

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

VITOR HERINGER SILVA

RELAÇÃO DO ÍNDICE DE SECA DE PALMER COM A
PRODUTIVIDADE DO CAFÉ NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO E DA
SOJA NOS ESTADOS DO MATO GROSSO, PARANÁ E RIO GRANDE DO
SUL

ALEGRE - ES
2016

VITOR HERINGER SILVA

RELAÇÃO DO ÍNDICE DE SECA DE PALMER COM A
PRODUTIVIDADE DO CAFÉ NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO E DA
SOJA NOS ESTADOS DO MATO GROSSO, PARANÁ E RIO GRANDE DO
SUL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal, na área de concentração em Recursos Hídricos e Geoprocessamento em Sistemas Agrícolas.

Orientador: Prof. *D. Sc.* Alexandre Cândido Xavier.

ALEGRE - ES

2016

S586r Silva, Vitor Heringer, 1990-
Relação do índice de seca de Palmer com a produtividade do café no estado do Espírito Santo e da soja nos estados do Mato Grosso, Paraná e Rio Grande do Sul / Vitor Heringer Silva. – 2016.
55 f. : il.

Orientador: Alexandre Cândido Xavier.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.

1. Índice de severidade de seca de Palmer (PDSI). 2. Produção agrícola. 3. Evapotranspiração. 4. Café. 5. Soja. I. Xavier, Alexandre Cândido. II. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. III. Título.

CDU: 63

**RELAÇÃO DO ÍNDICE DE SECA DE PALMER COM A PRODUTIVIDADE DO
CAFÉ NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO E DA SOJA NOS ESTADOS DO
MATO GROSSO, PARANÁ E RIO GRANDE DO SUL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal, na área de concentração em Recursos Hídricos e Geoprocessamento em Sistemas Agrícolas.

Aprovada em 29 de julho de 2016.

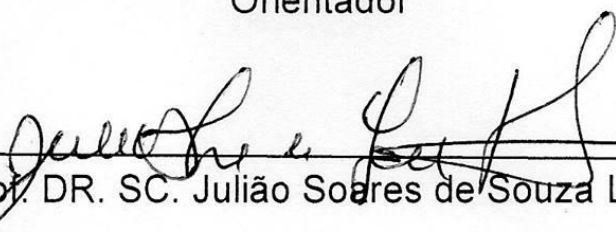
COMISSÃO EXAMINADORA



Prof. DR. SC. Alexandre Cândido Xavier

Centro de Ciências Agrárias e Engenharias – UFES

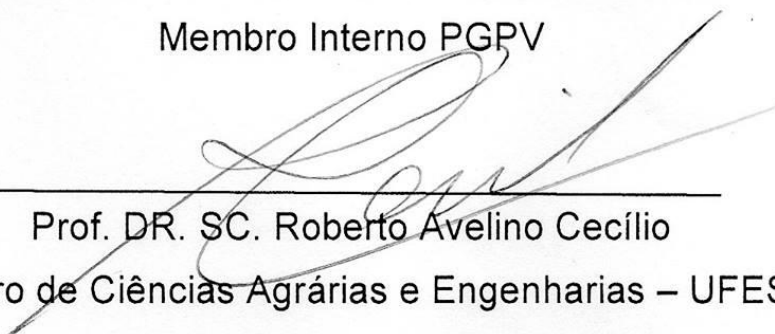
Orientador



Prof. DR. SC. Julião Soares de Souza Lima

Centro de Ciências Agrárias e Engenharias – UFES

Membro Interno PGPV



Prof. DR. SC. Roberto Avelino Cecílio

Centro de Ciências Agrárias e Engenharias – UFES

Membro externo

DEDICO

Aos meus pais, Edenilza Nantes Heringer Silva e Ivalci Domingos da Silva.

A tua palavra é lâmpada para os meus passos, e luz para o meu caminho.

(Salmos 119:105).

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelos livramentos concedidos, saúde, sabedoria e por seu infinito amor;

Aos meus pais, por todo sacrifício que fizeram por mim, pela educação, ensinamentos, pelo apoio e por fazerem dos meus sonhos os seus;

Aos meus irmãos, em especial o Gildo pelo apoio sempre que precisei e pelo exemplo de vida que me passou;

A toda minha família que de alguma forma me ajudou nessa conquista;

Aos meus amigos da Universidade, em especial o Rafael Esteves por toda ajuda e amizade;

Aos amigos da república Fenda do Bikini e do grupo Carro Pancadão pela amizade e momentos de descontração;

Ao meu orientador Alexandre Cândido Xavier, pela convivência, pelos ensinamentos concedidos, apoio, dedicação, paciência e disponibilidade em todos os momentos em que necessitei;

Ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCAUE-UFES), pela oportunidade concedida.

RESUMO

SILVA, Vitor Heringer. **Relação do índice de seca de Palmer com a produtividade do café no estado do Espírito Santo e da soja nos estados do Mato grosso, Paraná e Rio Grande do Sul.** 2016. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, ES. Orientador: Alexandre Cândido Xavier.

A seca é um dos fenômenos climáticos que mais causam prejuízos na agricultura influenciando de forma negativa o desenvolvimento socioeconômico. Ela ocorre quando a precipitação apresenta valores abaixo da normal climatológica para determinada região. O diagnóstico da seca pode ser feito por meio de índices quantificadores de seca e análises estatísticas com base em um serie climatológica. Os índices de seca identificam os períodos de seca ou umidade em uma área pontual ou regional a partir de equações empíricas e permitem determinar a intensidade, duração e frequência que ocorrem. Eles relacionam vários anos de variáveis climatológicas como: precipitação, temperatura do ar, evapotranspiração, escoamento superficial e umidade do solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar a relação do Índice de Severidade de Seca de Palmer (PDSI) com a produtividade de café no Espírito Santo (ES) e da soja nos estados do Mato Grosso (MT), Paraná (PR) e Rio Grande do Sul (RS). Os cálculos foram realizados por meio do código adaptado de Jacobi et al. (2013), em que são necessários evapotranspiração, precipitação e capacidade de campo. Os dados de produtividade utilizados foram do IBGE, a série histórica de dados utilizada foi no período de 1990 a 2013. O PDSI foi calculado para o ES, RS, PR e MT. Após foi analisado a relação da produtividade com o índice de Palmer. No ES o PDSI foi avaliado com a produtividade de café, no PR, MT e RS o PDSI foi avaliado com a produtividade de soja. De acordo com a regressão linear simples conclui-se que o PDSI não foi significativo na correlação com a produtividade de café no ES, para a cultura da soja o PDSI foi significativo para o estado do RS e MT.

Palavras-chave: PDSI, Produção agrícola, Evapotranspiração, *Coffea*, *Glycine*.

ABSTRACT

Drought is one of the climate phenomena that cause most damage in agriculture influencing negatively the socio-economic development. It occurs when precipitation has values below the climatological normal for a given region. The diagnosis of dry can be done by means of quantifiers index dried and statistical analysis based on a climatological series. Drought indices identify dry or humid periods in a point or regional area from empirical equations and determining the intensity, duration and frequency that occur. They relate to several years of climatological variables such as precipitation, air temperature, evapotranspiration, runoff and soil moisture. The objective of this study was to evaluate the relationship of the Palmer Drought Severity Index (PDSI) with coffee productivity in Espírito Santo (ES) and soybeans in Mato Grosso (MT), Paraná (PR) and Rio Grande do Sul (RS). The calculations were performed using MATLAB software, using an adapted code Jacobi et al. (2013), which are needed evapotranspiration, precipitation and field capacity. The productivity data used were the IBGE, the time series data used was from 1990 to 2013. The PDSI was calculated for the ES, RS, PR and MT. After the relationship was analyzed productivity with the Palmer index. ES in the PDSI was evaluated with the coffee productivity, PR, MT and RS the PDSI was evaluated with soybean productivity. According to the linear regression it is concluded that the PDSI was not significant in correlation with coffee productivity in ES, for the soybean crop the PDSI was significant for the state of Rio Grande do Sul and Mato Grosso.

Keyword: PDSI, Agricultural production, Evapotranspiration, *Coffea*, *Glycine*.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 OBJETIVOS	11
2.1 OBJETIVO GERAL	11
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
3.1 SECA	12
3.2 ÍNDICE DE SECA	12
3.3 PDSI	13
3.4 CAFÉ	20
3.5 SOJA	22
4 MATERIAL E MÉTODOS	23
4.1 ÁREA DE ESTUDO	23
4.2 DADOS	24
4.3 METODOLOGIA	26
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
5.1 CAFÉ	30
5.2 SOJA	33
6 CONCLUSÕES	43
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
APÊNDICE A	49
ANEXO A	53

1 INTRODUÇÃO

O aumento de frequentes secas, da gravidade, duração, e a redução da oferta de água, tem gerado o aumento notável nos impactos associados com a seca no mundo. Embora a agricultura tenha sido o primeiro e o setor mais afetado, muitos outros setores, incluindo a produção de energia, o turismo, transporte, abastecimento urbano de água e meio ambiente, também têm experimentado perdas significativas devido ao fenômeno da seca (WILHITE; SIVAKUMAR e PULWARTY, 2014).

Ainda não existe na literatura uma definição padrão para o fenômeno da seca, do ponto de vista conceitual, válida que englobe todas as atividades humanas e lugares, fazendo com que definições sejam dependentes da temática de abordagem (BLAIN et al., 2010). De acordo com Jacobi et al. (2013), o significado de seca para um agricultor de arroz do Sri Lanka, pode ser completamente diferente para um agricultor de milho em Nebraska, pois a quantidade precipitada para definir seca ou umidade em determinada região pode ser diferente em outra, podendo assim, o total precipitado em um lugar ser considerado seca e em outro não.

As secas são comumente classificadas em quatro categorias: (I) seca meteorológica; (II) seca agrícola; (III) seca hidrológica; e (IV) seca socioeconômica. A seca meteorológica é causada pela ausência da precipitação, possivelmente em combinação com alta evapotranspiração. A falta de umidade do solo causada pela seca meteorológica é chamada de seca agrícola, e afeta diretamente as culturas agrícolas. A seca hidrológica refere-se aos níveis dos rios e reservatórios abaixo do normal. A seca socioeconômica refere-se quando o déficit de água provoca a falta de bens ou serviços, como a energia elétrica e alimentos, devido ao volume de água inadequado, à má distribuição das chuvas, ao aumento no consumo, ou ainda ao mau gerenciamento dos recursos hídricos (VROCHIDOU et al., 2013).

Em geral, todos os tipos de seca são causadas pela deficiência da precipitação, que resulta na escassez de água para alguma atividade. Atualmente, a maior dificuldade é a determinação da duração do período de seca e os impactos causados pela falta de água durante esse período (WILHITE e GLANTZ, 1985).

Segundo Santos et al. (2011), o Brasil é um país onde o setor agrícola tem grande relevância na economia, porém, apresenta carência em estudos prospectivos sobre os

possíveis impactos na produção agrícola em relação à seca. A análise dos possíveis impactos das secas na agricultura permite o planejamento de ações e a obtenção de tecnologias necessárias para enfrentar esse problema. De acordo com Uliana et al. (2015), as reduções de produtividade nas safras destacam-se dentre os impactos causados pela seca na agricultura.

Nesse contexto, estudos de impactos da seca nas safras agrícolas são de grande relevância. No Espírito Santo a seca dos últimos anos vem afetando a agricultura. O café, dentre as culturas, merece destaque devido à expressão dela no estado, sendo considerada uma das atividades mais importantes do setor agrícola, proporcionando desenvolvimento econômico e social (TATAGIBA, PEZZOPANE e REIS, 2010). O rendimento da cultura do café é influenciado, principalmente, pelos elementos climáticos, quando a deficiência hídrica torna-se elevada ocorre, em sua maioria, queda na produção (ASSAD et al., 2001).

O café está presente em todos os municípios do estado do Espírito Santo, das 82.400 propriedades no estado, 56.169 são cultivadas com café, totalizando 68% das propriedades. Sendo que 22.713, 40% do total das propriedades, são com café arábica, e 33.456, totalizando 59% são de café conilon. O destino do café arábica é de 60% para exportação e 40% para o mercado interno, o café conilon exporta 10% e 90% é destinado ao mercado interno. A produção predominante é do sistema de economia familiar, empregando 330.300 pessoas (CETCAF, 2016).

Assim como o café, a produtividade da soja também é afetada pela seca. As consequências negativas da seca têm efeito acumulativo, com início no campo, interferindo na economia (TEIXEIRA et al., 2013). Dentre os fatores climáticos inerentes à produção, o mais importante é a precipitação, devido à influência em todas as fases de desenvolvimento da planta. A precipitação é responsável pela variabilidade do rendimento da soja durante os anos nas diversas regiões produtoras brasileiras (FARIA e ASSUNÇÃO, 2008).

A soja apresenta grande importância para o agronegócio e para a economia brasileira, sendo o Brasil o segundo maior produtor mundial da commodity. O país apresentou uma evolução de 276% na produção de soja ao longo das safras de 1997 a 2011, sendo responsável por 75,5 milhões de toneladas (28%) das 264,18 milhões de toneladas produzidas mundialmente na safra 2010/11 (CASTRO, MIRANDA e LIMA, 2015). Os estados com maior produção de soja no Brasil são o Rio Grande do Sul, Paraná e Mato

Grosso (CONAB, 2016). Mesmo apresentando regimes de precipitação diferentes entre eles.

A produtividade das culturas é diretamente influenciada pela ocorrência de secas nas áreas agrícolas. Assim, o monitoramento de eventos de seca, por meio de ferramentas como os índices de seca torna-se fundamental (FERNANDES et al., 2010). Além do monitoramento, a quantificação da seca é essencial para a gestão dos recursos hídricos, as decisões políticas e a pesquisa acadêmica (JACOBI et al., 2013). Os índices de seca permitem a caracterização, a detecção eo monitoramento do fenômeno seca (ULIANA et al., 2015).

Dentre os vários indicadores para quantificar, padronizar e comparar a seca em escala temporal e regional, o Índice de Severidade de Seca de Palmer (PDSI) é frequentemente utilizado e mais conhecido mundialmente (FICKLIN et al., 2015; BLAIN e BRUNINI, 2007). De acordo com Jacobi et al. (2013), o PDSI foi desenvolvido na década de 60 por Wayne Palmer (Palmer, 1965), ele fornece um método para quantificar e comparar a seca em diferentes regiões, no qual necessita dos dados de precipitação, temperatura média do ar e umidade do solo para a realização do cálculo.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O presente estudo tem como objetivo correlacionar o Índice de Severidade de Seca de Palmer (PDSI) com a produtividade de café no Espírito Santo e da soja nos estados do Mato Grosso, Paraná e Rio Grande do Sul.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar o PDSI no Espírito Santo, Mato Grosso, Paraná e Rio Grande do Sul;
- Avaliar a relação do PDSI com a produtividade de café no Espírito Santo e da soja nos estados do Mato Grosso, Paraná e Rio Grande do Sul, com base no histórico de produção agrícola municipal dos estados, no período de 1990 a 2013.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 SECA

A seca é um evento climático extremo recorrente sobre a Terra, caracterizada por precipitação abaixo do normal durante um período de meses a anos, e ocorre em diversas partes do mundo, mesmo em regiões úmidas e áridas. Diferente de aridez, que são áreas secas permanentes, a seca é um período temporário sem precipitação pluvial. Em áreas áridas as secas são mais propensas a ocorrer, pois o total precipitado é menor (DAI, 2010).

Segundo Palmer (1965), seca é um intervalo de tempo, podendo ser de meses ou anos, em que a água fornecida ao solo em uma região é inferior ao valor climaticamente apropriado para as condições da região.

De acordo com Santos et al. (2011), a seca provoca impactos significativos na agricultura causando grandes perdas na produtividade das culturas. Segundo os autores, observa-se que não há muitos estudos no Brasil da relação entre seca e a produtividade agrícola. Em geral, a maioria dos estudos está relacionada somente à seca, não abrangendo a produtividade.

3.2 ÍNDICE DE SECA

O índice de seca é uma estimativa quantitativa da severidade de seca em uma determinada região. O seu desenvolvimento deve conter a natureza do déficit de água a ser estudado, o período de amostragem a ser considerado, a regra a ser aplicada para separar a seca a partir do restante da série de tempo e o método de regionalização (AGWATA, 2014).

A fim de entender de forma mais eficaz a seca e seus danos, incluindo seu começo e seu fim, identificar a intensidade, a duração e a frequência com que essa anomalia ocorre, alguns pesquisadores desenvolveram vários índices que medem a severidade da seca. Estes índices consistem em equações com base em variáveis meteorológicas como:

temperatura do ar, precipitação, escoamento superficial, evapotranspiração, umidade do solo, entre outras variáveis (FERNANDES et al., 2009).

Os índices de seca são números classificados em categorias indicando o grau da seca naquele período. Estes índices são mais práticos em tomadas de decisões do que uma série histórica de dados. Há vários índices que identificam o quanto que a precipitação difere do normal precipitado em determinado período de tempo, sendo que, alguns são melhores do que outros para determinado tipo de uso (SILVA, 2011).

As vantagens do uso dos índices de seca são: a praticidade de seu manuseio; a possibilidade de melhor comparação da situação da seca em diferentes regiões; e a capacidade de diferenciar um caso de seca decorrente de chuvas abaixo da normal, de um caso de escassez de água ocasionado por problemas de gestão de recursos hídricos (SANTOS, 2011).

3.3 PDSI

O PDSI é um índice utilizado na identificação de secas meteorológicas, levando em consideração as variáveis de precipitação, a evapotranspiração e as condições de umidade do solo, o índice baseia-se no balanço entre a demanda e a oferta de água no solo (HEIM JR., 2002). O objetivo do PDSI é fornecer medidas normalizadas das condições de umidade de modo que comparações usando o índice possam ser feitas entre localidades e entre meses (FERNANDES et al., 2009).

Palmer (1965) desenvolveu o PDSI considerando a duração e a intensidade de deficiência de água no solo. Os dados necessários para o cálculo do Índice de Palmer são: temperatura média do ar, precipitação, e informação sobre a capacidade de armazenamento de água no solo. A temperatura do ar é utilizada para cálculo da evapotranspiração.

O índice de Palmer foi desenvolvido nos EUA para as grandes planícies do centro, considerando-se as condições ambientais e as culturas da região. A cultura do trigo de inverno foi utilizada como referência para calcular o índice de seca (ROSA, 2011).

O cálculo do PDSI é realizado pela Equação 1, e é efetuado em função do índice de anomalia de umidade (Z).

$$X_i = X_{i-1} + \left(\frac{Z_i}{3}\right) - 0,103X_{i-1} \quad (1)$$

em que:

X_i = é o PDSI que se deseja calcular referente ao mês i ;

X_{i-1} = é o PDSI do mês anterior;

Z_i = é o índice de anomalia de umidade referente ao mês i ;

i = mês de interesse.

Para sair do período de seca, Palmer convencionou que, antes de calcular o valor da Equação 1, deve-se verificar se a quantidade de umidade presente no meio é suficiente para finalizar a seca, por meio da Equação 2.

$$p_e = \frac{\sum_{j=0}^{j^*} U_{i-j}}{Z_e + \sum_{j=0}^{j^*} U_{i-j} - U_i} * 100 \quad (2)$$

em que:

p_e = é a probabilidade de que a seca tenha terminado;

U = umidade;

j = é o mês avaliado;

j^* = último mês em que a Equação 2 deve ser calculada;

Z_e = é o valor de Z necessário para finalizar uma seca.

O Z_e é calculado pela Equação 3 no caso de seca estabelecida, e pela Equação 4 no caso de período úmido estabelecido. O Z_e representa o valor necessário de Z para que, em um único mês o PDSI atinja o valor de $-0,5$ no caso de uma seca ou de $+0,5$ no caso de um período úmido estabelecido.

$$Z_e = -2,69X3_{i-1} + 1,5 \quad (3)$$

$$Z_e = -2,69X3_{i-1} - 1,5 \quad (4)$$

A umidade é calculada pela Equação 5 no caso de seca estabelecida, e pela Equação 6 no caso de período úmido estabelecido.

$$U = Z + 15 \quad (5)$$

$$U = Z - 15 \quad (6)$$

A fim de identificar os períodos secos e úmidos Palmer (1965), dividiu a Equação 1 em três (X1, X2 e X3), que indicam:

- X1 = Período úmido que está se estabilizando (valores da Equação 1 entre 0 e 1);
- X2 = Período seco que está se estabilizando (valores da Equação 1 entre 0 e -1);
- X3 = Período seco ou úmido estabilizado (valores da Equação 1 maiores que 1 ou menores que -1).

Assim, quando um período estabelecido é considerado terminado, X3 assume o valor zero, e X1 ou X2 assumem no primeiro mês do novo período o valor de um terço do índice Z e nos meses subsequentes o valor da Equação 1 até que um novo período estabelecido seja detectado. Segundo Alley (1984), os valores para identificar um período seco ou úmido foram arbitrariamente selecionados, de difícil entendimento e têm pouco significado científico. O termo X3 é um índice intermediário do PDSI que é conhecido como o Índice de Seca hidrológica de Palmer (PHDI).

O índice Z é resultado do déficit de precipitação por intermédio de um fator de padronização, e é calculado pela Equação 7. O índice Z é outro índice intermediário do PDSI e as vezes é usado como índice de seca por si só.

$$Z_i = d * K \quad (7)$$

em que:

d = déficit de precipitação (polegadas);

K = constante de padronização.

Para o cálculo de d , compara-se a precipitação que ocorreu no período analisado com a considerada climaticamente apropriada para as condições existentes como descrito na Equação 8:

$$d = P_i - P'_i \quad (8)$$

em que:

P = precipitação observada (polegadas);

P' = precipitação “climatologicamente apropriada para as condições existentes” (CAFEC) (polegadas).

O P' CAFEC é calculado pela Equação 9.

$$P' = ET_0' + R' + RO' - L' \quad (9)$$

em que:

ET_0' = evapotranspiração CAFEC (polegadas);

R' = recarga da umidade do solo CAFEC (polegadas);

RO' = escoamento superficial CAFEC (polegadas);

L' = perda de umidade do solo CAFEC (polegadas).

O cálculo dos elementos CAFEC é definido mensalmente pelas equações seguintes:

$$ET_{0i}' = \alpha * ET_{0i} \quad (10)$$

$$R'_i = \beta * PR_i \quad (11)$$

$$RO'_i = \gamma * PRO_i \quad (12)$$

$$L'_i = \delta * PL_i \quad (13)$$

em que:

ET_0 = evapotranspiração potencial (polegadas);

PR = recarga da umidade do solo potencial (polegadas);

PRO = escoamento superficial potencial (polegadas);

PL = perda de umidade do solo potencial (polegadas).

Os parâmetros CAFEC (α , β , γ , δ), são definidos em um período de calibração, pelas equações 14, 15, 16 e 17, respectivamente.

$$\alpha = \frac{\overline{ETR}}{\overline{ET_0}} \quad (14)$$

$$\beta = \frac{\overline{R}}{\overline{PR}} \quad (15)$$

$$\gamma = \frac{\overline{RO}}{\overline{PRO}} \quad (16)$$

$$\delta = \frac{\overline{L}}{\overline{PL}} \quad (17)$$

em que:

\overline{ETR} = Média mensal da evapotranspiração real (polegadas);

$\overline{ET_0}$ = Média mensal da evapotranspiração potencial (polegadas);

\overline{R} = Média mensal da recarga da umidade do solo (polegadas);

\overline{PR} = Média mensal da recarga de umidade do solo potencial (polegadas);

\overline{RO} = Média mensal do escoamento superficial (polegadas);

\overline{PRO} = Média mensal do escoamento superficial potencial (polegadas);

\bar{L} = Média mensal da perda de umidade do solo (polegadas);

\overline{PL} = Média mensal da perda de umidade do solo potencial (polegadas).

Palmer (1965) utilizou o balanço hídrico climático de Thorntwaite e Mather (1955) para calcular PR, PRO, PL e L da seguinte forma:

$$PR_i = CAD_i - S_i \quad (18)$$

$$PRO_i = CAD_i - PR_i = S_i \quad (19)$$

$$PL_i = PLS_i - PLu_i \quad (20)$$

$$L_i = Ls_i + Lu_i \quad (21)$$

em que:

CAD = capacidade de água disponível (polegadas/m);

S = água armazenada no solo (polegadas).

Para o cálculo dos elementos acima citados, Palmer (1965) dividiu o solo em duas camadas, uma superior com capacidade de armazenamento de 25,4 mm e outra subsuperficial (SANTOS et al. (2011)). Assim, apenas quando toda água da camada superior for removida a camada subsuperficial começará a perder água. O cálculo de S, Ss, Su, PLS, PLu, Ls e Lu está descrito nas Equações seguintes:

$$S_i = Ss_i + Su_i \quad (22)$$

$$Ss_i = 0,25 * ARM_{i-1} \quad (23)$$

$$Su_i = 0,75 * ARM_{i-1} \quad (24)$$

$$PLs_i = Ss_i \text{ ou } PLs_i = ET_{0i} \text{ (qual for menor valor)} \quad (25)$$

$$PLu_i = (ETP_i - PLs_i) * \frac{Su_i}{CAD_i} \quad (26)$$

$$Ls_i = Ss_i \text{ ou } Ls_i = |P_i - ET_{0i}| \text{ (qual for menor valor)} \quad (27)$$

$$Lu_i = (ET_{0i} - P_i - Ls_i) * \frac{Su_i}{CAD_i} \quad (28)$$

em que:

Ss = Armazenamento de água na camada superficial do solo (polegadas);

Su = Armazenamento de água na camada subsuperficial do solo (polegadas);

PL_s = perda potencial de umidade na camada superficial (polegadas);

PL_u = perda potencial de umidade na camada subsuperficial (polegadas);

L_s = valores de perda de umidade na camada superficial do solo (polegadas);

L_u = valores de perda de umidade na camada subsuperficial do solo (polegadas);

ARM = Armazenamento de água no solo (polegadas).

Para que o índice fosse comparável em diferentes localidades e em qualquer período, Palmer (1965) propôs um fator de padronização designado pela letra K. Este fator foi baseado em dados climáticos de nove regiões dos Estados Unidos. A constante de padronização K é calculada pela Equação 29.

$$K = \frac{17,67 * \hat{K}}{\sum_1^{12} D * \hat{K}} \quad (29)$$

em que:

$$\hat{K} = 1,5 \log_{10} * \left(\frac{T + 2,8}{D} \right) + 0,5 \quad (30)$$

$$T = \frac{\overline{ET_{0i}} + \overline{R_i} + \overline{RO_i}}{\overline{P_i} + \overline{L_i}} \quad (31)$$

D = é média mensal dos valores absolutos de d.

Palmer (1965) considerou 11 categorias de classificação de eventos, a classificação completa do PDSI está descrita na Tabela 1.

Tabela 1. Classificação do Índice de Severidade de Seca de Palmer (PDSI).

PDSI	Classificação
$\geq 4,00$	Extremamente Úmido
3,00 a 3,99	Umidade alta
2,00 a 2,99	Umidade Moderada
1,00 a 1,99	Umidade Baixa
0,50 a 0,99	Umidade Inicial
0,49 a -0,49	Próximo do Normal
-0,50 a -0,99	Seca Inicial
-1,00 a -1,99	Seca Suave
-2,00 a -2,99	Seca Moderada
-3,00 a -3,99	Seca Severa
$\leq -4,00$	Seca Extrema

Fonte: Palmer (1965).

3.4 CAFÉ

O Brasil é o maior produtor e exportador de café, sendo um dos produtos mais comercializados mundialmente (AMARAL et al., 2007; COVRE et al., 2013). A produção de café no Brasil em 2015 foi de 43.235 sacas de 60kg beneficiadas. No estado do Espírito Santo, segundo maior produtor nacional de café, a produção foi de 10.700 sacas em 2015.

Em comparação com 2014, a produção nacional de 2015 teve uma redução de 2 mil sacas. No Espírito Santo, a produção em 2014 foi de 12.805 sacas, representando uma redução na produção de 16,5% comparada com 2015 (CONAB, 2016).

Segundo Matiello et al., (2002), os fatores climáticos que influenciam no processo de produção de café são a temperatura do ar e as chuvas, e em menor escala, os ventos, a umidade do ar e a luminosidade. As temperaturas ideais para a cultura situam-se em torno de 17 a 23°C para o café arábica (*Coffea arabica*), e 21 a 26°C para o café conilon (*Coffea canephora*).

A exigência em umidade para o café varia de acordo com as fases do ciclo da planta. No período de vegetação e frutificação, que vai de outubro a maio, a cultura precisa de umidade disponível no solo. Já na fase de colheita e repouso, período entre junho e setembro, a necessidade é pequena e o solo pode ficar mais seco, próximo ao ponto de murchar, sem causar grandes prejuízos à planta. Na região Centro-Sul do país, chuvas anuais acima de 1200 mm podem ser consideradas adequadas para o desenvolvimento do café arábica, enquanto para o café conilon as lavouras podem ser produzidas em áreas com precipitações menores, acima de 900 mm anuais (MATIELLO et al., 2002).

Para o café conilon, a maior parte das áreas com tradição de cultivo no Espírito Santo possui restrições hídricas, sendo necessário o uso de irrigação suplementar para manter a alta produtividade e reduzir os riscos climáticos. As principais áreas de cultivo no estado estão situadas nas mesorregiões noroestes e litoral norte do estado (TAQUES E DADALTO, 2007). As regiões produtoras de café arábica, em sua maioria, não são irrigadas.

As faixas de altitudes adequadas para o estado do Espírito Santo estão entre 400 e 900 m, em municípios situados ao sul do Rio Doce, e áreas com altitudes superiores a 500 m, em municípios ao norte do Rio Doce para café arábica (MATIELLO et al., 2002). Para o café conilon o limite superior de altitude é de 600 m para áreas ao norte da bacia do Rio Doce e 500 m para áreas ao sul da bacia do Rio Doce (TAQUES E DADALTO, 2007).

3.5 SOJA

A soja é uma das culturas mais importantes e comercializadas no mundo. O cultivo no Brasil começou na década de 60, e em menos de 20 anos, tornou-se a safra de grãos mais importante do país. Os estados do Paraná e Rio Grande do Sul são os maiores produtores de soja do país. No entanto, a partir de 1990, a produção de soja tem aumentado na região Centro-Oeste, como nos estados de Goiás, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso (SILVA et al., 2010).

A produção de soja em 2015 no Brasil foi de 96.228 toneladas, destacando-se o estado do Mato Grosso como maior produtor, seguindo dos estados do Paraná e Rio Grande do Sul, com a produção de 28.018, 17.210 e 14.881 de toneladas, respectivamente (CONAB, 2016).

A soja é produzida principalmente em condições de sequeiro, sob condições quentes nos climas tropicais, subtropicais e temperados. A produção de vagens se dá apenas com 25 a 30% das flores, dependendo ainda do vigor da planta durante o período de floração. Esta cultura não se desenvolve bem em solos muito arenosos, o pH ideal do solo é de 6 a 6,5, e elas são capazes de fixar nitrogênio atmosférico (DOORENBOS E KASSAM, 1994).

A época de semeadura da soja deve gerar condições de maior probabilidade de ocorrência de temperatura e umidade favoráveis para a cultura se desenvolver durante seu ciclo (germinação, crescimento, reprodução e formação dos grãos), essas condições com mais probabilidade de ocorrência para a maioria das regiões produtoras no Brasil são de outubro a março (EMBRAPA, 2011). De acordo com Faria e Assunção (2008), o excesso ou a deficiência hídrica nesse período podem prejudicar o desenvolvimento da soja, causando a redução da produção.

Em relação às variações térmicas, a cultura da soja é relativamente resistente, porém, as taxas de crescimento diminuem com temperaturas abaixo 18°C e acima de 35°C (DOORENBOS E KASSAM, 1994). As necessidades hídricas para produção máxima variam entre 450 e 800 mm/temporada (DOORENBOS E KASSAM, 1995; EMBRAPA, 2011).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 ÁREA DE ESTUDO

Para o estudo da cultura do café a área de estudo foi o estado do Espírito Santo (ES) enquanto para a cultura da soja os estados foram Rio Grande do Sul (RS), Paraná (PR) e Mato Grosso (MT).

O estado do Espírito Santo tem área total de 46.184 km², situa-se geograficamente entre os meridianos 39°38' e 41°50' de longitude oeste e entre os paralelos 17°52' e 21°19' de latitude sul. Segundo o IBGE, o estado possui 78 municípios. O clima do Estado é tropical úmido, com temperaturas médias anuais de 23°C e volume de precipitação superior a 1.400 mm por ano, especialmente concentrado no verão. O rio Doce, que nasce no Estado de Minas Gerais e tem 944 km de extensão, é o mais importante do Estado. Seu território compreende o litoral e o planalto.

O estado do Rio Grande do sul possui área total de 281.737 km², situa-se na região sul do Brasil, entre os meridianos 49°41' e 57°38' de longitude oeste e entre os paralelos 27°04' e 33°45' de latitude sul, fazendo divisa com estado de Santa Catarina ao norte, Uruguai ao sul, Oceano Atlântico a leste e Argentina a oeste. O estado possui 497 municípios. O relevo é composto por planície litorânea com restinga e areia, planaltos a oeste e nordeste e depressão no centro. O clima é subtropical, as temperaturas médias variam entre 15 e 18°C, com mínimas de até -10°C e máximas de 40°C. As precipitações variam em torno de 1300 a 1500 mm anuais.

O estado do Paraná possui área de 199.307 km², situa-se na região sul do Brasil, localizado entre os meridianos 48°05' e 54°37' de longitude oeste e entre os paralelos 22°30' e 26°43' de latitude sul. É composto por 399 municípios. O clima é subtropical úmido, com temperaturas entre 14°C e 22°C. A precipitação média é acima de 1500 mm anuais. O relevo é caracterizado por baixada no litoral, planaltos a leste e a oeste, e depressão no centro do território.

O estado do Mato Grosso possui área de 903.198 km², situa-se na região Centro-Oeste do Brasil entre os meridianos 50°06' e 62°45' de longitude Oeste e entre os paralelos 06°00' e 19°45' de latitude Sul. O estado possui 141 municípios. O clima é tropical, com

temperatura média de 26°C e grande incidência de precipitações que chegam a mais de 2.000 mm ao ano. O relevo é composto por chapadas e planaltos na região central, planície com presença de pântanos na região oeste, planaltos residuais ao norte e depressões ao sul do estado.

Selecionou-se o estado do Espírito Santo por ser grande produtor de café e devido à sua importância para vários processos sociais e econômicos no Brasil. Os estados do Rio Grande do Sul, Paraná e Mato Grosso por serem grandes produtores de soja e apresentarem diferenças no clima, com destaque na precipitação. Sendo que a produção, em sua maioria, é de sequeiro devido ao elevado custo de irrigação (EMBRAPA, 2011).

4.2 DADOS

Utilizou-se neste trabalho os dados de produtividade, evapotranspiração, precipitação e a capacidade de água disponível (CAD). Utilizou-se uma série histórica dos dados de 1990 a 2013, totalizado vinte e quatro anos de dados. Os dados utilizados foram nesse período devido aos dados de produção disponíveis pelo IBGE, que vão de 1990 a 2014, e os dados de evapotranspiração, que vão de 1980 a 2013, disponível por XAVIER, KING e SCANLON (2015).

A produtividade foi calculada para os estados, em toneladas por hectare, por meio da média ponderada entre a produtividade e área produzida dos municípios de cada estado, conforme Equação 32. Os dados da produção e área produzida para a cultura do café e da soja foram obtidos no banco de dados do IBGE, disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo/acervo9.asp?e=c&p=PA&z=t&o=11>.

$$P_e = \frac{\sum (\text{área}_m * \text{produtividade}_m)}{\sum \text{área}_{tm}} \quad (32)$$

em que:

P_e = produtividade estadual (ton/ha);

área_m = área produzida de cada município (ha);

área_{tm} = área total produzida dos municípios (ha);

produtividade_m = produtividade municipal (ton/ha).

Os dados da evapotranspiração (ET₀) e precipitação (P) foram obtidos através dos dados meteorológicos disponível em grades de alta resolução (0.25° x 0.25°) por XAVIER, KING e SCANLON (2015). A ET₀ foi calculada pelo método de Penman-Monteith FAO-56 (ALLEN et al., 1998), através da Equação 33. Utilizou-se os dados mensais da ET₀ e P, disponível em: <http://careyking.com/data-download/>.

$$ET_0^{PM} = \frac{0,408 \cdot \Delta \cdot (Rn - G) + \gamma \cdot \frac{900}{(T + 273)} \cdot U_2 \cdot (es - ea)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34 \cdot U_2)} \quad (33)$$

em que:

ET₀^{PM} = evapotranspiração de referência calculada pelo método de Penman-Monteith FAO-56 (mm dia⁻¹);

Δ = inclinação da curva de saturação do vapor da água (kPa °C⁻¹);

Rn = radiação solar líquida (MJ m⁻² dia⁻¹);

G = fluxo de calor no solo (MJ m⁻² dia⁻¹);

γ = constante psicrométrica (kPa °C⁻¹);

U₂ = velocidade média do vento a 2 m de altura (m s⁻¹);

es = pressão de saturação do vapor d'água no ar (kPa); e

ea = pressão real do vapor d'água no ar (kPa).

A CAD foi estimada para cada município a partir de dados de textura de 5.788 amostras de solo no Brasil (COOPER et al., 2005) e funções matemáticas que relacionam a textura com a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente (SAXTON e RAWLS, 2006). Após a CAD estimada para cada ponto amostral, a sua espacialização em

nível municipal, foi interpolada para o centroide do município, pelo método de interpolação “natural” (XAVIER¹).

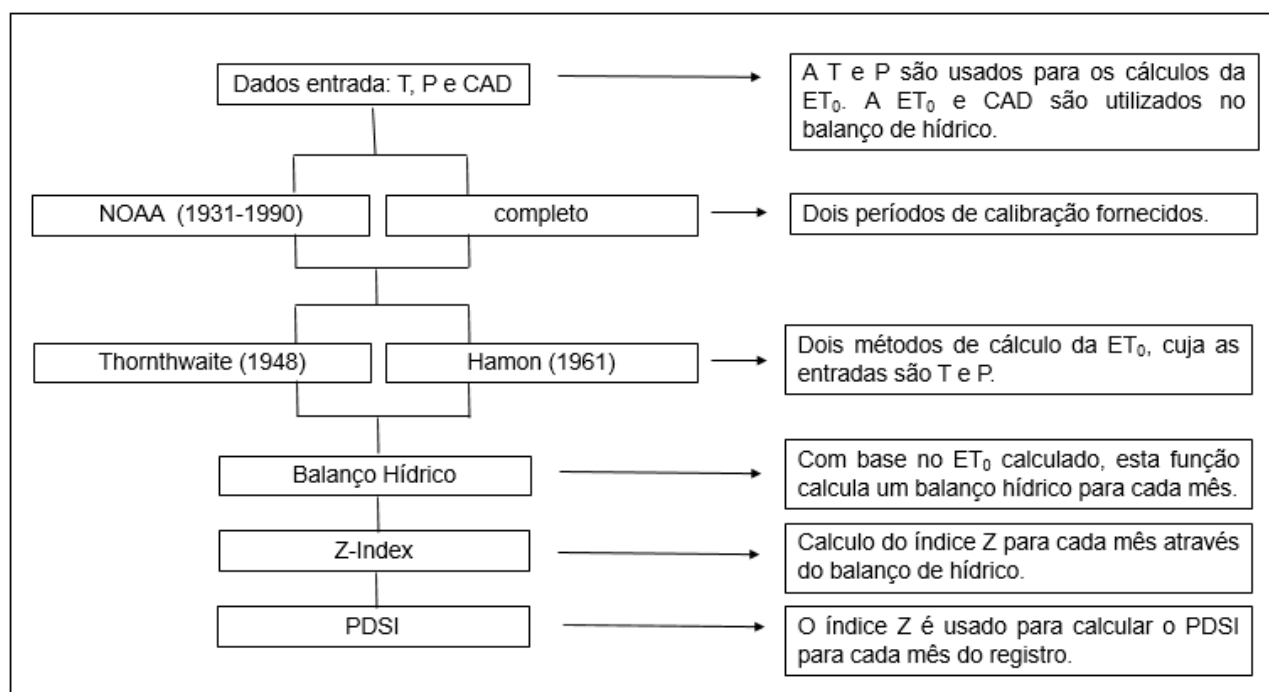
A umidade do solo foi dada pela CAD vezes a profundidade da raiz da planta no solo. Segundo Allen et al. (1998), a profundidade da raiz da soja varia entre 0,6 a 1,3 metros e do café entre 0,9 a 1,5 metros. Assim, considerou-se uma profundidade média da raiz no solo de 1 metro para a cultura do café e da soja.

4.3 METODOLOGIA

Calculou-se o PDSI através do código desenvolvido no MATLAB por JACOB et al. (2013). Encontra-se na Figura 1, o esboço geral do funcionamento do código. Os dados de entrada necessários para a execução do código são: temperatura, precipitação, latitude e CAD. O esboço do código original encontra-se no anexo A (Figura 13).

¹ XAVIER, A. C. (Prof. D. Sc., Departamento de engenharia rural, UFES, Campus de Alegre). Comunicação pessoal, 2016.

Figura 1 – Esboço geral do funcionamento do código desenvolvido por JACOB et al. (2013) para cálculo do PDSI.



Fonte: adaptado de Jacob et al. (2013).

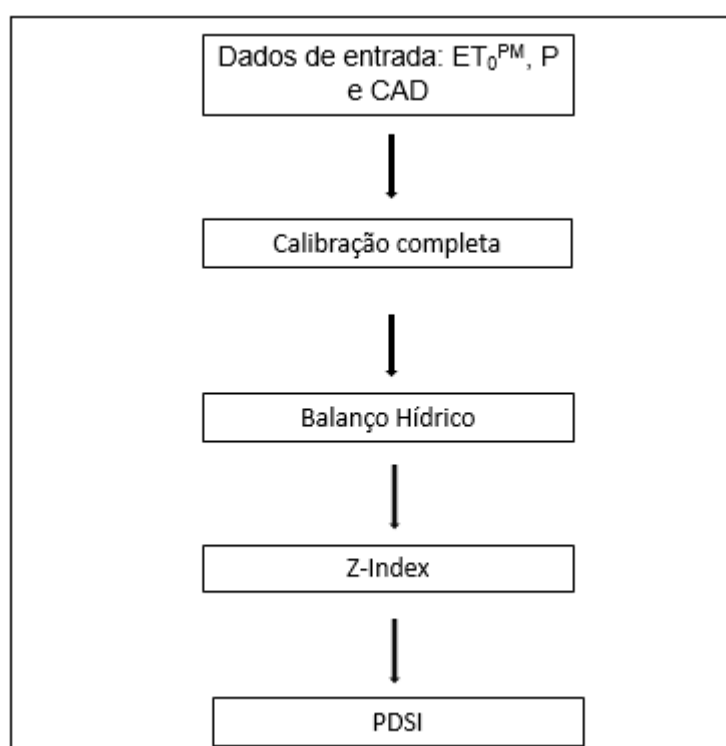
O código possui dois métodos para cálculo da evapotranspiração, o de Thornthwaite (1948) e o Hamon (1961), que utilizam como dados de entrada a temperatura (T) e a precipitação (P). São fornecidos também dois períodos de calibração, a primeira opção é da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) que compreende o período de janeiro de 1931 a dezembro de 1990, a segunda opção é a completa que compreende o registro de dados que não abrangem o período de calibração NOAA, utilizando o registro de dados do usuário atuais.

A calibração é usada para calcular os parâmetros CAFEC (equações 14, 15, 16 e 17), com base nesses parâmetros e na ET_0 é calculado o balanço hídrico. O índice Z utiliza o balanço hídrico para seu cálculo. Por último é calculado o PDSI mensal em função do índice Z.

Como dado de saída o código fornece além do PDSI, a ET_0 , calculada pelo método de Thornthwaite (1948), Hamon (1961), e índices derivados do PDSI como o índice Z e o Índice de Seca Hidrológica de Palmer (PHDI).

Neste trabalho o código de JACOB et al. (2013) foi alterado. O método utilizado para cálculo da ET_0 foi o de Penman-Monteith FAO-56 (ALLEN et al., 1998), representada pela sigla ET_0^{PM} . A evapotranspiração utilizando o método padrão da FAO para calcular o PDSI também foi proposta por Ficklin et al., (2015). Na Figura 2 encontra-se o esboço do funcionamento do código utilizado neste trabalho.

Figura 2 – Esboço geral do funcionamento do código utilizado, alterado de JACOB et al. (2013) para cálculo do PDSI.



Fonte: o autor.

Observa-se que foi eliminada a parte do cálculo da ET_0 , sendo ela fornecida como dado de entrada, junto com a P e a CAD. A calibração utilizada foi a completa.

O PDSI foi calculado mensalmente para cada município, fornecendo assim, um valor por mês para cada ano da série histórica. Sendo que o período analisado do PDSI foi de novembro a fevereiro.

Esse período é considerado de maior importância para a produtividade das culturas, pois compreende a época que mais chove na região produtora de café no ES e está dentro

do período que a cultura mais necessita de água (vegetação e frutificação) para uma boa produção (MATIELLO et al., 2002). Compreende também a época da safra da soja, que vai de meados de outubro, semeadura, podendo estender até março, colheita (EMBRAPA, 2011).

De posse do PDSI dos municípios, calculou-se o PDSI para cada estado por meio de uma média ponderada (Equação 34), utilizando como peso as áreas produtoras do municípios de cada estado. O município com maior área produtora torna o PDSI mais representativo no estado.

$$PDSI_e = \frac{\sum(\text{área}_m * PDSI_m)}{\sum \text{área}_{tm}} \quad (34)$$

em que:

$PDSI_e$ = é o PDSI para cada estado;

$PDSI_m$ = é o PDSI médio anual de cada município;

área_m = área produzida de cada município (ha);

área_{tm} = é a área total de produção dos municípios.

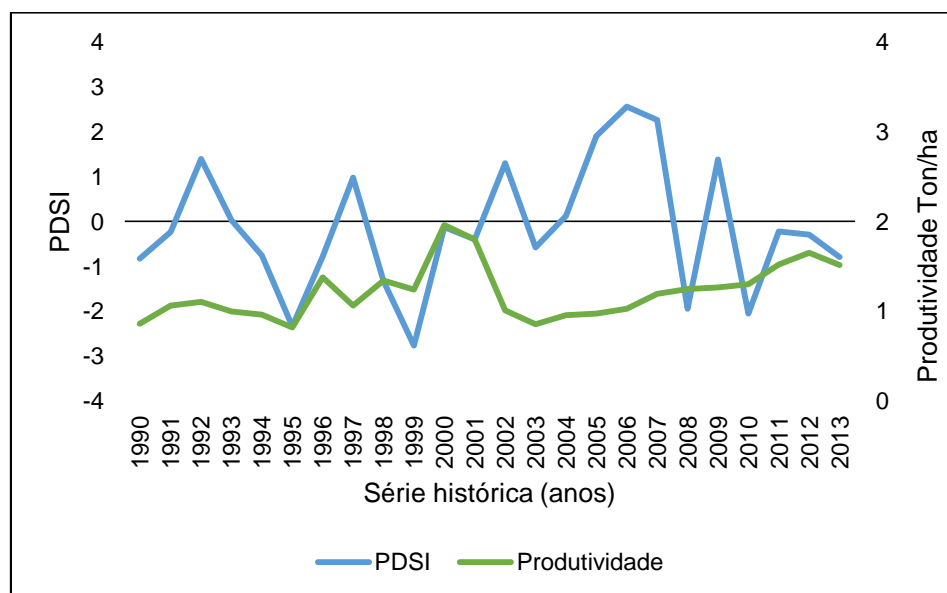
De posse da produtividade e do PDSI de cada estado, analisou-se a relação da seca com a produtividade das culturas através de gráficos, que mostram a variação desta relação ao longo da série histórica. Utilizou-se a regressão linear simples para determinar a correlação entre as variáveis estudadas. A regressão foi realizada com o PDSI completo e PDSI com valores menores que -0,5, simulando uma situação de seca já instalada conforme a classificação de Palmer (1965), Tabela 1.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CAFÉ

Encontra-se na Figura 3 a relação do PDSI com a produtividade de café no Espírito Santo durante o período de 1990 a 2013. Observa-se que a produtividade não acompanha o PDSI ao longo dos anos. Entre os anos de 2003 e 2007, como exemplo, o PDSI teve uma variação expressiva, saindo de uma seca inicial chegando a umidade moderada, enquanto a produtividade se mantém praticamente constante, não variando na mesma intensidade. A produtividade oscila ao longo da série histórica, não constatando uma tendência. A média da produtividade foi de 1,21 toneladas por hectare, a produtividade máxima foi de 1,96 toneladas por hectare no ano de 2000, a mínima foi de 0,81 toneladas por hectare no ano de 1995.

Figura 3 – Relação do PDSI com a produtividade de café no Espírito Santo.

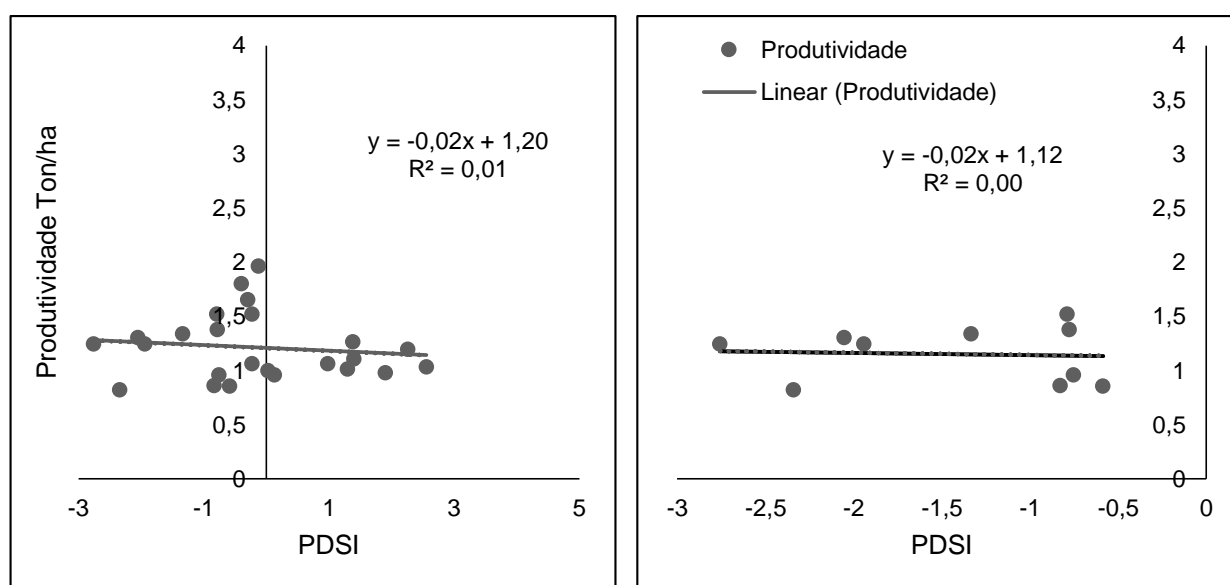


Fonte: o autor.

Os valores com o PDSI e produtividade de café no ES, durante a série histórica, encontram-se na Tabela 4 do apêndice A.

Na Figura 4 (a), tem-se a correlação do PDSI completo, compreendendo toda a categoria de classificação, com produtividade de café no Espírito Santo. Na Figura 4 (b), tem-se a correlação do PDSI com a produtividade do café no Espírito Santo no período de seca já instalada, ou seja, com valores de PDSI menores que -0,5 segundo a classificação de Palmer (1965) (Tabela 1). Observa-se nos dois casos analisados, que o coeficiente de determinação (r^2) apresentou valores baixos, não constatando correlação da produtividade em relação ao PDSI.

Figura 4 - Correlação da produtividade do café com o PDSI completo (a) e PDSI com valores menores que -0,5 (b), no Espírito Santo.



A média da precipitação durante a série histórica (1990 a 2013) do Espírito Santo, no período de novembro a fevereiro foi de 695 mm, o clima chuvoso na primavera/verão, favorece significativamente a frutificação e a produção do café (MEIRELES et al., 2009).

Na Tabela 2 tem-se o valor-p a 5% de probabilidade pelo teste F ($p < 0,05$). Observa-se que nos dois casos avaliados, “PDSI completo”, compreendendo toda categoria de classificação do índice e “PDSI com seca”, ou seja, com valores de PDSI menores que -0,5 segundo a classificação de Palmer (1965) (Tabela 1), o valor-p não foi significativo. Isto mostra que a seca demonstrada pelo PDSI não é expressiva na produtividade de café no Espírito Santo.

Tabela 2 - Resultado do valor-p com PDSI completo e PDSI indicando seca para a cultura do café no Espírito Santo.

Índice de seca	valor-p
PDSI COMPLETO	0,56
PDSI COM SECA	0,86

Fonte: o autor.

Fernandes et al (2010) realizaram um estudo avaliando o desempenho do PDSI com a produtividade de arroz em Goiás no período de 1983 a 2006, e verificaram que o índice de seca de Palmer não representou de forma adequada os anos em que houve redução na produtividade. Gois (2005), também não encontrou uma relação significativa entre o PDSI e a produtividade de milho em diferentes regiões do estado de Minas Gerais.

De acordo com os resultados obtidos acredita-se que os motivos para o PDSI não retratar a produtividade do café foram: bienalidade na produtividade, manejo da cultura, uso da irrigação e variedades mais resistentes à seca.

Silva e Reis (2013) afirmam que a bienalidade é um dos fatores que mais influenciam a produtividade do café. O ciclo bienal da produção de café é uma característica inerente da cultura, que se refere à variação alta e baixa da frutificação anual. Ou seja, existem anos em que a produção de frutos aumenta e no ano seguinte diminui. Os autores destacam também a instabilidade dos preços das sacas que a variação na produção traz ao mercado.

O manejo do café, como adubação, calagem e capina, está relacionado com a economia, no ano em que há a queda do preço da saca, os tratos culturais nem sempre são realizados como deveriam. Assim, tem-se lavouras com produtividade abaixo do normal no ano seguinte.

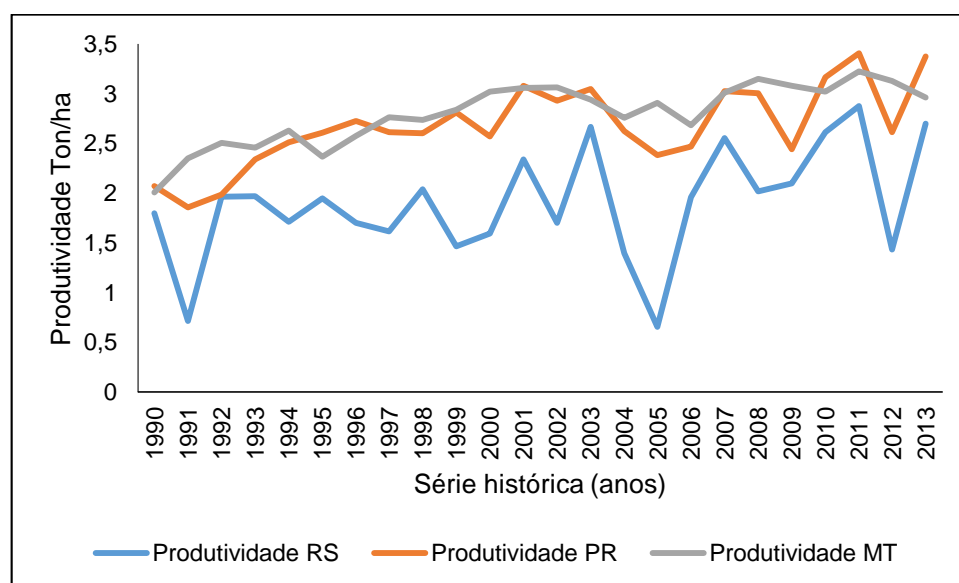
A irrigação é outro fator que dificulta a análise na relação da seca com a produtividade do café, pois mascara a produção que ocorreria nas condições reais. Segundo Silva e Reis (2007), a irrigação é uma técnica que vem se mostrando viável ao longo dos tempos, e tem sido muito empregada principalmente no norte do Espírito Santo, onde se produz

principalmente o café conilon. Os autores ressaltam ainda, que o café é uma cultura tolerante ao estresse hídrico e que novas variedades do café conilon estão sendo desenvolvidas para uma maior tolerância à seca.

5.2 SOJA

Na Figura 5 tem-se a produtividade da soja nos estados do Rio Grande do Sul, Paraná e Mato Grosso. Observa-se que a produtividade do MT é superior à do PR, que é superior à do RS, a média da produtividade é de 2,8; 2,68 e 1,9 toneladas por hectare, respectivamente. A produtividade da soja varia independente em cada estado, quando a produtividade aumenta em um estado nem sempre aumenta no outro. A produtividade máxima no MT, PR e RS foi de 3,22; 3,40 e 2,87 toneladas por hectare, respectivamente, e ocorreram todas no ano de 2011. A produtividade mínima no MT, PR e RS foi de 2,00; 1,85 e 0,65 toneladas por hectare, respectivamente, e ocorreram nos anos de 1990 no MT, 1991 no PR e 2005 no RS.

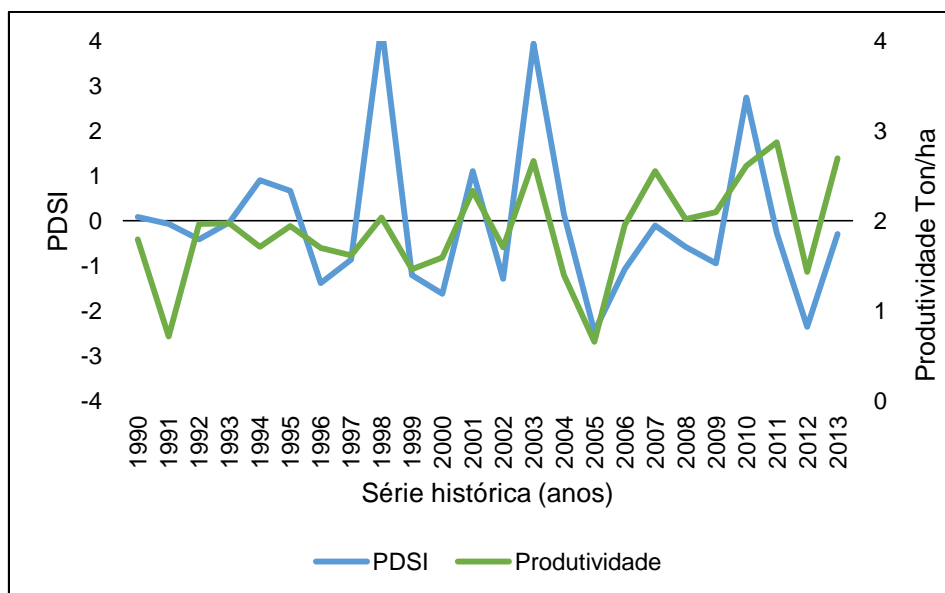
Figura 5 - Produtividade da soja durante a série histórica nos estados do Rio Grande do Sul, Paraná e Mato Grosso.



As produtividades da cultura da soja oscilam ao longo dos anos, demonstrando que a utilização de tecnologia na agricultura nem sempre evita perdas na produção. A ocorrência de estiagens no período das safras contribui para a diminuição das produtividades como um todo (MELO; FONTANA E BERLATO, 2004).

Na Figura 6 encontra-se a relação do PDSI com a produtividade de soja no Rio Grande do Sul durante o período de 1990 a 2013. Observa-se que há uma relação entre a produtividade de soja e o PDSI na maioria dos anos, quando o PDSI começa a identificar um período de seca a produtividade cai e quando o PDSI indica que não há seca a produtividade aumenta. Essa relação ocorreu mais forte após o ano de 1997, devido ao histórico de exportação da soja no Brasil que aumentou após essa época (HIRAKURI e LAZZAROTTO, 2011; GIEMBINSKY e HOLLAND 2003). A soja passou a ficar mais dependente das condições climáticas que de outros fatores.

Figura 6 - Relação do PDSI com a produtividade de soja no Rio Grande do Sul.

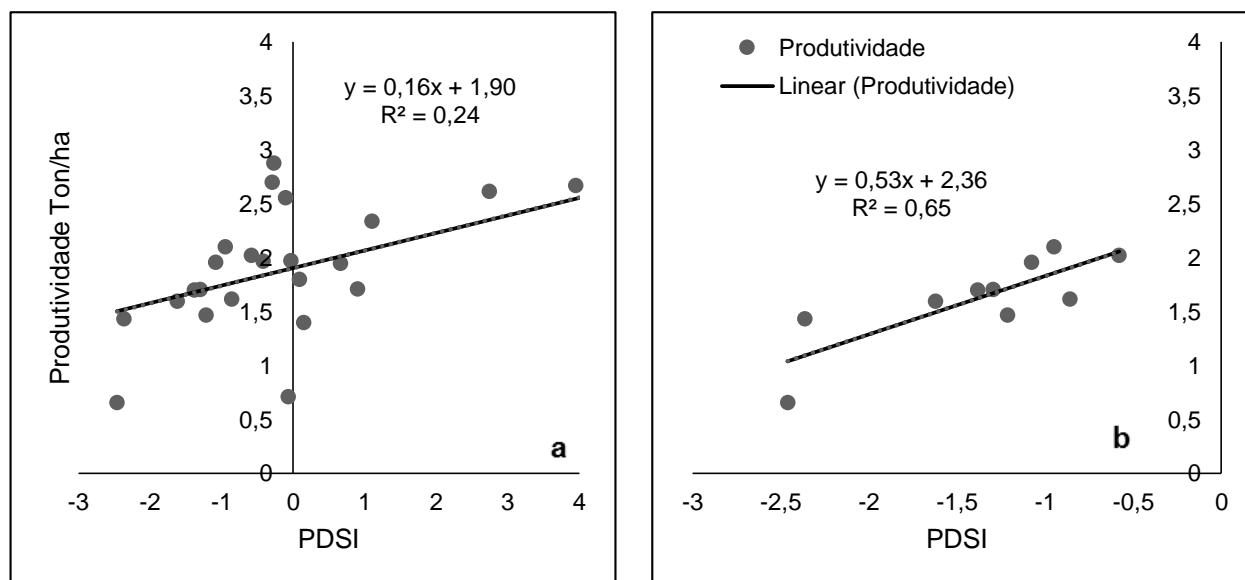


Fonte: o autor.

Na Figura 7 (a) tem-se a correlação do PDSI completo, compreendendo toda a categoria de classificação do índice, com produtividade de soja no Rio Grande do Sul. Na Figura 7 (b) tem-se a correlação do PDSI com a produtividade de soja no período com seca já instalada. Observa-se na Figura 7 (a) que o coeficiente de determinação foi menor que na Figura 7 (b), indicando que há maior correlação do PDSI com a produtividade em período

com seca. Pode-se notar também, uma tendência de maior produtividade de acordo com o aumento do PDSI, sendo que, as maiores produtividades concentram-se entre -0,5 e 0,5, classificado como normal segundo a classificação de Palmer (1965) (Tabela 1).

Figura 7 - Correlação da produtividade de soja com o PDSI completo (a) e PDSI com valores menores que -0,5 (b), no Rio Grande do Sul.



Fonte: o autor.

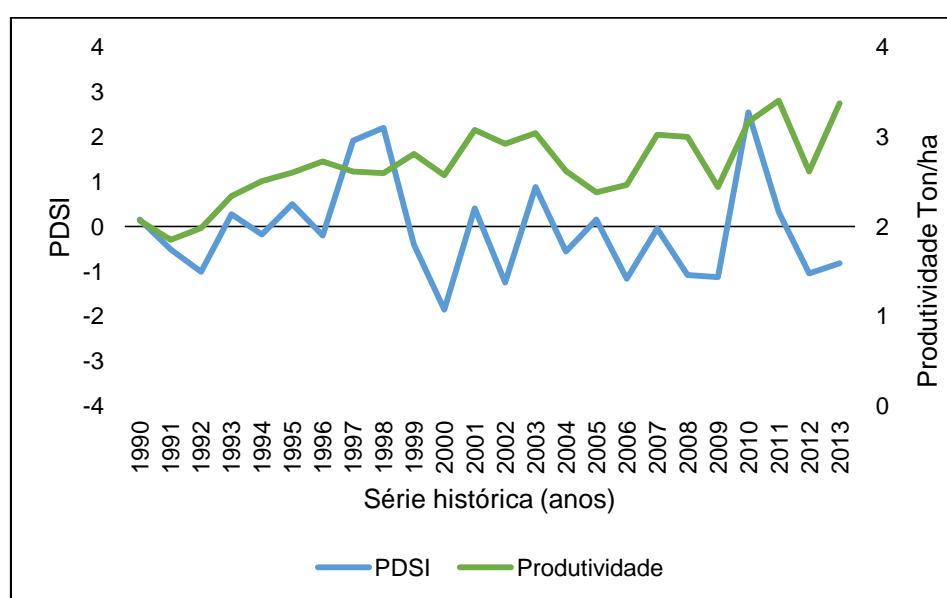
Teixeira et al. (2013) analisaram a intensidade da seca, no período de 1913 a 2009, utilizando o número de dias sem chuva (NDSC), o índice de porcentagem normal (IPN) e o índice padronizado de precipitação (SPI) para a localidade de Bagé-RS. Os resultados encontrados apontaram que o NDSC, e o IPN detectaram os eventos de seca extrema e severa, que contribuíram para a diminuição na produção da soja. Indicando a relação de índices de seca na produtividade, e que mais índices devem ser testados para identificar essa relação. Os autores afirmam ainda, que os anos de ocorrência de seca classificada como severa e extrema, coincidiram com os anos de ocorrência do fenômeno La Niña.

Segundo Grimm (2009), são observadas precipitações anuais acima do normal durante a ocorrência do fenômeno El Niño sobre o sul do Brasil, abaixo do paralelo 20° S, enquanto ocorrem precipitações anuais abaixo do normal em eventos de La Niña. Essas anomalias contribuem para explicar a variação do PDSI com a produtividade de soja

principalmente no RS, onde é mais afetado, pois os eventos de precipitação, acima ou abaixo do normal, são mais intensos interferindo com mais força na produção de soja.

Encontra-se na Figura 8 a relação do PDSI com a produtividade de soja no Paraná, durante o período de 1990 a 2013. Observa-se que a produtividade não acompanha o PDSI durante os anos, mantendo-se alta, acima de 2 toneladas por hectare em quase toda a série estudada, mesmo com índice indicando seca.

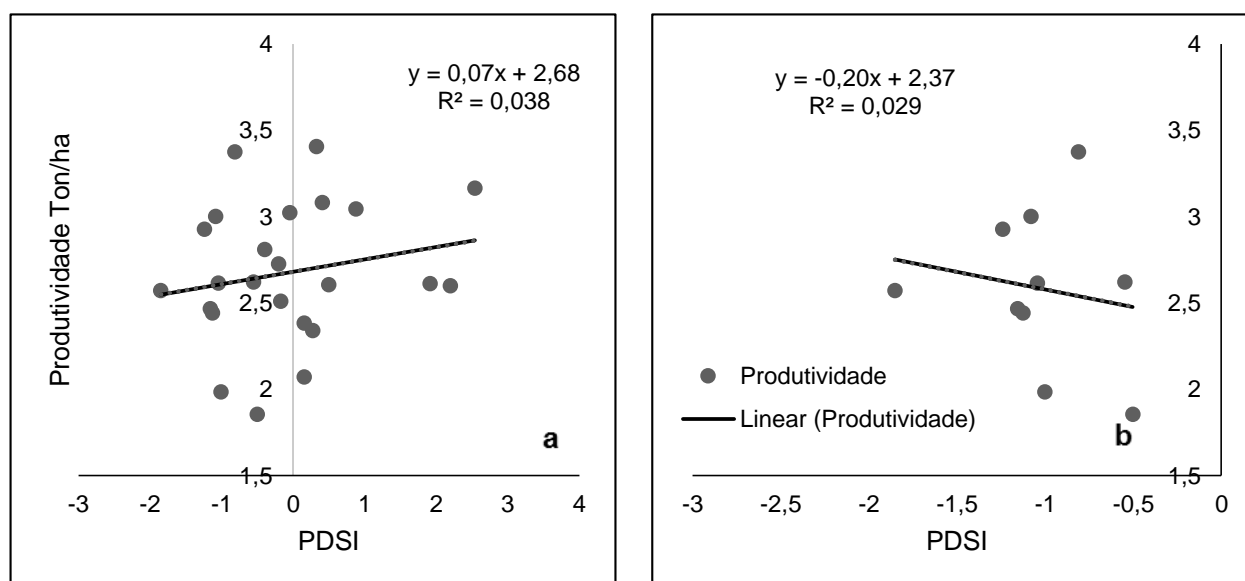
Figura 8 - Relação do PDSI com a produtividade de soja no Paraná.



Fonte: o autor.

Na Figura 9 (a) tem-se a correlação do PDSI completo, compreendendo toda a categoria de classificação do índice, com produtividade de soja no Paraná. Na Figura 9 (b) tem-se a correlação do PDSI com a produtividade de soja no período com seca já instalada. Em ambos os casos o coeficiente de correlação foi baixo, não constatando correlação da produtividade com o PDSI, nem tendência de produtividade.

Figura 9 - Correlação da produtividade de soja com o PDSI completo (a) e PDSI com valores menores que -0,5 (b), no Paraná.

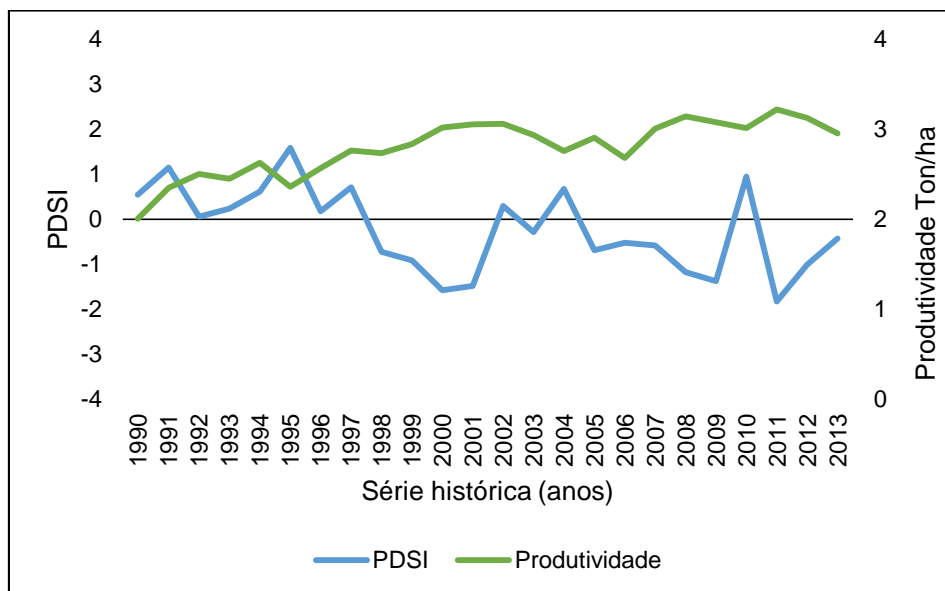


Fonte: o autor.

Faria e Assunção (2008) realizaram um estudo avaliando o índice Z e PDSI de Palmer com a produtividade de soja e milho na região de Jataí – GO. Os autores utilizaram uma série histórica de produção no período de 1990 a 2006, e as análises mostraram que o índice Z de Palmer apresentou uma correlação com a variação da produção de soja enquanto o PDSI não.

Encontra-se na Figura 10 a relação do PDSI com a produtividade de soja no Mato Grosso durante o período de 1990 a 2013. Observa-se que a produtividade mantém-se acima de 2 toneladas por hectare em toda a série histórica e a produtividade é maior onde o PDSI indica seca, como exemplo nos anos de 2000 e 2011.

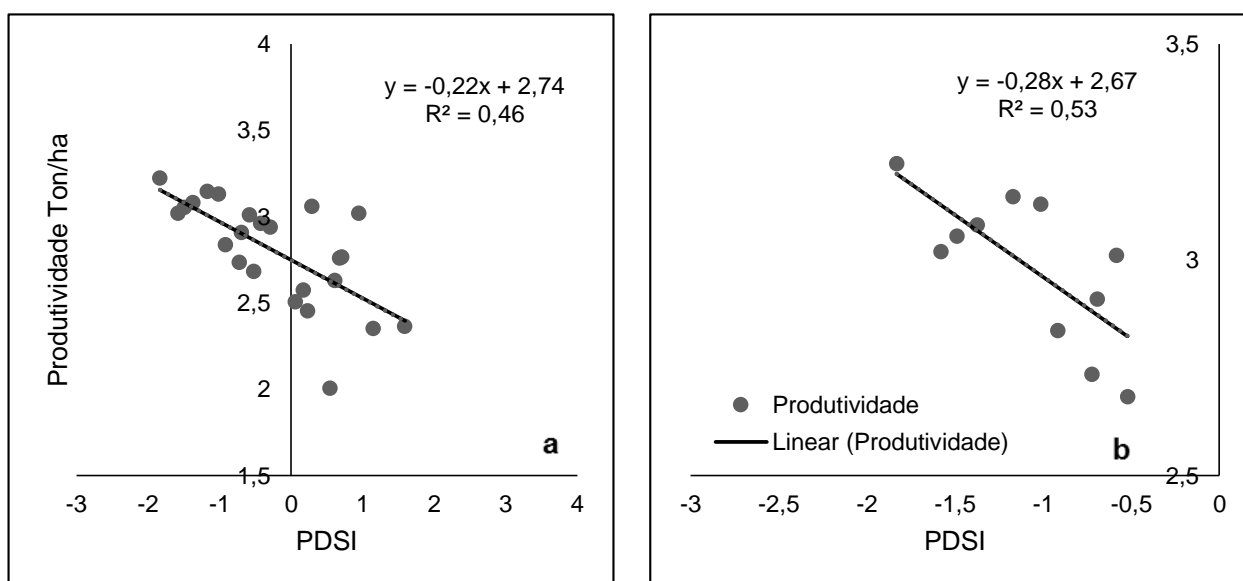
Figura 10 - Relação do PDSI com a produtividade de soja no Mato Grosso.



Fonte: o autor.

Na Figura 11 (a) tem-se a correlação do PDSI completo, compreendendo toda a categoria de classificação do índice, com a produtividade de soja no Mato Grosso. Na Figura 11 (b) tem-se a correlação do PDSI com a produtividade de soja no Mato Grosso no período com seca já instalada. Observa-se na Figura 11 (a), que o coeficiente de determinação foi menor que na Figura 11 (b), indicando que há maior correlação do PDSI em período com seca já instalada. Verificando uma tendência de maior produtividade quando o PDSI indica maior seca, o contrário encontrado no Rio Grande do Sul.

Figura 11 - Correlação da produtividade de soja com o PDSI completo (a) e PDSI com valores menores que -0,5 (b), no Mato Grosso.



Fonte: o autor.

Os valores de PDSI e produtividade de soja nos estados do RS, PR e MT, durante a série histórica, estão na Tabela 5, 6 e 7, respectivamente, do apêndice A.

MISHRA E CHERKAUER (2010) encontraram resultados semelhantes aos encontrados para o estado do RS e MT, eles analisaram três índices de seca para avaliar a relação da seca na produtividade do milho e da soja no Centro-Oeste dos Estados Unidos no período de 1916 a 2007. Os índices utilizados foram o Índice de Precipitação Padronizado (SPI), Índice de Escoamento Padronizado (SRI) e Porcentagem de Umidade do Solo (SMP). Os autores encontraram para produção de soja correlações significativas para SPI ($r^2 = 0,48$), SRI ($r^2 = 0,27$) e SMP ($r^2 = 0,26$) no período de enchimento de grão. Eles afirmam que mesmo com maior rendimento da produtividade devido à melhoria na tecnologia, as secas continuam a ocorrer e podem causar impactos significativos no rendimento das culturas.

Na Tabela 3 tem-se o valor-p a 5% de probabilidade pelo teste F ($p < 0,05$) do PDSI completo e com seca, para a cultura da soja nos estados do RS, PR e MT. Observa-se que o valor-p nos dois casos avaliados, para o estado do RS e do MT, apresentou correlação significativa, já para o estado do PR não houve significância.

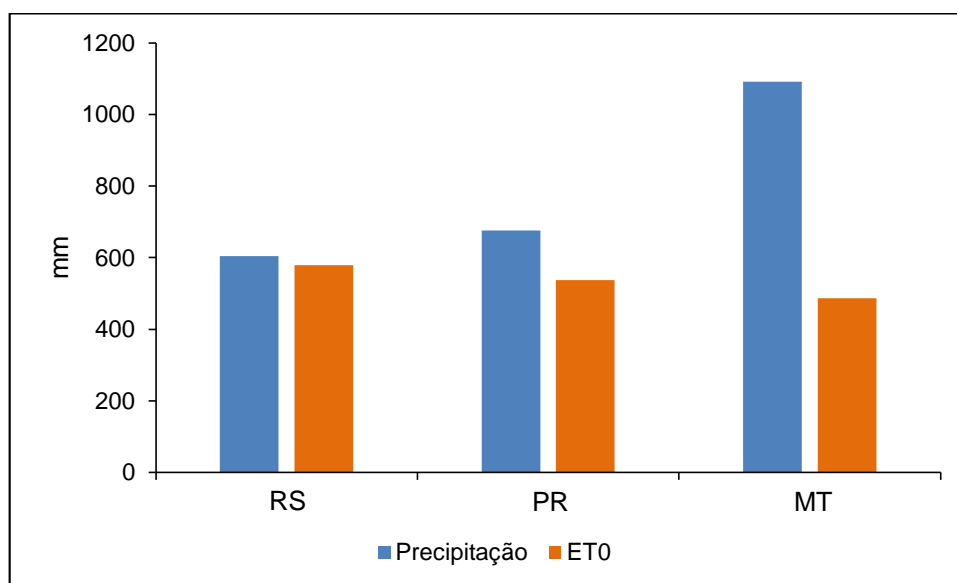
Tabela 3 – Resultado do p-valor com PDSI completo e PDSI com seca instalada para a cultura da soja nos estados do RS, PR e MT

Índice de seca	valor-p		
	RS	PR	MT
PDSI COMPLETO	0,01	0,35	0,00
PDSI COM SECA	0,00	0,63	0,01

Fonte: o autor.

Na Figura 12 encontra-se o gráfico de precipitação e evapotranspiração (ET₀) média da série histórica (1990 a 2013) na safra da soja, período de novembro a fevereiro. Observa-se que a precipitação do MT é superior à do PR, que é superior à do RS. A média da precipitação pode explicar os resultados obtidos da correlação do PDSI com a produtividade da soja para os estados estudados. Tendo em vista que a necessidade hídrica para uma produção máxima da soja está entre 450 a 800 mm/safra (DOORENBOS e KASSAM, 1995; EMBRAPA, 2011). Nota-se também na Figura 12 que a evapotranspiração no MT é inferior à do PR, que é inferior à do RS no período de novembro a fevereiro.

Figura 12– Gráfico da precipitação e evapotranspiração média no período de novembro a fevereiro.



Fonte: o autor.

A precipitação média no RS é de 605 mm no período de novembro a fevereiro, assim, quando ocorre alguma seca a produtividade é mais propícia a ser afetada, pois a oferta hídrica estaria próxima ou abaixo do limite inferior (450 mm) que a planta necessita para uma boa produção, diminuindo sua produtividade. A evapotranspiração é outro fator que influencia na relação da seca com a produtividade, no RS a evapotranspiração média durante os meses de novembro a fevereiro na série histórica foi de 578 mm, valor próximo da precipitação. Quando ocorre uma seca a possibilidade da precipitação ser menor que a evapotranspiração é grande, podendo haver deficiência hídrica prejudicando o desenvolvimento da cultura, tendo como consequência diminuição da produtividade.

No PR, a média de precipitação é de 676 mm no período de novembro a fevereiro, uma redução ou aumento na precipitação estaria dentro do intervalo da necessidade hídrica da planta para uma produção expressiva. Não apresentando assim, influência da seca na produtividade, como encontrado nas Figuras 8 e 9. A evapotranspiração média no PR é de 538 mm, valor abaixo da média da precipitação. Essa diferença positiva entre a precipitação e a evapotranspiração diminui a possibilidade de ocorrer deficiência hídrica na planta nesse período, não influenciando na queda da produtividade.

No MT a precipitação média é de 1091 mm/safra, muito superior ao estado do RS e PR, e acima da necessidade hídrica da cultura, fazendo com que a redução na média da precipitação (seca) afete positivamente a produtividade da soja. Como mostra a tendência da produtividade nas Figuras 10 e 11, quando o PDSI apresentou seca ocorreu um melhor rendimento na produção da soja. A evapotranspiração média observada no MT foi de 487 mm, sendo que a média da precipitação foi superior a esse valor, não ocorrendo deficiência hídrica para a planta nesse período.

Observa-se que a produtividade da soja é mais afetada pela falta de água do que pelo excesso, como mostra a figura 5, a produtividade do RS é menor quando comparada com a do MT. Segundo Silva, Sartori e Wollmann (2014), a precipitação interfere no rendimento da soja durante as fases de desenvolvimento da cultura, que corresponde aos meses de novembro a fevereiro. Os autores, para o município de Ibirubá-RS, encontraram resultados parecidos neste trabalho, em que precipitações abaixo do valor ideal para uma produção máxima e abaixo do habitual para o município acarretaram em diminuições na produtividade e valores normais e acima do ideal de precipitação levaram a maiores produtividades.

6 CONCLUSÕES

Conclui-se que o PDSI, analisado de novembro a fevereiro durante a série histórica, não foi significativo na correlação com a produtividade de café no Espírito Santo.

Já a correlação do PDSI com a produtividade da soja nos estados de Mato Grosso e Rio Grande do Sul foi significativa, para o estado do Paraná o PDSI não foi significativo.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGWATA, J. F. A Review of Some Indices used for Drought Studies. **Civil and Environmental Research**, v. 6, n. 2, p. 14–21, 2014.

ALLEN, R. G. et al. FAO. Irrigation and Drainage Paper Crop by. **Irrigation and Drainage**, v. 300, n. 56, p. 300, 1998.

AMARAL, J. A. T. et al. Crescimento vegetativo e produtividade de cafeeiros Conilon propagados por estacas em tubetes. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 6, p. 1624–1629, 2007.

ASSAD, E. D. et al. Zoneamento agroclimático para a cultura do café (*Coffea arabica* L.) no Estado de Goiás e sudoeste do Estado da Bahia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 09, n. 03, p. 510–518, 2001.

BLAIN, G. C; BRUNINI, O. Análise comparativa dos índices de seca de Palmer, Palmer adaptado e índice padronizado de precipitação no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, p. 105–111, 2007.

BLAIN, G. C. et al. Índice padronizado de precipitação aplicado às condições de seca no Estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 10, p. 1067–1073, 2010.

CASTRO, L. S; MIRANDA, M. H; LIMA, J. E. Indicadores sociais de desenvolvimento e a produção de soja: uma análise multivariada nos 150 maiores municípios produtores brasileiros. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 11, n. 1, p. 69–87, 2015.

CETCAF (Centro de Desenvolvimento Tecnológico do Café), cafeicultura capixaba. Disponível em: <<http://www.cetcaf.com.br/Links/cafeicultura%20capixaba.htm>>. Acesso em: Dia jul. 2016.

CONAB (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO), safras, séries históricas. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=2>>. Acesso em: Dia mar. 2016.

COOPER, M. et al. A national soil profile database for brazil available to international scientists. **Soil Science Society of America Journal**, v. 69, p. 649–652, 2005.

COVRE, A.M. et al. Crescimento e desenvolvimento inicial de genótipos de café Conilon. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 7, n. 2, p.193–202, 2013.

DAI, A.; Drought under global warming: a review. Wiley Interdiscip. **Climate Change**, v. 2, p. 45–65, 2010.

DOORENBOS, J; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. (FAO B Irrigation and Drainage, paper 33). Tradução: Efeito da água no rendimento das culturas; de GUEYI, H. R.; SOUZA, A. A.; DAMASCENO, F. A. V.; MEDEIROS, J. F. Campina Grande, UFPB, 1994. 306p.

EMBRAPA. **Tecnologias de Produção de Soja, Região Central do Brasil 2012 e 2013**. Londrina: Embrapa Soja, 2011. 261 p. (Embrapa Soja. Sistema de Produção, 15).

FARIA, S. M.; ASSUNÇÃO, H. F. Estimativa dos índices de seca PDSI e Z de Palmer e avaliação das suas influências sobre a produção agrícola no município de Jataí - GO. **Geografia. Ensino & Pesquisa**, v. 11, p. 3736–3749, 2008.

FERNANDES, D. S. et al. Desempenho de índices quantitativos de seca na estimativa da produtividade de arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 8, p. 771–779, 2010.

FERNANDES, D. S. et al. **Índices para a quantificação da seca**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2009. 45 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 244).

FINCKIL et al., Incorporation of the Penman-Monteith potential evapotranspiration method into a Palmer drought Severity index tool. **Computers and Geosciences**, v. 85, p. 136–141, 2015.

GIEMBINSKY, R. HOLLAND, M. Comportamento do preço no complexo soja: uma análise de cointegração e de causalidade. In: XXXI ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA, n. 55. 2003 **Anais...** ANPEC-Associação Nacional dos Centros de Pós graduação em Economia, Porto Seguro, 2003.

GOIS, G. **Caracterização da seca e seus efeitos na produção da cultura do milho para as diferentes regiões do estado de Minas Gerais**. 2005. 140 f. Tese (Doutorado em *Magister Scientiae*) – Universidade Federal de Viçosa, 2005.

GRIMM, A. M. Variabilidade interanual do clima no Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. S. (Org.). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, cap. 22, p. 353–374.

HAMON, W. R. Estimating potential evapotranspiration. **Journal of Hydraulics Division ASCE**, v. 87, n. HY3, p. 107–120, 1961.

HEIM, R.R. A review of twentieth: century drought indices used in the United States. **Bulletin of the American Meteorology Society**, v. 83, p. 1149–1163, 2002.

HIRAKURI, M. H.; LAZZAROTTO, J. J.; **Evolução e Perspectivas de Desempenho Econômico Associadas com a Produção de Soja nos Contextos Mundial e Brasileiro**. Londrina: Embrapa Soja, 2011. 69 p. (Embrapa Soja. Documentos, 319).

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). Produção agrícola municipal. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo/acervo9.asp?e=c&p=PA&z=t&o=11>>. Acesso em: Dia mar. 2016.

JACOBI, J. et al. A tool for calculating the Palmer drought indices. **Water Resources Research**, v. 49, p. 6086–6089, 2013.

MATIELLO, J. B. et al. **Cultura do café no Brasil: novo manual de recomendações**. Rio de Janeiro: Fundação PROCAFÉ, 2002, 387p.

MELO, R. W; FONTANA, D. C; BERLATO, M. A. Indicadores de produção de soja no Rio Grande do Sul comparados ao zoneamento agrícola. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 12, p.1167–1175, 2004.

MEIRELES, E. J. L. et al. **Fenologia do cafeeiro: condições agrometeorológicas e balanço hídrico do ano agrícola 2004–2005**. Brasília: Embrapa Café, 2009. 128 p. (Embrapa Café. Documentos, 5).

MISHRA, V; CHERKAUER, K. A. Retrospective droughts in the crop growing season: Implications to corn and soybean yield in the Midwestern United States. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 150, n. 7, p. 1030–1045, 2010.

PALMER, W. C. **Meteorological drought**. Washington: U.S. Department of Commerce, 1965. 58p. (U.S. Department of Commerce. Research paper, 45).

ROSA, R. G. T. D. **Índices de seca. Aplicação ao continente português**. 2011. 139 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Agrônômica) – Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa. 2011.

SANTOS, M. S. **Caracterização espaço-temporal de secas utilizando ondaletas e o Standardized Precipitation Index: uma aplicação para a parcela mineira da bacia do rio São Francisco**. 2011. 163 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2011.

SANTOS, R. S. et al. Avaliação da relação seca/produtividade agrícola em cenário de mudanças climáticas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, p. 313–321, 2011.

SAXTON, K. E.; RAWLS, W. J. Soil water characteristic estimates by texture and organic matter for hydrologic solutions. **SOILSCI**, v. 70, p. 1569–1578, 2006.

SILVA, A. O. **Aplicação dos índices de Palmer e Bhalme & Mooley na avaliação da seca no estado do Ceará**. 2011. 115 f. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande. 2011.

SILVA, B. A. de O; Reis, E. A. A bialidade da cafeicultura e o resultado econômico da estocagem. **Custos e Agronegócio**, v. 9, n. 3, p. 2–26, 2013.

SILVA, J. G. F.; REIS, E. F. Irrigação do cafeeiro conilon. *In*: FERRÃO, R. G. et al. (Ed.). **Café conilon**. Vitória, ES: INCAPER, 2007. cap. 13, p. 346–373.

SILVA, V. P. da, et al. Variability in environmental impacts of Brazilian soybean according to crop production and transport scenarios. **Journal of environmental management**, v. 91, n. 9, p. 1831–1839, 2010.

SILVA, R. S; SARTORI, M. G. B; WOLLMANN, C. A. Relação entre precipitação pluviométrica e produtividade da cultura de soja, no município de Rbirubá-RS. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 27, p. 296–314, 2014.

SIQUEIRA, J. D. P. et al. Estudo ambiental para os programas de fomento florestal da Aracruz Celulose S. A. e extensão florestal do governo do estado do Espírito Santo. **Floresta**, Edição especial, p. 3–67, 2004.

TAQUES, R. C; DADALTO, G. G. Zoneamento agroclimático para a cultura do café conilon no Estado do Espírito Santo. *In*: FERRÃO, R. G. et al. (Ed.). **Café conilon**. Vitória, ES: INCAPER, 2007. cap. 2, p. 53–62.

TATAGIBA, D. S; PEZZOPANE, J. E. M; REIS, E. F. Crescimento vegetativo de mudas de café arábica (*Coffea arabica* L.) submetidas a diferentes níveis de sombreamento. **Coffee Science**, v. 5, n. 3, p. 251–261, 2010.

TEIXEIRA, C. F. A. et al. Intensidade da seca utilizando índices de precipitação. **Revista Ambiente e Água**, v. 8, n. 3, p. 203–213, 2013.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, v. 38, n. 1, p. 55–94, 1948.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The water balance. **Climatology**, Centerton, v.8, n.1, p.1–40, 1955.

ULIANA, E. M.; Utilização do índice de precipitação padronizado para a região norte do estado do Espírito Santo. **Irriga**, v. 20, n. 3, p. 414–428, 2015.

VROCHIDOU, A. E. K. et al. The impact of climate change on hydrometeorological droughts at a basin scale. **Journal of Hydrology**, v. 476, p. 290–301, 2013.

WILHITE, D. A.; GLANTZ, M. H.; Understanding: the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. **Water International**, v. 10, p. 111–120, 1985.

WILHITE, D. A.; SIVAKUMAR, M. V. K.; PULWARTY R. Managing drought risk in a changing climate: The role of national drought policy. **Weather and Climate Extremes**, v. 3, p. 4–13, 2014.

XAVIER, A. C.; KING, C. W.; SCANLON, B. R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980-2013). **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 6, p. 2644–2659, 2015.

APÊNDICE A

Tabela 4 – Valores de PDSI e produtividade de café no Espírito Santo.

Série histórica (anos)	PDSI (novembro a fevereiro)	Produtividade (ton/ha)
1990	-0.827	0.859
1991	-0.228	1.062
1992	1.400	1.104
1993	0.027	0.998
1994	-0.751	0.960
1995	-2.340	0.818
1996	-0.776	1.378
1997	0.982	1.064
1998	-1.331	1.340
1999	-2.758	1.243
2000	-0.123	1.962
2001	-0.399	1.798
2002	1.302	1.013
2003	-0.583	0.855
2004	0.129	0.958
2005	1.903	0.976
2006	2.557	1.030
2007	2.260	1.193
2008	-1.940	1.245
2009	1.386	1.265
2010	-2.053	1.303
2011	-0.224	1.519
2012	-0.296	1.651
2013	-0.788	1.517

Tabela 5 - Valores de PDSI e produtividade de soja no Rio Grande do Sul.

Série histórica (anos)	PDSI (novembro a fevereiro)	Produtividade (ton/ha)
1990	0.093	1.796
1991	-0.067	0.712
1992	-0.415	1.964
1993	-0.031	1.971
1994	0.906	1.709
1995	0.664	1.945
1996	-1.382	1.698
1997	-0.858	1.616
1998	4.349	2.037
1999	-1.213	1.464
2000	-1.620	1.594
2001	1.106	2.337
2002	-1.294	1.703
2003	3.953	2.667
2004	0.151	1.396
2005	-2.461	0.655
2006	-1.077	1.956
2007	-0.107	2.552
2008	-0.580	2.019
2009	-0.949	2.100
2010	2.749	2.611
2011	-0.268	2.876
2012	-2.363	1.430
2013	-0.293	2.698

Tabela 6 - Valores de PDSI e produtividade de soja no Paraná.

Série histórica (anos)	PDSI (novembro a fevereiro)	Produtividade (ton/ha)
1990	0.154	2.070
1991	-0.502	1.856
1992	-1.002	1.985
1993	0.276	2.339
1994	-0.173	2.510
1995	0.500	2.604
1996	-0.201	2.724
1997	1.916	2.611
1998	2.201	2.599
1999	-0.395	2.810
2000	-1.851	2.571
2001	0.408	3.080
2002	-1.240	2.926
2003	0.878	3.044
2004	-0.548	2.621
2005	0.160	2.383
2006	-1.155	2.465
2007	-0.044	3.022
2008	-1.081	3.001
2009	-1.126	2.441
2010	2.542	3.164
2011	0.330	3.403
2012	-1.042	2.614
2013	-0.811	3.373

Tabela 7 - Valores de PDSI e produtividade de soja no Mato Grosso.

Série histórica (anos)	PDSI (novembro a fevereiro)	Produtividade (ton/ha)
1990	0.543	2.006
1991	1.147	2.351
1992	0.065	2.506
1993	0.232	2.454
1994	0.614	2.630
1995	1.592	2.364
1996	0.173	2.573
1997	0.713	2.764
1998	-0.724	2.734
1999	-0.915	2.836
2000	-1.578	3.019
2001	-1.488	3.054
2002	0.293	3.060
2003	-0.288	2.938
2004	0.679	2.758
2005	-0.692	2.909
2006	-0.521	2.683
2007	-0.584	3.010
2008	-1.172	3.146
2009	-1.374	3.080
2010	0.946	3.017
2011	-1.830	3.223
2012	-1.014	3.129
2013	-0.427	2.959

ANEXO A

Figura 13 – Código desenvolvido no MATLAB por JACOB et al. (2013) para cálculo do PDSI.

