

## DETERMINAÇÃO DA ESTABILIDADE DE VARIÁVEIS DE PRODUÇÃO UTILIZANDO A METODOLOGIA VAR E GRÁFICOS DE CONTROLE MULTIVARIADOS

Bianca Reichert<sup>1\*</sup>, Vitor Hugo de Souza<sup>2</sup>, Adriano Mendonça Souza<sup>3</sup>

1. Estudante de IC do curso de graduação em Engenharia de Produção da UFSM

2. PPGEP –UFSM / Participante do projeto

3. CCNE/UFSM Departamento de Estatística / Orientador

### Resumo:

O objetivo da pesquisa foi determinar a estabilidade das variáveis que influenciam na qualidade do grão de soja armazenado em silos. As variáveis analisadas foram temperatura e umidade, internas e externas ao silo. A estabilidade das mesmas foi verificada através do ajuste de um modelo econométrico vetorial autorregressivo (VAR), onde a análise ocorreu por meio dos resíduos oriundos da modelagem VAR quando inspecionados através do gráfico de controle multivariado  $T^2$  de Hotelling. O intuito da pesquisa é de mostrar a aplicabilidade da modelagem VAR e da utilização de gráficos de controle multivariados, pois, na maioria dos processos produtivos, há pelo menos mais do que duas variáveis analisadas e controladas, a fim de atender aos requisitos de qualidade estabelecidos pelo cliente.

**Palavras-chave:** Modelagem VAR; gráfico  $T^2$  de Hotelling; armazenamento da soja.

**Apoio financeiro:** Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) – CNPq.

**Trabalho selecionado para a JNIC pela instituição:** UFSM.

### Introdução:

Para a agricultura brasileira, a produção da soja é a mais relevante. Segundo o Ministério da Agricultura, a cultura da soja foi a que mais cresceu nas últimas décadas e ocupa 49% da área de plantio no país.

A produção da soja é importante para toda a cadeia produtiva, pois os grãos são transformados em óleos e farelo, utilizados por seres humanos e animais. Na indústria de energia o Biodiesel é outra importante aplicação do óleo de (APROSOJA BRASIL, 2016).

Para que a soja possa ser manipulada pela indústria, a mesma deve permanecer estocada por um período. Na grande maioria, são utilizados silos metálicos para realizar o

armazenamento de grãos. Para manter os níveis ideais de temperatura interna, os silos são adaptados com sistema de ventilação interna.

No entanto, apenas o controle de temperatura não garante que a qualidade do grão armazenado seja mantida, pois a umidade também exerce grande influência na deterioração do grão estocado (CORADI et al., 2015).

Logo, faz-se necessário um estudo para analisar o comportamento da temperatura e umidade internas do silo, e identificar quais os fatores que podem influenciar na mudança das mesmas, a fim de verificar a condição menos favorável aos danos dos grãos.

O objetivo desta pesquisa é determinar a estabilidade das variáveis que influenciam na temperatura e umidade de silos metálicos de armazenamento metálicos de grãos, pelo ajuste de um modelo econométrico vetorial autorregressivo (VAR), onde a análise se dará por meio dos resíduos oriundos da modelagem VAR quando inspecionados por meio do gráfico de controle multivariado  $T^2$  de Hotelling.

Têm-se como objetivos específicos a análise de cada variável individualmente por meio dos gráficos de controle de medidas individuais. A verificação da existência de autocorrelação entre as observações por meio das funções de autocorrelação e autocorrelação parcial. E, por fim busca-se estabelecer uma comparação entre os gráficos de medidas individuais e o  $T^2$  de Hotelling.

### Metodologia:

A pesquisa iniciou com a obtenção de dados com observações diárias, as quais representam as temperaturas e umidades externas e internas de um silo que armazena grãos de soja.

Após a obtenção destes valores, traçaram-se os gráficos das variáveis originais para verificar a ocorrência de comportamento sazonal ou tendencioso.

Em seguida, foram verificadas as funções de autocorrelção e autocorrelação parcial, nas quais se pode observar se há autocorrelção nos dados. Caso seja detectada a autocorrelação é sinal de que as observações não são independentes e, portanto, a aplicação de gráficos de controle do tipo X-barra não é possível, pois viola o princípio da independência entre as observações (MONTGOMERY, 1997).

Como todas as variáveis estão localizadas dentro de um mesmo silo, estima-se uma modelagem VAR, utilizando as seis variáveis, para determinar a dinâmica e o comportamento conjunto das variáveis e para captar as suas interrelações (BOX & JENKINS, 1970; ENDERS, 1995). A modelagem VAR também será aplicada para estimar a série de resíduos que serão utilizadas para a avaliação das variáveis por meio dos gráficos de controle.

Para estimar o melhor modelo, foram realizados os testes de raízes unitárias (ADF e KPSS) e de causalidade de Granger, seguidos da determinação da ordem de defasagens.

A escolha do melhor modelo concorrente se deu por meio da análise dos critérios de informação AIC e BIC, cujos menores valores correspondem ao melhor modelo estimado.

Para melhor compreender os efeitos da autocorrelação nos dados, traça-se o gráfico de medidas individuais X e R nas observações originais e o gráfico multivariado  $T^2$  (HOTTELLING, 1947).

Após utiliza-se os resíduos oriundos desta modelagem para traçar gráficos de controle de medidas individuais X e R, de modo a identificar períodos de instabilidade. Vencida esta etapa, verificou-se a estabilidade conjunta das variáveis por meio do gráfico  $T^2$  de Hotelling aos resíduos.

Depois de determinar a estabilidade das variáveis, as quais servem para controlar a umidade e temperatura do silo, foram identificados os possíveis períodos críticos. Estes são considerados fora de controle, e, para tanto, busca-se alternativas para estabilizar as variáveis.

### Resultados e Discussão:

Para aplicar a metodologia descrita acima, foram utilizadas 110 observações diárias que correspondem a valores de temperatura e umidade internas e externas a um silo que armazena grãos de soja, coletadas no período de agosto a dezembro de 2015. Os dados foram analisados com o auxílio dos softwares *Statistica V9* e *EViews 9 SV*

Ao analisar o comportamento ao longo

do tempo das variáveis, pode-se observar que as variáveis UE e TE tendem a ser estacionárias. Já as variáveis TS, UB, UT e UM demonstram que o comportamento das suas médias varia ao longo do tempo, o que representa uma série não estacionária.

Para identificar os períodos de instabilidade da série, foram elaborados os gráficos de controle de medidas individuais do tipo X e R para cada uma das variáveis.

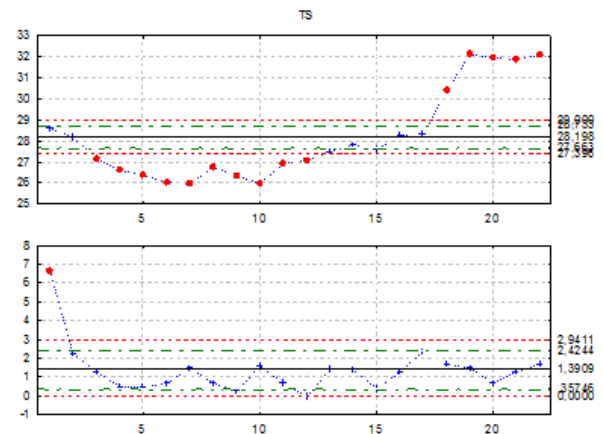


Figura 1 – Gráfico de controle da variável TS

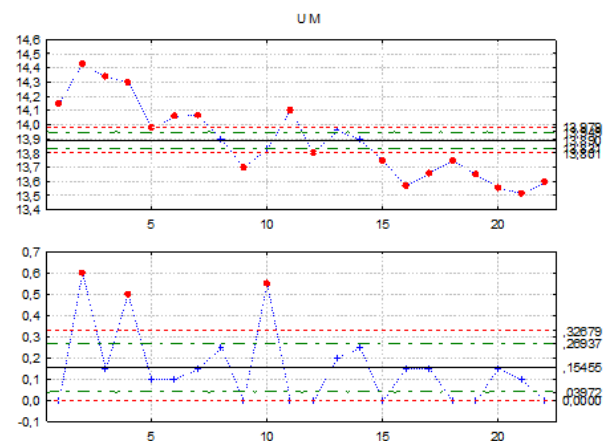


Figura 2 - Gráfico de controle da variável UM

A partir da análise dos gráficos de controle das variáveis, verificam-se pontos fora de controle em todos os gráficos, tanto nos gráficos de medidas individuais do tipo X, quanto no da amplitude. Assim, pode-se concluir que este processo está fora de controle e as variáveis mais críticas são as medidas dentro do silo (TS e UM), as quais podem ser controladas por meio de controle de umidade e ventilação.

Outra ferramenta utilizada para analisar a estabilidade das observações foi o gráfico multivariado  $T^2$  de Hotelling, representado pela Figura 3.

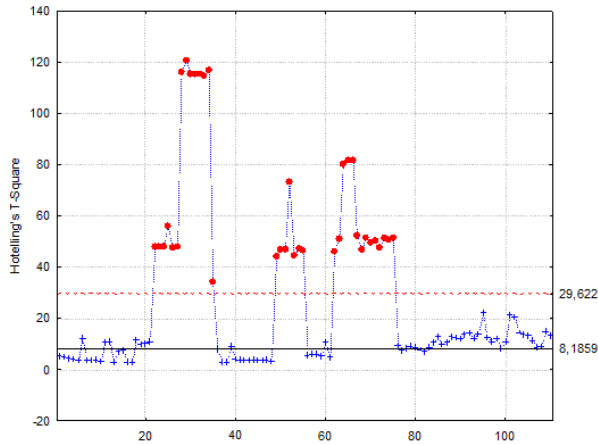


Figura 3 - Gráfico  $T^2$  de Hotelling das variáveis originais

Com a análise da Figura 3, observa-se, novamente, a presença de pontos fora de controle, o que indica que o processo não é estável. Logo, há necessidade de verificar um melhor método para controlar a umidade e a temperatura interna do silo dado que são os principais fatores que influenciam na qualidade do grão estocado.

Para verificar a aplicabilidade do método proposto, é necessário analisar se há correlação entre as variáveis e autocorrelação entre as observações. Assim, foram elaborados os gráficos das funções de autocorrelação e autocorrelação parcial, os quais mostraram que é possível ajustar um modelo de vetor autorregressivo (VAR) que represente a série de dados e as relações de dependência entre as variáveis.

A estacionariedade dos dados é verificada pelo teste de raízes unitárias ADF e KPSS, e os resultados mostram que as variáveis são estacionárias em nível, desta forma um VAR em nível deve ser ajustado às variáveis coletadas.

Assim, ao aplicar a modelagem VAR, obteve-se 2 modelos concorrentes. Destes modelos foi selecionado o modelo VAR (1), que tem como base as variáveis TS e UM em primeiras diferenças, pois o mesmo apresentou os menores valores para as estatísticas  $AIC = 0,161919$  e  $BIC = 0,461675$ .

Com o propósito de analisar a aplicação da modelagem VAR em relação à estabilidade das variáveis, foram elaborados gráficos de controle de medidas individuais para os resíduos encontrados com o modelo selecionado, pois após a modelagem os resíduos apresentam a característica de serem independentes e identicamente distribuídos e com média zero, cumprindo a exigência de não autocorrelação para a aplicação de gráficos de controle.

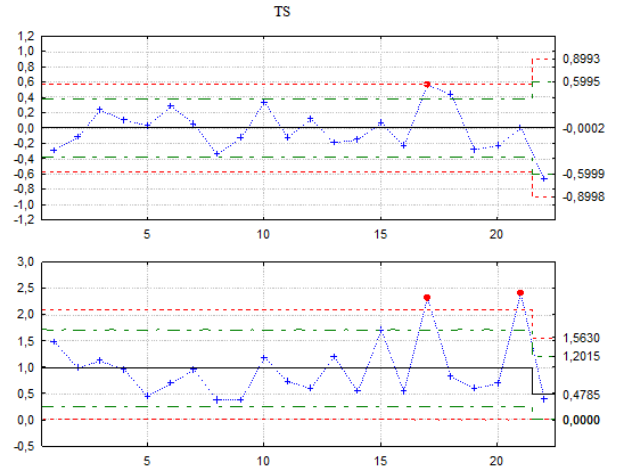


Figura 4 - Gráfico de controle dos resíduos da Var. TS

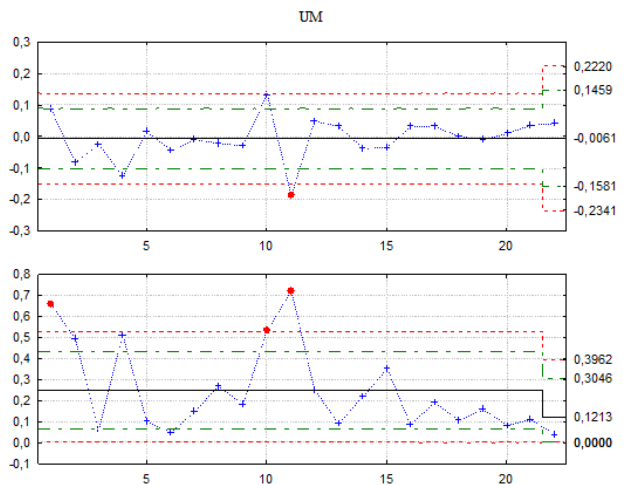


Figura 5 - Gráfico de controle dos resíduos da Var. UM

Percebe-se pelas Figuras 4 e 5 que o modelo estimado teve o seu objetivo proposto alcançado, dado que os pontos fora de controle reduziram em comparação aos gráficos das variáveis originais. Isto se deve ao fato de que a autocorrelação entre as observações faz com que surjam pontos fora do controle não reais. Este efeito de comportamento causado pela autocorrelação é tratado por meio da modelagem VAR, e mostra-se eficaz na análise mais assertivas das causas especiais que surgem no processo.

Outra ferramenta utilizada para analisar a estabilidade de todo o processo, tendo como base o modelo VAR estimado, foi o gráfico  $T^2$  de Hotelling, o qual analisa a variação dos resíduos do modelo.

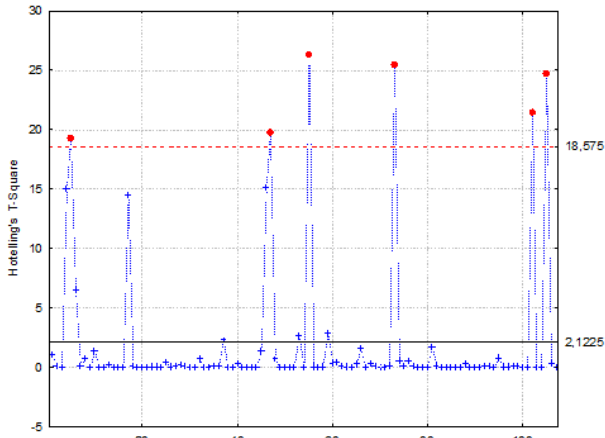


Figura 6 - Gráfico  $T^2$  de Hotelling aplicado aos resíduos

De acordo com a Figura 6, observa-se que há momentos de instabilidade no processo, através dos pontos fora dos limites de controle. Sendo assim, há necessidade de se ter um controle mais rigoroso da temperatura e umidade internas do silo, dado que são os fatores críticos para a conservação da qualidade dos grãos.

### Conclusões:

Para analisar as principais variáveis que interferem na qualidade de grãos de soja armazenados em silos, foi estimado um modelo VAR, o qual elimina a autocorrelação existente nas observações. O melhor modelo encontrado foi um VAR (1) entre as variáveis umidade e temperatura do silo em primeiras diferenças.

É importante observar que os gráficos de controle, tanto univariados quanto multivariados, apresentaram pontos fora de controle em menor quantidade quando se trabalhou com os resíduos oriundos da modelagem. Isto mostra que o efeito de correlação compromete a eficiência dos gráficos quando não se trata a autocorrelação previamente, fazendo com que os gráficos de controle, quando traçados nas variáveis originais, apresentassem alarmes falsos devido ao efeito da autocorrelação.

Estas são variáveis importantes a serem analisadas, pois a qualidade do grão e seu uso na indústria dependem de que as faixas de temperatura e umidade sejam controladas e mantidas dentro dos padrões.

### Referências bibliográficas

APROSOJA BRASIL. **Uso da soja**. Disponível em: <<http://aprosojabrasil.com.br/2014/sobre-a-soja/uso-da-soja/>>. Acesso em: 09 ago. 2016.

BOX, G.E.P.; JENKINS, G.M. **Time series analysis – Forecasting and control**.

Oakland, CA: Holden-Day, 1970.

ENDERS, W. **Applied econometric time series**. Wiley series in probability and mathematical statistics. John Wiley and Sons, Inc., New York. N.Y. 1995.

HOTTELLING, H. Analysis of a complex of Statistical variables into principal components. **The Journal of Educational Psychology**, v.24, pp.417 – 441/498 – 520. 1933.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. **Soja**.

Diposnível em:

<<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/soja>>. Acesso em: 09 ago. 2016.

MONTGOMERY, D.C. **Introduction to statistical quality control**. 3. ed. New York: John Wiley & Sons, Inc. 1997.