

## INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS AGROMETEOROLÓGICAS DURANTE O CICLO VEGETATIVO NA PRODUTIVIDADE DA SOJA NO ESTADO DO PARANÁ

EDILZA M. SILVA<sup>1</sup>, PRISCILA P. GASPARIN<sup>2</sup>, ALEX PALUDO<sup>3</sup>, WILLYAN R. BECKER<sup>4</sup>, LUCIANA P. C. GUEDES<sup>5</sup>, JERRY A. JOHANN<sup>6</sup>

<sup>1,2</sup>Matemática, Doutoranda em Engenharia Agrícola - PGEAGRI - UNIOESTE, Cascavel - PR, (45) 3220-7320, edilza\_martins@hotmail.com.

<sup>3,4</sup>Engenheiro Agrícola, Doutorando em Engenharia Agrícola - PGEAGRI - UNIOESTE, Cascavel - PR.

<sup>5</sup>Matemática, Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Adjunta, Pós-Graduação em Engenharia Agrícola - PGEAGRI - UNIOESTE, Cascavel-PR.

<sup>6</sup>Engenheiro Agrícola, Prof<sup>o</sup>. Dr<sup>o</sup>. Adjunto, Pós-Graduação em Engenharia Agrícola - PGEAGRI - UNIOESTE, Cascavel-PR

Apresentado no  
XLVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2019  
Centro de Convenções da Unicamp - Campinas - SP  
17 a 19 de setembro de 2019

**RESUMO:** O desenvolvimento da cultura da soja pode ser influenciada por variáveis agrometeorológicas, causando impacto na produtividade de grãos. Neste contexto, objetivou-se verificar a influência das variáveis agrometeorológicas, na produtividade da soja, durante todo o ciclo vegetativo da cultura no estado do Paraná, nos anos-safras 2011/2012 e 2013/2014. Os dados em estudo foram submetidos à análise descritiva e uma análise da distribuição espacial, relacionando as regiões com maiores e menores valores de produtividade com os valores das variáveis agrometeorológicas. Os resultados mostraram que a produtividade média da soja e a variável precipitação apresentaram valores menores no ano-safra 2011/2012, quando comparado com o ano-safra de 2013/2014. A distribuição espacial das variáveis agrometeorológicas, exceto a precipitação, seguiu a mesma tendência nos dois anos-safras. Verificou-se ainda, uma associação espacial direta entre a produtividade e a precipitação, e uma associação espacial inversa da produtividade com a temperatura média, radiação solar e a evapotranspiração.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ciclo vegetativo; Decêndio; Precipitação.

## INFLUENCE OF AGROMETEOROLOGICAL VARIABLES DURING THE VEGETATIVE CYCLE IN SOYBEAN PRODUCTIVITY IN THE STATE OF PARANÁ

**ABSTRACT:** The development of soybean crop can be influenced by agrometeorological variables, causing impact on grain yield. In this context, we aimed to verify the influence of the agrometeorological variables, on soybean yield, during the entire vegetative cycle of the crop in the state of Paraná, in the 2011/2012 and 2013/2014 crop years. The data under study were submitted to descriptive analysis and analysis of a spatial distribution, relating them with higher and lower values of productivity with the values of the agrometeorological variables. The results were: the average soybean and the lowest variable in the lowest year 2011/2012, when compared to the crop year of 2013/2014. The spatial distribution of agrometeorological commodities, except for precipitation, followed the same trend in the two crop years. Once

again between productivity and precipitation, an inverse spatial association of productivity with mean, solar radiation and evapotranspiration was also verified.

**KEYWORDS:** Vegetative cycle; 10-day; Precipitation.

## INTRODUÇÃO

A soja tem sido a protagonista no aumento da produção de grãos no Brasil nos últimos anos, devido à forte influência da cultura na economia do país. Com a expansão do cultivo da soja, o Brasil apresentou uma produtividade de  $3,39 \text{ t ha}^{-1}$  e o estado do Paraná, considerado o segundo maior produtor da cultura no país, obteve uma produtividade de  $3,36 \text{ t ha}^{-1}$  no ano-safra de 2017/2018 (CONAB, 2018). No estado do Paraná, a produtividade da soja no ano-safra de 2017/2018 foi superior ao ano-safra de 2016/2017. Isso se deve ao clima do estado e a utilização de tecnologias por parte do setor produtivo (EMBRAPA SOJA, 2017).

A variabilidade climática é um dos fatores que determina o potencial da produtividade agrícola, podendo influenciar diretamente no crescimento e no desenvolvimento das plantas nas diversas fase do ciclo da cultura (ASSAD et al., 2001). Além disso, os elementos que mais influenciam no desenvolvimento e na produtividade da soja são: disponibilidade hídrica, temperatura, fotoperíodo e evapotranspiração (KLOSOWKI, 1997).

Apesar do vasto conhecimento tecnológico para o cultivo da soja, a disponibilidade hídrica durante a fase de crescimento da planta é a principal limitação do potencial de produtividade da cultura (EMBRAPA, 2007) e também corresponde a uma das principais causas da variabilidade da produtividade da cultura, de um ano para o outro, ou de uma região para outra (EMBRAPA SOJA, 1999).

Desta maneira, a água é um dos elementos climáticos mais importantes para o desenvolvimento da soja, principalmente nos períodos de germinação-emergência e de floração-enchimento de grãos. No período de germinação-emergência, a planta necessita absorver no mínimo 50% do seu peso em água para a ocorrência de uma boa germinação. E conforme se desenvolve, a planta necessita absorver uma quantidade maior de água até atingir a quantidade máxima, que ocorre durante o período de floração-enchimento de grãos, sendo de 7 a 8 mm por dia, e após esse período a quantidade de absorção de água diminui (EMBRAPA, 2007).

Outro fator relevante é a temperatura, sendo que para o cultivo da soja é recomendado um ambiente com temperatura entre 20 a  $30^{\circ}\text{C}$ , sendo considerado como temperatura ideal em torno de  $30^{\circ}\text{C}$  (EMBRAPA, 2010). Temperaturas acima  $30^{\circ}\text{C}$  durante os estádios vegetativos propoirciona uma diminuição do crescimento da planta e o adiantamento do seu desenvolvimento. Ocorrendo então, um florescimento precoce que pode causar um comprometimento da produtividade (BONATO, 2000).

Como o desenvolvimento da planta (estádios fenológicos) e a produtividade da soja são altamente influenciadas pelas variações climáticas, realizou-se uma análise da variabilidade da produtividade da soja no estado do Paraná e das variáveis agrometeorológicas, por meio de uma análise estatística descritiva e técnicas de estatística espacial, como o Índice Global de Moran Bivariado, a fim de verificar a relação existente entre essas variáveis.

## MATERIAL E MÉTODOS

A área em estudo compreende o estado do Paraná, localizado no sul do Brasil, situado entre os paralelos  $22^{\circ}29' \text{ S}$  e  $26^{\circ}43' \text{ S}$  e os meridianos  $48^{\circ}02' \text{ W}$  e  $54^{\circ}38' \text{ W}$  (Figura 1).

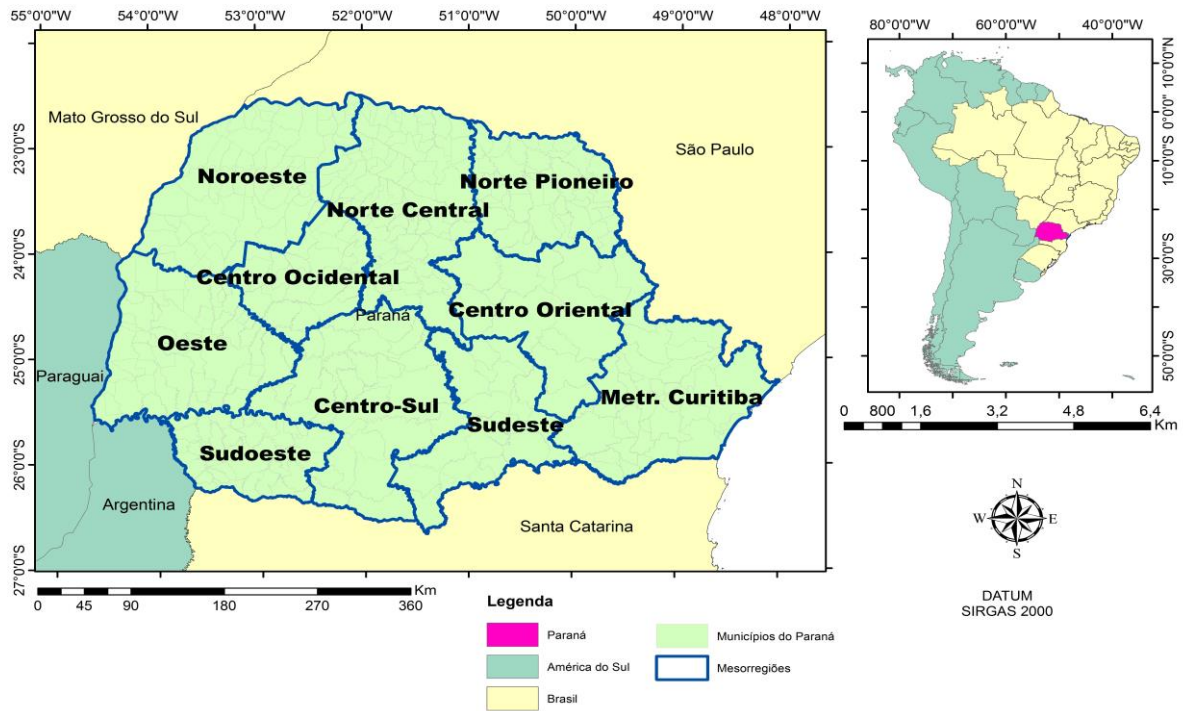


Figura 1. Área de estudo com as 10 mesorregiões do estado do Paraná

Analisou-se o ciclo da cultura da soja em todo o estado, observando o período da semeadura e da colheita, que teve início no 3º decêndio de agosto e término no 1º decêndio de abril, para os anos-safras 2011/2012 e 2013/2014.

Para as variáveis agrometeorológicas, foram utilizados os dados provenientes do modelo ECMWF (*European Center for Medium-Range Weather Forecast*). Esses dados globais estão em uma resolução espacial de um grau de longitude e latitude, são pré-processados e transformados em grades de 0,25 graus ( $\pm 25 \times 25\text{km}$ ) e são disponibilizados gratuitamente no website em formato Shape (JRC, 2018).

As variáveis consideradas foram a temperatura média do ar [TMed] ( $^{\circ}\text{C}$ ), o valor acumulado no período do ciclo vegetativo da soja para as variáveis: precipitação pluvial [Prec](mm), radiação solar global [Rs] ( $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ ) e evapotranspiração potencial [ETp](mm).

Os dados da produtividade média da soja foram obtidos para cada município do estado do Paraná, por meio de informações provenientes do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Dos 399 municípios, não há informação sobre a produtividade para 38 municípios no ano-safra 2011/2012 e 29 municípios para o ano-safra 2013/2014.

Para a determinação do valor da produtividade da soja nas mesmas localizações, ou seja, nas estações virtuais (EV) do ECMWF, calculou-se em cada EV a produtividade média ponderada (Equação 1).

$$PMP = \frac{\sum_{j=1}^n a_j p_j}{\sum_{j=1}^n a_j}, \quad (1)$$

em que,

$PMP$  é a produtividade média ponderada,

$a_j$  é a área do  $j$ -ésimo município dentro da EV do ECMWF, com  $j = 1, \dots, n$ , sendo  $n$  o número de municípios dentro da EV,

$p_j$  é a produtividade do  $j$ -ésimo município.

Além disso, os municípios que não apresentaram produtividade ( $p_j = 0$ ) foram desconsiderados do cálculo da *PMP*.

Realizou-se uma análise descritiva da distribuição espacial das variáveis, por meio do *software* Geoda 1.12 (ANSELIN, SYABRI e KHO, 2006) e ArcGis 10.0 (ESRI, 2015). Além disso, verificou-se a correlação espacial, por meio do Índice de Moran Bivariado, realizando inicialmente o teste de normalidade do dados, por meio do teste de Jones (1969). Para as variáveis que não apresentaram uma distribuição normal, aplicou-se as transformações Box-Cox (BOX COX, 1964) e de Johnson (JOHNSON, 2000).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

No ano-safra 2011/2012 a produtividade média da soja no estado (Tabela 1) apresentou maiores valores e alta dispersão dos dados (CV) em relação ao ano-safra 2013/2014. Em relação às variáveis agrometeorológicas, apenas a radiação solar apresentou maiores valores médios no ano-safra de 2011/2012, ao comparar os dois anos-safras. Já a evapotranspiração potencial apresentou uma média dispersão, no ano-safra de 2011/2012, sendo que as demais variáveis agrometeorológicas apresentaram baixa dispersão nos dois anos-safras (Tabela 1).

Notou-se que a produtividade da soja no Paraná no ano-safra 2011/2012 (Figura 2a) apresentou valores acima da média do estado ( $2,45 \text{ t ha}^{-1}$ ) na maior parte das mesorregiões Centro Oriental, Centro Sul, Sudeste e dos Campos Gerais. Já os menores valores da produtividade desse mesmo ano-safra (Figura 1a) estão localizados em grande parte das mesorregiões Noroeste, Oeste e Sudoeste.

TABELA 1. Estatística descritiva da variável produtividade média ponderada (PMP) da soja e das variáveis agrometeorológicas em todo o ciclo vegetativo da soja.

Variáveis	2011/2012			2013/2014		
	Média	Desvio padrão	CV (%)	Média	Desvio padrão	CV (%)
<i>PMP</i>	$2,58 \text{ t ha}^{-1}$	$0,69 \text{ t ha}^{-1}$	26,74	$2,92 \text{ t ha}^{-1}$	$0,56 \text{ t ha}^{-1}$	19,18
TMed	$21,14 \text{ }^\circ\text{C}$	$2,24 \text{ }^\circ\text{C}$	0,10	$21,46 \text{ }^\circ\text{C}$	$2,19 \text{ }^\circ\text{C}$	0,11
Rs	5,10 MJ	0,19 MJ	0,17	5,02 MJ	0,22 MJ	0,04
ETp	962,67 mm	151,95 mm	15,78	1045,23 mm	148 mm	0,14
Prec	850,94 mm	131 mm	6,49	1122,52 mm	191,69 mm	0,17

*PMP* = produtividade média ponderada da soja; TMed, Rs, ETp e Prec são respectivamente: temperatura média, valor da radiação solar acumulada, valor da evapotranspiração potencial acumulada e valor da precipitação acumulada; CV: coeficiente de variação.

Essa tendência da distribuição espacial da produtividade da soja está de acordo com os resultados obtidos pela Embrapa (2016). Para o ano-safra 2013/2014 (Figura 2b) constatou-se que os menores valores de produtividade ocorreram nas mesorregiões Noroeste, Norte Pioneiro e parte do Norte Central.

As demais mesorregiões apresentaram valores próximos ou acima da média do estado ( $2,86 \text{ t ha}^{-1}$ ). Ao comparar as produtividades médias entre os anos-safras em estudos, por meio do teste Z, constatou-se que as médias são estatisticamente diferentes a 5% de significância ( $p\text{-valor} < 0,05$ ).

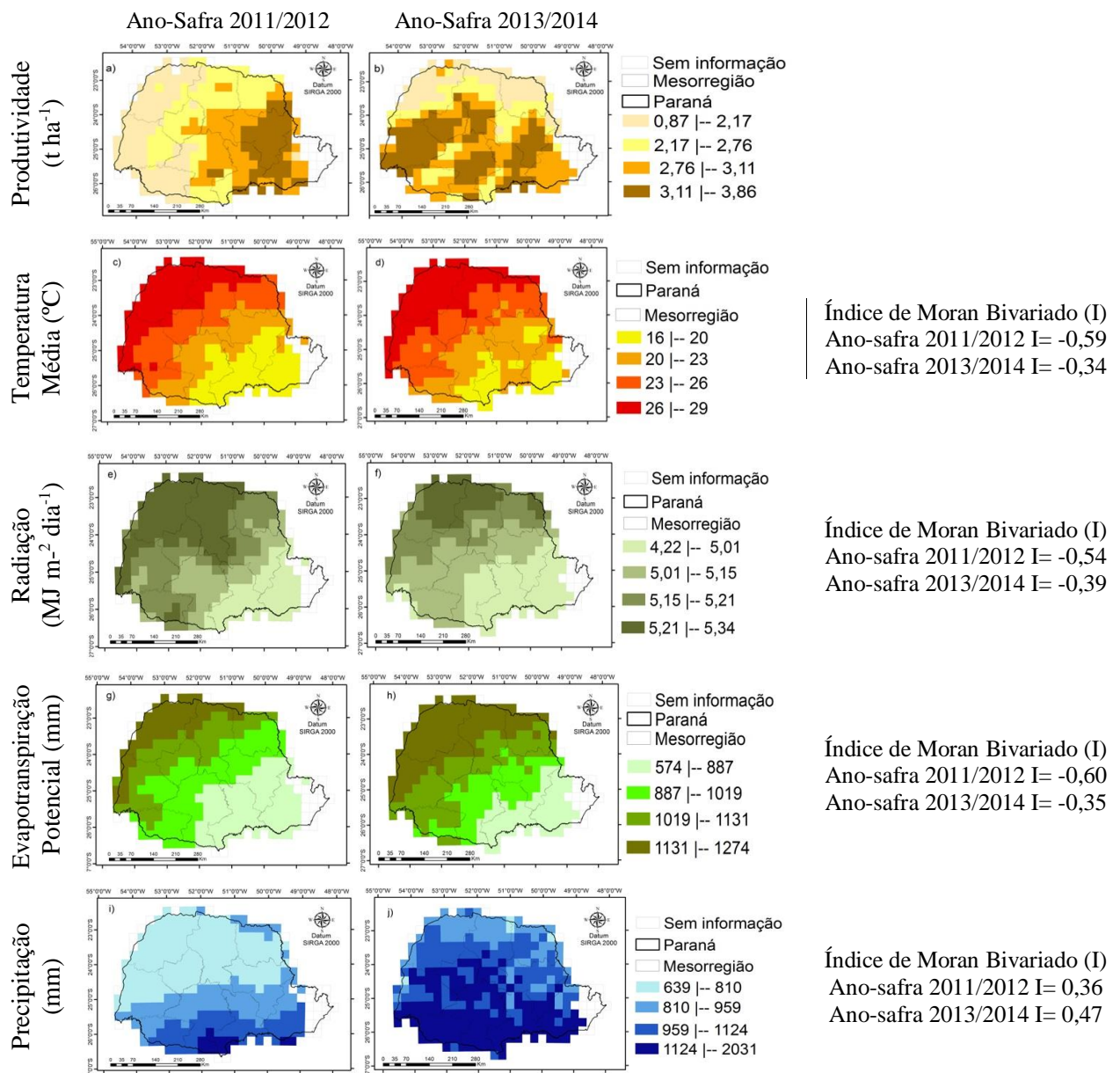


FIGURA 2. Distribuição espacial das variáveis agrometeorológicas em todo ciclo vegetativo da soja e da produtividade da soja nos anos-safra em estudo; I=Índice de Moran Global Bivariada entre a variável produtividade e as demais variáveis (teste significativo a 5% de significância).

De modo geral, as variáveis agrometeorológicas temperatura média, radiação solar e evapotranspiração potencial, no ciclo vegetativo da cultura (Figura 2c à 2h), apresentaram os maiores valores nas regiões Noroeste, Norte Central (mesorregiões com menor produtividade). Sendo que ocorreu uma diminuição gradativa dos valores destas variáveis em direção à mesorregião Sudeste do estado, sendo uma das mesorregiões com maiores valores de produtividade.

Constatou-se que no ano-safra 2011/2012 (Figura 2i) ocorreu uma concentração do volume de precipitação nas mesorregiões do Sul, onde está a maior concentração da produtividade do estado, diminuindo gradativamente até o Norte, estando localizando as mesorregiões com menores valores de produtividade.

Por outro lado, no ano-safra 2013/2014 (Figura 2j), a distribuição da precipitação ocorreu em maior quantidade em praticamente todo o estado (810 a 2031 mm), assim não se

diferenciando muito a quantidade de chuva nas regiões com maiores ou menores valores de produtividade, estando acima do valor recomendado de 650 a 700 mm (EMBRAPA, 2007) e bem distribuído em todo o ciclo da cultura (Figura 2j).

Além disso, nas regiões com menor volume de precipitação, houve um aumento da quantidade da radiação e da evapotranspiração, sendo também as regiões com menores valores produtividades. Isto pode ser explicado pelo fato que dias límpidos aumentam a disponibilidade da radiação solar (ALBERTO et al., 2006) e conseqüentemente a quantidade de evapotranspiração (GRZEGOZEWSKI et al., 2017).

Por meio do Índice de Moran Global Bivariado (Figura 2c à 2j), observou-se uma correlação espacial positiva e significativa apenas entre as variáveis produtividade e precipitação, as demais variáveis agrometeorológicas apresentaram uma correlação espacial negativa e significativa.

## CONCLUSÕES

Do modo geral, verificou-se uma relação espacial direta entre a produtividade e a precipitação, sendo que em regiões com maiores e menores valores de produtividade ocorreram maiores e menores valores de volume de chuva.

Para as variáveis temperatura média, radiação solar e evapotranspiração, observou-se uma relação espacial inversa com a produtividade.

## AGRADECIMENTOS

A CAPES pelo apoio financeiro e aos membros do laboratório de estatística aplicada (LEA) da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE) pela auxílio computacional.

## REFERÊNCIAS

- ALBERTO, C. M.; STRECK, N. A.; HELDWEIN, A. B; BURIOL, G. A.; MEDEIROS, S. L. P. Água no solo e rendimento do trigo, soja e milho associados ao El Niño Oscilação Sul. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.41, n.7, p.1067-1075, 2006.
- BOX, G.; COX, D. An analysis of transformations. **Journal of the Royal Statistical Society**. p. 211- 252, 1964.
- ANSELIN, L.; SYABRI, I.; KHO, Y. **GeoDa: an introduction to spatial data analysis, Geographical Analysis**, 2006.
- ASSAD, E. D., PINTO, H. S. ZULLO Jr. J., FONSECA, M. Impactos das mudanças climáticas no zoneamento de riscos climáticos para a cultura da soja no Brasil. **Pesquisa agropecuária brasileira**, 2p. 2001.
- BONATO, E. R. **Estress Soja**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000, p. 19-55.
- CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileiro – grãos**: Sétimo levantamento, abril de 2018– safra 2017/2018: Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. 2018.
- ECMWF, European Centre for Medium-Range Weather Forecasts. 2018. Disponível em: <http://spirits.jrc.ec.europa.eu/download/downloaddata/downloadmeteodata/>.
- EMBRAPA SOJA. **Resultados de pesquisa de soja 1991/92**. p. 816. doc.138. Londrina, Paraná, 1999.
- EMBRAPA. **Ecofisiologia da Soja**. Circular Técnica 48, p. 01-08, Londrina, Paraná, 2007.

EMBRAPA. **Variabilidade espacial e temporal da produção de soja no Paraná e definição de ambientes de produção**. 1ª edição, p. 19, Londrina, Paraná: Embrapa Soja, 2016.

EMBRAPA SOJA. **Resultados do Manejo Integrado de Pragas da Soja na safra 2016/2017 no Paraná**. p.9, ed. 21, Londrina- PR, 2017.

ESRI. ArcGIS for Windows Version 10.0. License type ArcInfo. [S.I]: **ESRI - Environmental Systems Research Institute**, 2015.

GRZEGOZEWSKI, D. M.; JOHANN, A. J.; URIBE-OPAZO, M. A.; MERCANTE, E.; COUTINHO, A. C. Mapping soya bean and corn crops in the State of Paraná, Brazil, using EVI images from the MODIS sensor. **International Journal of Remote Sensing**.n. 6, v. 37, p. 1257-1275, 2016.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Relatórios metodológicos - Pesquisas Agropecuárias - Departamento de Agropecuária**. 2 ed., Rio de Janeiro, 2018.

YEO, K; JOHNSON, R. A. A new family of power transformations to improve normality or symmetry. **Journal Biometrika**, Oxford, v. 87, p. 954–959, 2000.

JONES, T.A. Skewness and kurtosis as criteria of normality in observed frequency distributions. **Journal Sedimentary Petrology**.Colorado, p.1622-1627, 1969.

JRC - JOINT RESEARCH CENTRE. **Dados meteorológicos simulados pelo modelo do ECMWF**. 2018. Disponível em: <http://mars.jrc.ec.europa.eu/mars/About-us/FOODSEC/DataDistribution>. Acessado 10 outubro 2018.

KLOSOWSKI, E. S. Estimativa da Produtividade de Cultivares de Soja por meio do Modelo Soygro para Londrina, Estado do Paraná. **Revista UNIMAR**, Maringá – PR. v 19, n. 03, p. 751-765, 1997.