade dos  $k$  fatores, sendo constituídos pela soma ponderada das produtividades de cada fator, utilizando-se como pesos os coeficientes dos fatores. Em seguida, empregou-se a técnica de correlação canônica sobre o novo conjunto de dados, onde a matriz de correlação  $\mathbf{R}$  é dada por:

Quadro 2

Fatores		Climáticas			
$\mathbf{f}_1$	$\mathbf{f}_2$	$\mathbf{x}_{10}$	$\mathbf{x}_{11}$	$\mathbf{x}_{12}$	$\mathbf{x}_{13}$

Fonte: autores

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} \mathbf{Fatores}_{2 \times 2} & \vdots & \mathbf{2 \times 4} \\ \dots & \vdots & \dots \\ \mathbf{4 \times 2} & \vdots & \mathbf{Climáticas}_{4 \times 4} \end{bmatrix} \quad (4)$$

## Resultados e Discussão

### Análise Fatorial

O resultado do teste de Bartlett para a matriz de correlação das variáveis agrícolas mostrou significância ( $p < 0,01$ ) entre as associações. A estatística de Kaiser-Meyer-Olkin ( $KMO = 0,78$ ) que compara as correlações entre as variáveis, indicou adequação dos dados ao modelo fatorial, cujos componentes fatoriais e seu poder explanatório expresso por seus autovalores estão mostrados na Tabela 1.

Tabela 1. Autovalores e porcentagens de variação da matriz de correlação

Ordem do Fator	Autovalor	Porcentagem da variação	Porcentagem cumulativa
<b>1</b>	<b>3,80</b>	<b>42,19</b>	<b>42,19</b>
<b>2</b>	<b>1,45</b>	<b>16,10</b>	<b>58,29</b>
3	0,90	10,03	68,32
4	0,79	8,73	77,05
5	0,60	6,71	83,77
6	0,53	5,92	89,69
7	0,37	4,16	93,85
8	0,36	4,01	97,86
9	0,19	2,14	100,00

Fonte: Oliveira, 2009

Para a indicação do número de fatores para o estudo agrícola da região, foi utilizada a inspeção gráfica pelo critério *Scree-plot* e a superioridade do valor em relação à unidade na busca do ponto de salto do decréscimo da variância total (CATTELL, 1966) indicou que os dois primeiros fatores devem ser mantidos. Os dois fatores selecionados explicam conjuntamente 58,29% da variabilidade total dos dados e os coeficientes para a combinação linear das componentes agrícolas estão expressos na Tabela 2.

Tabela 2. Coeficientes dos fatores das variáveis agrícolas

Variável	Fator		Comunalidade	Unicidade
	F1	F2		
Algodão	<b>0,86</b>	0,13	0,75	0,25
Arroz	<b>0,71</b>	-0,16	0,53	0,47
Banana	0,10	<b>0,78</b>	0,62	0,38
Cana-de-açúcar	0,37	<b>0,71</b>	0,64	0,36
Feijão	<b>0,72</b>	-0,05	0,52	0,48
Mandioca	0,28	<b>0,40</b>	0,24	0,76
Milho	<b>0,78</b>	-0,27	0,67	0,33
Soja	<b>0,74</b>	-0,24	0,60	0,40
Sorgo	<b>0,82</b>	-0,04	0,67	0,33

Fonte: Oliveira, 2009

Na Tabela 2 as comunalidades descrevem a quantidade de variância da variável agrícola em consideração explicada pelos dois fatores (F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>) do modelo fatorial. Os valores de comunalidades encontrados com exceção à mandioca foram elevados em relação à unicidade (comunalidade > unicidade) indicando que os dois componentes fatoriais informam bem o interesse biológico apresentado pelas variáveis agrícolas. No caso da mandioca a parte da variabilidade atribuída às produções casuais expressas na variância específica (unicidade = 0,76) indica que esta variável tem comportamento produtivo muito heterogêneo e independente dos outros no conjunto de dados considerados. Na possibilidade de acrescentar mais um fator, provavelmente a variável agrícola mandioca ficaria responsável isolada por esse acréscimo.

Os coeficientes lineares do primeiro fator permitem caracterizar a função como uma componente produtiva agrícola das culturas de algodão, arroz, feijão, milho, soja e sorgo, expressando estas como as mais relevantes para a região Sudeste. O segundo fator caracteriza-se como um indicativo secundário de produção formado por culturas agrícolas não menos importantes que àquelas do fator um, mas cultivadas em menor escala, destacados pela banana, cana-de-açúcar e mandioca.

Complementando essas considerações tem-se que o primeiro fator que retém 42,19% da variância total explicada pelo modelo, mostrou-se mais correlacionado com as culturas anuais, podendo ser denominado de “fator de culturas anuais”. Em relação ao segundo fator, que explicou 16,10%, pode-se denominar “fator de culturas semiperenes”.

## Análise de Correlação Canônica

O estudo inicial da associação entre os vetores climáticos e de produção agrícola foi realizado por meio da correlação canônica entre os conjuntos. As variáveis: temperatura, precipitação, evapotranspiração e umidade relativa do ar são designadas como o conjunto de variáveis climáticas  $X^{(1)}$  e as de produtividade das culturas: algodão, arroz, banana, cana-de-açúcar, feijão, mandioca, milho, soja e sorgo são especificadas como o conjunto das variáveis agrícolas  $X^{(2)}$ , com o objetivo de estudar as relações lineares entre os dois conjuntos de variáveis.

Os resultados mostraram as três primeiras funções canônicas estatisticamente significantes ( $p < 0,01$ ). A primeira e a segunda com correlação canônica de 0,67 e 0,57, respectivamente, indicam associação expressiva entre o conjunto das variáveis climáticas e o conjunto das variáveis agrícolas. A busca dos coeficientes canônicos (pesos canônicos) torna-se neste sentido bastante interessante, pois pode caracterizar informações biológicas altamente relevantes no estudo da importância das variáveis para o entendimento da associação (Tabela 3).

Tabela 3. Coeficientes canônicos correspondentes às três primeiras correlações

Conjunto	Variável	Variável Canônica			
		Primeira	Segunda	Terceira	Quarta
Climático	Temperatura	2,68	-1,45	-0,12	0,18
	Evapotranspiração	-1,83	2,17	0,52	-0,11
	Precipitação	-0,18	-0,23	0,79	0,55
	Umidade relativa	-0,57	0,01	-0,78	0,72
-----					
Agrícola	Algodão	0,23	0,38	-0,23	0,26
	Arroz	-0,03	0,87	-0,20	0,04
	Banana	-0,02	0,05	0,54	-0,13
	Cana-de-açúcar	0,24	0,20	0,29	-0,73
	Feijão	-0,17	-0,16	0,42	0,07
	Mandioca	-0,19	-0,02	-0,77	-0,51
	Milho	-0,11	-0,49	-0,02	-0,22
	Soja	0,86	-0,39	0,01	-0,22
	Sorgo	0,11	0,03	-0,08	0,64
Coeficiente de Correlação		0,67	0,57	0,37	0,18
Porcentagem Total Explicada (Conjunto Climático)		15,71	27,80	19,29	37,20
Porcentagem Total Explicada (Conjunto Agrícola)		25,90	11,08	10,61	11,28

Fonte: Oliveira, 2009

Considerando a indicação convencionada para o vetor  $X^{(2)}$  constituído das variáveis agrícolas:  $X_1^{(2)}$  = algodão,  $X_2^{(2)}$  = arroz,  $X_3^{(2)}$  = banana,  $X_4^{(2)}$  = cana-de-açúcar,  $X_5^{(2)}$  = feijão,  $X_6^{(2)}$  = mandioca,  $X_7^{(2)}$  = milho,  $X_8^{(2)}$  = soja,  $X_9^{(2)}$  = sorgo e para o vetor  $X^{(1)}$  constituído das variáveis climáticas:  $X_{10}^{(1)}$  = temperatura,  $X_{11}^{(1)}$  = evapotranspiração,  $X_{12}^{(1)}$  = precipitação,  $X_{13}^{(1)}$  = umidade, tem-se para o primeiro par canônico ( $U_1, V_1$ ) as seguintes funções canônicas:

$V_1 = 0,234 X_1^{(2)} - 0,031 X_2^{(2)} - 0,017 X_3^{(2)} + 0,243 X_4^{(2)} - 0,174 X_5^{(2)} - 0,195 X_6^{(2)} - 0,110 X_7^{(2)} + 0,865 X_8^{(2)} + 0,115 X_9^{(2)}$ , a função linear das produções agrícolas e  $U_1 = 2,677 X_{10}^{(1)} - 1,826 X_{11}^{(1)} - 0,178 X_{12}^{(1)} - 0,575 X_{13}^{(1)}$ , a função linear das condições climáticas.

Considerando o primeiro par canônico, na Tabela 3, em relação à função  $U_1$  verifica-se o contraste entre a temperatura e o somatório dos outros três componentes climáticos. Quanto à função  $V_1$  tem-se a combinação das culturas algodão, cana-de-açúcar, soja e sorgo contrastando com arroz, banana, feijão, mandioca e milho.

### Associação entre técnicas multivariadas

A incorporação da análise fatorial para avaliar a associação entre as variáveis climáticas e agrícolas foi realizada considerando o banco completo de dados para as duas possibilidades: correlação canônica para o conjunto de todas as variáveis e correlação canônica envolvendo os dois fatores relacionados às variáveis de produtividade agrícola e as variáveis climáticas. Os resultados da interrelação entre produtividade e climatologia, nas duas possibilidades descritas, estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Associação entre técnicas multivariadas

<b>CORRELAÇÃO CANÔNICA PARA O CONJUNTO DE TODAS AS VARIÁVEIS</b>					
Função canônica	Autovalor	Correlação canônica	Graus de Liberdade	Resultado do teste	P-valor
(U1,V1)	0,4468	0,668	36	238,32	1,15E-31
(U2,V2)	0,3233	0,569	24	115,45	6,21E-14
(U3,V3)	0,1334	0,365	14	29,58	8,72E-03
(U4,V4)	0,0313	0,177	6	4,53	6,05E-01
<b>CORRELAÇÃO CANÔNICA PARA OS FATORES AGRÍCOLA E VARIÁVEIS CLIMÁTICAS</b>					
Função canônica	Autovalor	Correlação canônica	Graus de Liberdade	Resultado do teste	P-valor
(U1,V1)	0,267	0,517	8	73,80	8,57E-13
(U2,V2)	0,062	0,249	3	12,57	5,66E-03

Fonte: Oliveira, 2009

Pela Tabela 4, considerando apenas a primeira função canônica verifica-se que a técnica de correlação canônica para o conjunto de todas as variáveis apresentou o melhor desempenho ( $p = 1,15E-31$ ), seguida da correlação canônica associada com a análise fatorial ( $p = 8,57E-13$ ). Portanto, o fato de incorporar a técnica análise fatorial no presente conjunto de dados não trouxe melhora para a acurácia encontrada na análise de correlação canônica considerando o conjunto de variáveis originais.

### Conclusões

Com a análise fatorial identificou-se dois níveis de produção agrícola: o primeiro referente às culturas que são viáveis tanto na produção quanto na adaptabilidade ao meio e o segundo referente àquelas que podem se tornar mais eficientes e interessantes.

Na análise de correlação canônica observou-se que as variáveis do grupo agrícola são relacionadas e confirmam a vocação agrícola da região Sudeste do estado do Mato Grosso. As variáveis climatológicas, temperatura e precipitação, fornecem importantes contribuições, e dessa forma são preditoras de resultados na implantação de culturas. No desenvolvimento de qualquer planejamento agrícola, para esta região, estas variáveis devem ser consideradas.

O fato de incorporar a técnica análise fatorial no presente conjunto de dados não trouxe melhora para a acurácia encontrada na análise de correlação canônica considerando o conjunto de variáveis originais.

## Referências

BARROSO, L. P.; ARTES, R. **Análise multivariada**. In: SIMPÓSIO DE ESTATÍSTICA APLICADA A EXPERIMENTAÇÃO AGRONÔMICA, 10.; REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 48., 2003, Lavras. **Minicursos...** Lavras: UFLA, 2003. 156 p.

CATTELL, R. B. The scree test for the number of factors. **Multivariate Behavioral Research**, Urbana, v. 1, n. 2, p. 245-276, 1966.

DAMÁSIO, B, F. **Uso da análise fatorial exploratória em psicologia. Avaliação psicológica**, 2012, 11.2: 213- 228.

HAIR JUNIOR, J. F. et al. **Análise multivariada de dados**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 600 p.

HÄRDLE, W; SIMAR, L. **Applied multivariate statistical analysis**. Berlin: Springer-Verlag, 2003. 486 p.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis**. 5th ed. New Jersey: Prentice Hall, 2002. 767 p.

KIRCH, J.L.; HONGYU, K; SILVA, F. DE L; DIAS, C. T.; **Análise Fatorial para Avaliação dos Questionários de Satisfação do Curso de Estatística de uma Instituição Federal**. E&S – Engineering and Science, (2017), 6:1.

MANLY, B. F. J. **Multivariate statistical methods: a primer**. 3rd ed. London: Chapman & Hall/CRC, 2004. 214 p.

NEISSE, A.C, HONGYU, K. **Aplicação de componentes principais e análise fatorial a dados criminais de 26 estados dos EUA**. E&S - Engineering and Science, (2016), 5:2.

OLIVEIRA, J. R. T. **Utilização de procedimentos multivariados na produtividade agrícola e climática na região sudeste do estado de Mato Grosso**. 2009. 101 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP. 2009.

OSBORNE, J. W.; COSTELLO, A. B. **Best practices in exploratory factor analysis: Four recommendations for getting the most from your analysis.** Pan-Pacific Management Review, 2009, 12.2: 131-146.

RENCHE, A. C. **Methods of multivariate analysis.** 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 2002. 708 p.