

ANÁLISE DE CORRELAÇÃO ENTRE O ESCOAMENTO E O ÍNDICE DE PRECIPITAÇÃO PADRONIZADO SPI (STANDARDIZED PRECIPITATION INDEX) NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO LIMA

Teresa Lajinha

Professor Auxiliar

CEMAS, Faculdade de Ciência e Tecnologia – UFP

tlajinha@ufp.pt

Maria João Guerreiro

Professor Auxiliar

CEMAS, Faculdade de Ciência e Tecnologia – UFP

RESUMO

A seca é um fenómeno meteorológico com efeitos nefastos a nível social, económico e ambiental. Sendo difícil de prever, existem vários indicadores que permitem avaliar a sua severidade num determinado período de tempo. O Standardized Precipitation Index, SPI, desenvolvido por McKee, é um desses indicadores e a sua determinação requer que se conheça unicamente a precipitação mensal durante um período mínimo de trinta anos. Neste trabalho analisa-se a relação existente entre o índice SPI mensal e o escoamento mensal em dois pares de estações (meteorológicas e hidrométricas) localizadas na bacia hidrográfica do rio Lima procurando relacionar um índice de precipitação com fenómenos extremos de seca/períodos húmidos.

ABSTRACT

A drought is a meteorological phenomenon with adverse effects at the social, economic and environmental level. Being difficult to predict the phenomena, there are several indicators which evaluate the severity during a time period. The Standardized Precipitation Index (SPI) developed by McKee, is one of these indicators and only thirty years of monthly precipitation data are necessary for its evaluation. The relationship between SPI and monthly flow was analyzed at two sets of gauges (*raingauge-streamflow*), located at the Lima river basin, in order to relate a precipitation index to drought/humid periods.

1. INTRODUÇÃO

A seca é um fenómeno meteorológico natural; porém constitui um dos desastres meteorológicos mais dispendiosos a nível socio-económico e ambiental. O sector agro-pecuário é o mais afectado devido à sua dependência dos recursos hídricos e reservas de humidade no solo para o crescimento das plantas (Narasimhan e Srinivasan, 2005). O abastecimento urbano e industrial e o habitat de certas espécies podem ficar profundamente afectados durante a ocorrência de um período de seca.

Wilhite and Glantz (in McKee *et al.*, 1993) identificaram seis categorias gerais que permitem definir a seca: meteorológica, climatológica, atmosférica, agrícola, hidrológica e de gestão da água. De uma forma geral, pode definir-se a seca como uma situação de carência hídrica causada por um défice na precipitação durante um determinado período de tempo. Conforme o período temporal em que esses défices ocorrem, podem existir impactos ao nível de humidade do solo, recarga de aquíferos, caudais em cursos de água e armazenamento em reservatórios.

Paulo *et al.* (2005) definiram seca como um desequilíbrio temporário da disponibilidade de água devido à persistência de precipitação inferior à média, de frequência incerta, duração e severidade difíceis ou impossíveis de prever, reduzindo as disponibilidades hídricas e capacidade de suporte dos ecossistemas.

Os impactos das secas podem ser reduzidos através do conhecimento da sua severidade, padrão de ocorrência e extensão, para planeamento e tomadas de decisão (Tadesse, 2005). As secas apresentam uma evolução lenta o que leva a análises

de ocorrências passadas e dificilmente se podem fazer previsões de severidade (Rodrigues *et al.*, 2006).

A severidade de uma seca pode ser avaliada através de indicadores numéricos, que são normalmente funções da precipitação e/ou temperatura, escoamento ou outra variável hidrológica mensurável. Diversos índices foram propostos na literatura, incluindo o Palmer Drought Severity Index (PDSI), Crop Moisture Index, Standardized Precipitation Index (SPI), Deciles, FAO Water Satisfaction Index, Agro-hydro Potential, Index of Moisture Adequacy, Surface Water Supply Index (SWSI) e índices de escoamento (Smakhtin e Hughes, 2006) além dos Reclamation Drought Index (RDI), BMI, Precipitation Anomaly Classification (PAC), National Rainfall Index (NRI), Percentage of Normal (PN) (Ntale e Gan, 2003).

A avaliação da severidade da seca apresentada pelo instituto da água (INAG), é realizada através de tratamentos estatísticos (Rodrigues *et al.*, 2006) de dados de precipitação, escoamento, níveis piezométricos, entre outros. O Instituto de Meteorologia (IM) avalia a severidade da seca através do PDSI, que se baseia no balanço hídrico usando a precipitação, temperatura do ar e a água disponível no solo (IM, 2006).

A complexidade do fenómeno implica que nenhum índice seja ideal para todas as regiões ou propósitos. No entanto, o SPI apresenta vantagens relativamente aos outros índices. Lloyd-Hughes e Saunders (2002) concluíram que o SPI tem uma padronização espacial mais efectiva na Europa do que o PDSI. Aproximadamente 60 países usam o SPI para avaliação da severidade das secas (Wu *et al.*, 2005). O *stress* vegetativo foi avaliado usando o

SPI como dado de entrada num modelo que integra dados de satélite, climáticos (SPI) e biofísicos (Tadesse, 2005).

Num estudo comparativo entre sete índices de avaliação da severidade da seca, Morid *et al.* (2006) avaliaram o SPI como um dos três índices que melhor a descrevem.

O objectivo deste estudo foi avaliar em que medida o SPI se adequa à avaliação do défice hídrico nas linhas de água, uma vez que o escoamento é a resposta hidrológica à precipitação (Rodrigues *et al.*, 2006). O SPI necessita apenas dos dados de precipitação mensal, disponíveis ao público no Instituto da Água (INAG) (www.snirh.inag.pt).

O SPI, desenvolvido por McKee e tal. (1993), é um índice de secas meteorológico, que se baseia na precipitação que ocorre em períodos de 1, 3, 6, 12, 24 e 48 meses. O SPI considera a natureza estocástica da seca e é, portanto, uma boa medida de secas meteorológicas de curta e longa duração (Narasimhan e Srinivasan, 2005), permitindo também a comparação entre locais e climas diferentes (Paulo *et al.*, 2005).

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado com dados de precipitação e escoamento mensal da rede meteorológica e hidrométrica das bacias hidrográficas do rio Lima (Figura 1), disponíveis no site do INAG. Escolheram-se as estações meteorológicas com mais de 30 anos de registos de precipitação mensal e que se localizam nas proximidades de estações hidrométricas com dados de escoamento mensal (Tabela 1).



Figura 1: Localização da Bacia e das Estações (dados obtidos no Atlas do Ambiente – www.iambiente.pt)

De modo a determinar os valores mensais do SPI, os dados de precipitação mensal foram ajustados a uma distribuição de probabilidade Gama, condição necessária para a aplicação do índice SPI (McKee,

METEOROLÓGICA	NOME	BACIA	CONCELHO	ENTRADA FUNCIONAMENTO	ALTITUDE (m)	
	CASAL SOEIRO	LIMA/NEIVA	ARCOS DE VALDEVEZ	10/1/1960	95	
CASTRO LABOREIRO	LIMA/NEIVA	MELGAÇO	1/1/1932	932		
HIDROMÉTRICA	NOME	BACIA	CONCELHO	ENTRADA FUNCIONAMENTO	RIO	ÁREA DRENADA (Km ²)
	AMELJOEIRA	LIMA/NEIVA	MELGAÇO	10/1/1947	CASTRO LABOREIRO	57,18
PONTILHÃO CELEIROS	LIMA/NEIVA	ARCOS DE VALDEVEZ	10/1/1939	RIO VEZ	170,8	

Tabela 1: Características das estações meteorológicas e hidrométricas. (Fonte: <http://snirh.inag.pt>)

1993), que é depois transformada na distribuição normal padrão de tal modo que a média é zero e o desvio padrão é um. Os valores do SPI correspondem à padronização dos totais das precipitações gama-transformados pelo que um índice SPI igual a zero indica que não houve desvios nos valores da precipitação relativamente à precipitação média para o período analisado. Valores positivos do índice SPI indicam que a precipitação é superior à média e valores negativos indicam que a precipitação é inferior à média. Assim, períodos de seca são caracterizados por valores negativos do SPI (Tabela 2).

Índice SPI	Severidade da seca
0 a -0,99	Suave
-1 a -1,49	Moderada
-1,5 a -1,99	Severa
≤ -2	Extrema

Tabela 2: Índice SPI e severidade das secas (Fonte: McKee, 1993)

Para avaliar a proximidade entre a distribuição de frequências associada aos valores observados da precipitação mensal e a distribuição Gama, realizou-se o teste de qualidade do ajuste de Kolmogorov-Smirnov, com 5% de significância. Este teste é, na maioria dos casos, mais potente do que o Teste do Qui-quadrado, sendo a estatística do teste definida rigorosamente (Guimarães, 1998).

A distribuição gama está bem definida na literatura (Wu *et al.*, 2005), através da seguinte equação:

$$G(x) = \frac{1}{\beta \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} dx$$

onde

$G(x)$ – probabilidade acumulada

β - parâmetro de escala

α - parâmetro de forma

x – variável aleatória (precipitação mensal)

$\Gamma(\alpha)$ – função gama

Os parâmetros α e β são estimados por

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad \text{e} \quad \beta = \frac{\bar{x}}{\alpha}$$

$$\text{onde} \quad A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum (\ln(x))}{n}$$

sendo n o número de observações.

Após o cálculo da probabilidade acumulada $G(x)$, sendo x a precipitação mensal, determinou-se o valor de Z (precipitação padronizada) para a mesma probabilidade, obtendo-se assim, o índice SPI.

Após o cálculo mensal do SPI e de modo a poder identificar a capacidade de se efectuarem julgamentos sobre o escoamento em linhas de água com base neste índice (desenvolvido para avaliar a severidade e ocorrência de seca), fez-se uma análise de correlação entre o SPI e os dados de escoamento mensal. Estes últimos dados procedem das estações hidrométricas mais próximas das estações meteorológicas usadas como fonte de dados de precipitação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através do teste de Kolmogorov-Smirnov verificou-se que os dados de precipitação mensal das duas estações meteorológicas se ajustam à distribuição gama de parâmetros, α e β , calculados segundo as expressões dadas na secção 2, permitindo assim, o cálculo do índice SPI (Anexo A).

O índice SPI mensal foi confrontado com os escoamentos mensais (Anexo B) sendo o coeficiente de correlação linear entre os mesmos apresentado na Tabela 3. Na Tabela 4 apresenta-se o número de dados com os quais se calculou o coeficiente de correlação em cada caso.

Da análise da Tabela 3 verifica-se que existe uma correlação linear forte entre o índice SPI e o escoamento mensal nos meses mais húmidos do ano hidrológico (Outubro a Maio), não se verificando uma correlação tão boa nos meses mais secos (Junho a Setembro). O valor elevado do coeficiente de correlação linear para a relação entre o escoamento e o índice SPI determinado nas estações Pontilhão Celeiros/Casal Soeiro no mês de Agosto pode dever-se à escassez de dados correlacionáveis nesse mês (Tabela 4). Este mesmo facto poderá também explicar o valor praticamente nulo (significando ausência de correlação linear) obtido para o coeficiente de correlação entre o escoamento e o índice SPI nas estações Ameijoeira/Castro Laboreiro no mês de Setembro.

De uma maneira geral, a fraca correlação verificada entre o índice SPI e o escoamento nos meses estivais pode ser explicado pelo facto de, nesses meses, as variações do escoamento não dependerem tanto da precipitação, sendo sobretudo condicionadas pela contribuição dos aquíferos, das reservas hídricas do solo e, eventualmente, do degelo presente na região. O conjunto destas contribuições pode, nos meses secos, desempenhar um papel importante, impedindo que na ausência de precipitação ocorra o recesso imediato das quantidades escoadas.

4. CONCLUSÕES

Os valores reduzidos dos coeficientes de correlação obtidos para os meses de estiagem revelam a independência entre o escoamento e a precipitação nesses meses. Os meses de Verão caracterizam-se, na bacia em estudo, por uma quantidade muito reduzida de precipitação (< 200 mm) sendo as linhas de água alimentadas por outras fontes hídricas (água subterrânea, humidade do solo).

Estação Hidrométrica/ Meteorológica	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Ameijoeira/ Castro Laboreiro	0,92	0,69	0,68	0,97	0,69	0,16	0,34	0,17	-0,05	0,97	0,68	0,92
Pontilhão Celeiros/Casal Soeiro	0,63	0,73	0,66	0,80	0,70	0,46	0,33	0,63	0,76	0,76	0,57	0,91

Tabela 3: Coeficiente de Correlação entre índice SPI mensal e escoamento mensal

Estação Hidrométrica/ Meteorológica	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Ameijoeira/ Castro Laboreiro	11	10	11	11	11	10	9	8	7	10	11	11
Pontilhão Celeiros/Casal Soeiro	17	17	17	18	17	18	14	5	12	18	19	17

Tabela 4: Dimensão da amostra no cálculo do coeficiente de correlação

Da análise efectuada verifica-se que nos meses de Outubro a Maio os valores mensais do índice SPI se correlacionam fortemente com a quantidade do escoamento mensal nas estações estudadas. Assim, durante esse período, o SPI pode ser utilizado para avaliar os défices do escoamento, servindo como ferramenta de apoio à decisão na gestão anual de albufeiras, tanto para armazenamento de água como para produção de energia, podendo também ter aplicações na avaliação dos caudais ecológicos.

Através da avaliação do SPI para os meses de Outono, Inverno e Primavera de um dado ano torna-se possível obter de modo expedito um indicador da disponibilidade de água na bacia, o que permite o planeamento eficiente da sua utilização ao longo do ano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Guimarães, R.C. e Cabral, J.A. (1998). *Estatística*. McGraw-Hill, Portugal.
- IM (2006). Informação Climática Maio 2006. [Em linha]. Disponível em <http://www.meteo.pt> [Consultado em 12 de Junho 2006]
- Lloyd-Hughes B. e Saunders M. A. (2002). A Drought Climatology for Europe. *In: International Journal of Climatology*, **22**, pp. 1571-1592.
- Mckee, T.B., Doesken, N.J. e Klei, J. (1993). The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. *In: Proc. Eighth Conference on Applied Climatology*, 17-22 January 1993, Anaheim, California.
- Morid, S., Smakhtin, V. and Moghaddas, M. (2006). Comparison of Seven Meteorological Indices for Drought Monitoring in Iran. *In: International Journal of Climatology*, **26**, pp. 971-985.
- Narasimhan, B. e Srinivasan, R. (2005). Development and Evaluation of Soil Moisture Deficit Index (SMDI) and Evapotranspiration Deficit Index (ETDI) for Agricultural Drought Monitoring. *In: Agricultural and Forest Meteorology*, **133**, pp. 69-88
- Ntale, H.K. e Gan, T.Y. (2003). Drought Indices and their Application to East Africa. *In: International Journal of Climatology*, **23**, pp. 1335-1357.
- Paulo, A.A., Ferreira, E., Coelho, C. e Pereira, L.S. (2005). Drought Class Transition Analysis through Markov and Loglinear Models. An Approach to Early Warning. *In: Agricultural Water Management*, **77**, pp. 59-81.
- Rodrigues, R, Brandão, C, Lopes, A. e Nunes, M. (2006). *Caracterização do Período de Quatro Meses do Início do Ano Hidrológico de 2005/06 e seu Enquadramento na Severidade da Seca Decorrente do Ano Hidrológico de 2004/05*. Lisboa, Instituto da Água.
- Smakhtin, V.U. e Hughes, D.A. (2006). Automated Estimation and Analyses of Meteorological Drought Characteristics from Monthly Rainfall Data. *In: Environmental Modelling & Software*, May 2006, pp. 1-11.
- Tadesse, T., Jesslyn, T, Brown, F. e Hayes, M.J. (2005). A New Approach for Predicting Drought-Related Vegetation Stress: Integrating Satellite, Climate, and Biophysical Data over the U.S. Central Plains. *In: ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, **59**, pp. 244- 253.
- Wu, H., Hayes, M.J., Wilhite, D.A. and Svoboda, M.D. (2005). The Effect of the Length of Record on the Standardized Precipitation Index Calculation. *In: International Journal of Climatology*, **25**: pp. 505-520.

Anexo A

Resultados do Teste de Kolmogorov – Smirnov com 5% de significância para avaliar o ajuste entre as distribuições de frequência amostral da precipitação mensal e a distribuição Gama

		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
Castro Laboreiro	ET	0,140	0,095	0,107	0,101	0,101	0,144
	VC	0,2124	0,2124	0,2124	0,2124	0,2124	0,2124
Casal Soeiro	ET	0,185	0,070	0,094	0,102	0,178	0,085
	VC	0,2124	0,2124	0,2124	0,2124	0,2124	0,2124

Tabela A.1: Dados de Janeiro a Junho

		Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Castro Laboreiro	ET	0,121	0,095	0,142	0,078	0,135	0,089
	VC	0,2124	0,2124	0,2124	0,2099	0,2099	0,2124
Casal Soeiro	ET	0,088	0,099	0,163	0,092	0,153	0,0641
	VC	0,2124	0,2124	0,2124	0,2099	0,2099	0,2099

Tabela A.2: Dados de Julho a Dezembro

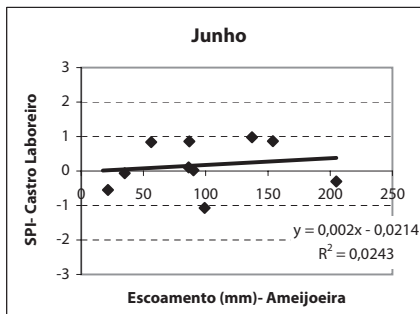
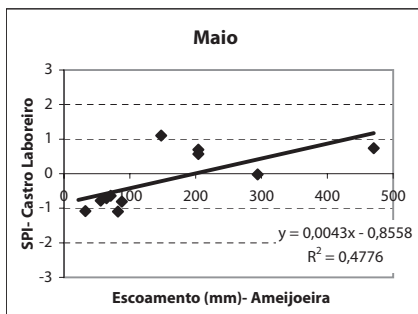
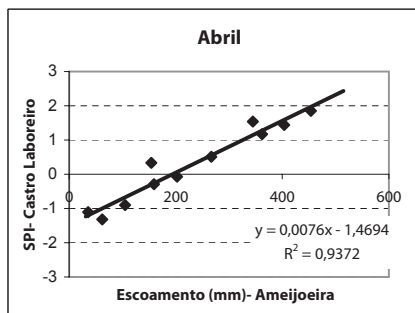
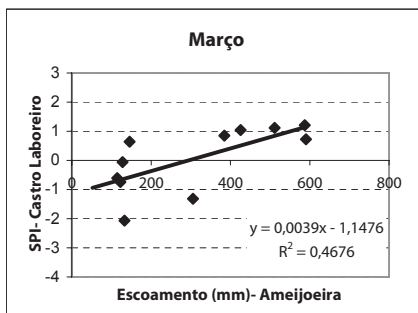
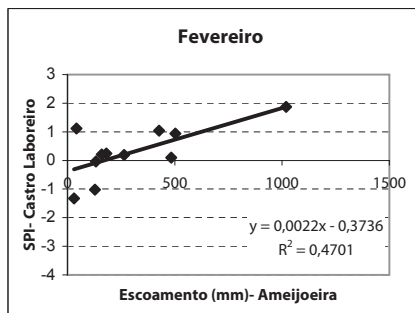
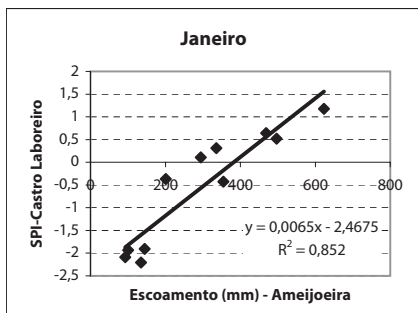
ET: Estatística do Teste;

VC: Valor Crítico.

Se $ET < VC$, não se rejeita a hipótese nula de que os dados seguem uma distribuição Gama.

Anexo B

Diagramas de Dispersão e Regressão Linear efectuada sobre os dados de escoamento mensais e os valores mensais do SPI para as estações estudadas.



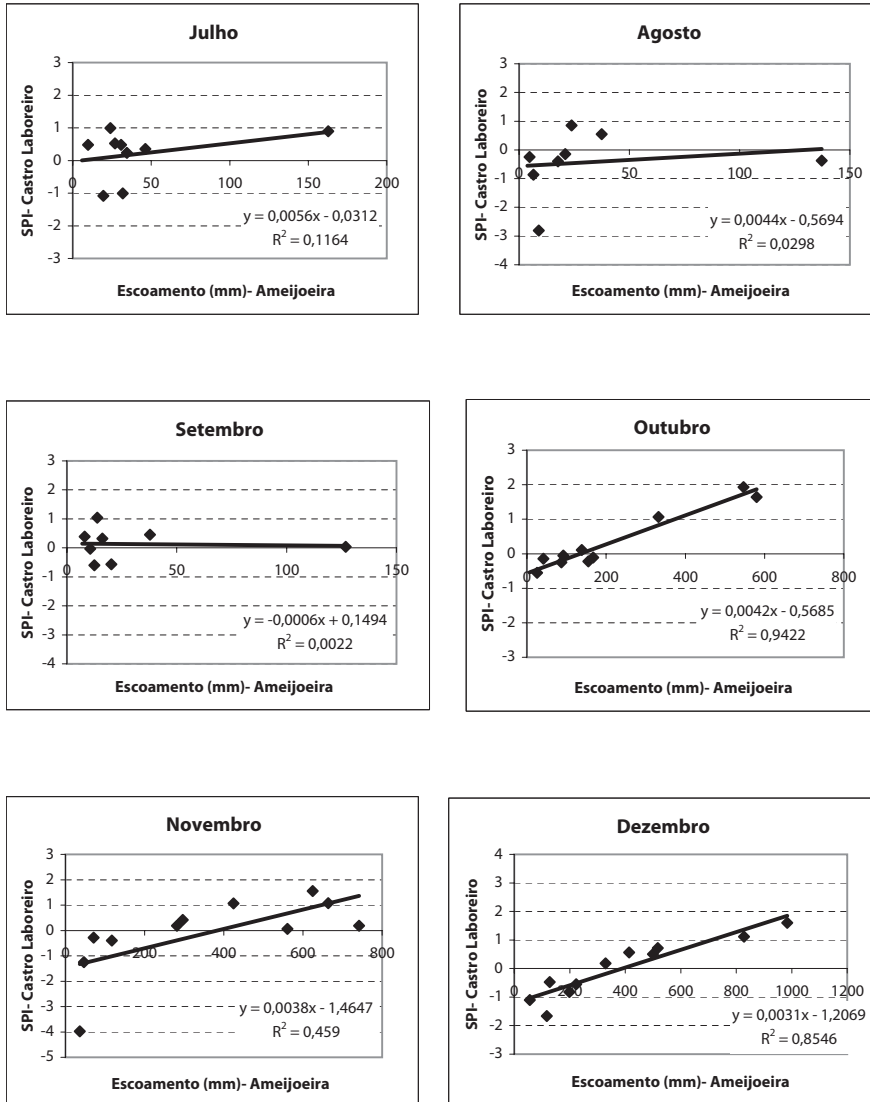
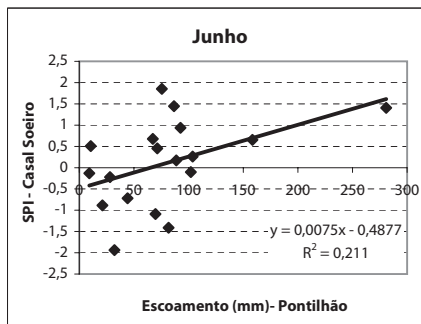
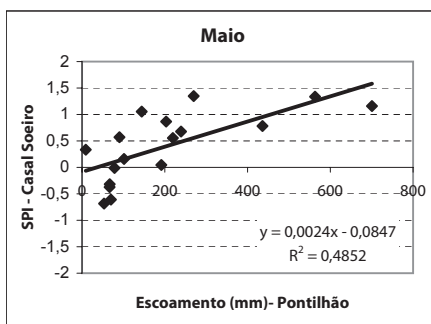
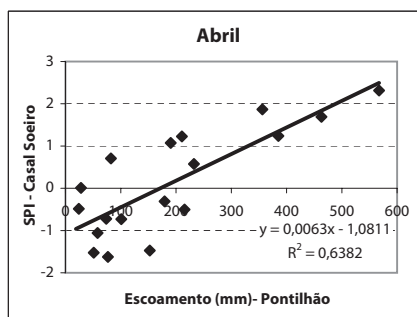
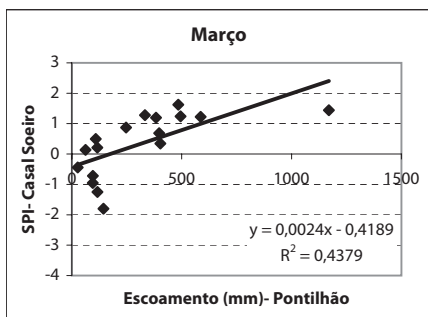
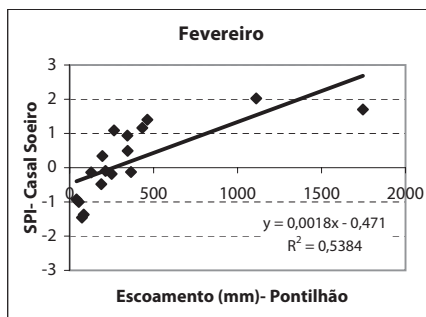
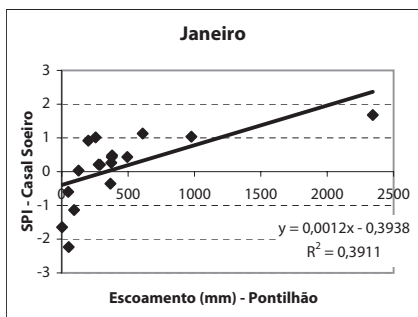


Figura B.1: Relação entre o SPI mensal na estação Meteorológica de Castro Laboreiro e o escoamento mensal na estação hidrométrica de Ameijoira



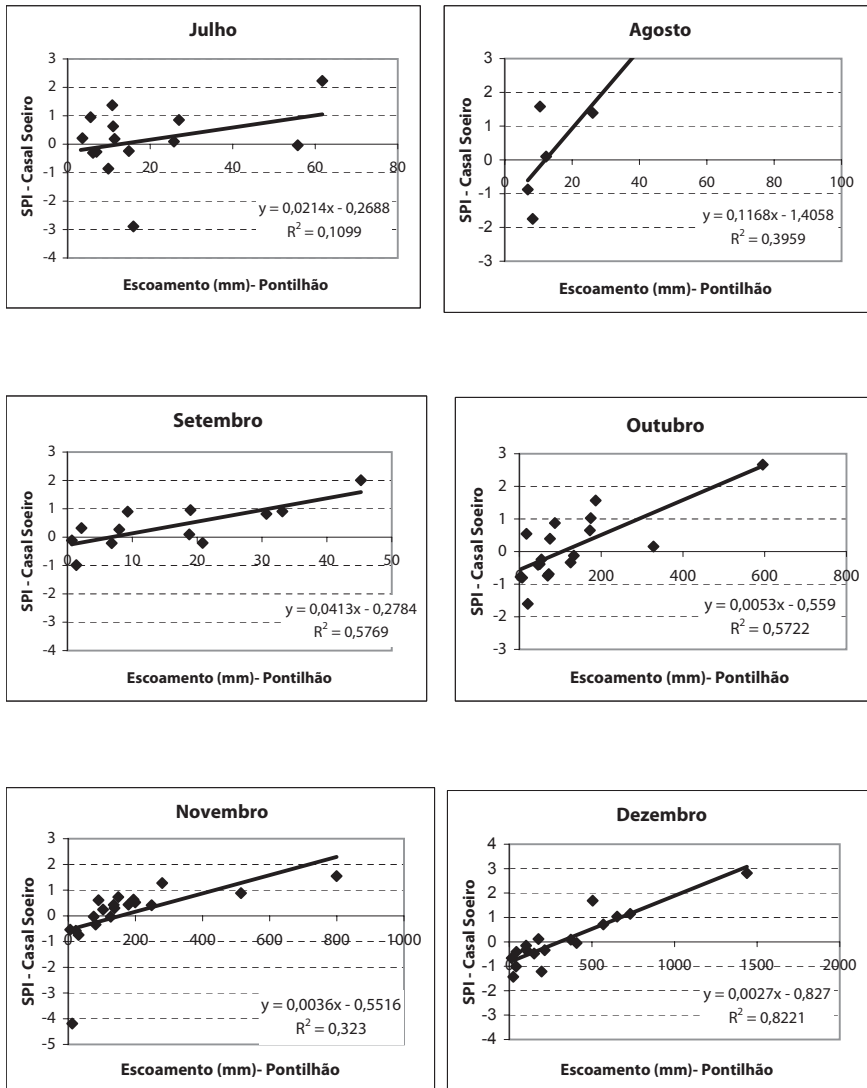


Figura B.2: Relação entre o SPI mensal na estação Meteorológica de Casal Soeiro e o escoamento mensal na estação hidrométrica de Pontilhão Celeiros