

## Correlação Entre o Índice Padronizado de Precipitação e Geração de Centrais Hidrelétricas de Pequeno Porte<sup>1</sup>

Juliany Martins da Silva<sup>2</sup>, Bruna Tayla Cabral Vasconcellos<sup>2</sup>, Igor Renan Braga dos Santos<sup>2</sup> e Camila Rocha Galhardo<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Aceito para Publicação no 3º Trimestre de 2016.

<sup>2</sup>Mestrado em Engenharia de Energia da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), ivanfelipeice@hotmail.com.

<sup>3</sup>Doutorado em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI).

### Resumo

Períodos de seca influenciam fortemente o Setor Elétrico Brasileiro devido à predominância da hidroeletricidade na matriz elétrica nacional, esse cenário pôde ser vivenciado durante o verão 2013-2014 onde foi constatada a falta de chuvas. Partindo da premissa de que o regime de chuvas pode influenciar a vazão de rios onde estão instaladas centrais hidrelétricas e, conseqüentemente, na geração desses empreendimentos, foram analisadas as correlações entre o índice padronizado de precipitação, SPI, produzido pelo CPTEC/INPE e o índice de geração, calculado pela razão da energia gerada pela garantia física de 257 centrais hidrelétricas de pequeno porte, até 30 MW. A análise utilizou o coeficiente de correlação de Pearson, a fim de verificar se há uma associação linear entre a precipitação e a geração de energia em aproveitamentos hidrelétricos. Foram observadas correlações com coeficientes altos entre o SPI e o índice de geração. Nos casos em que o SPI indicava seca, muitos empreendimentos apresentaram baixa geração, entretanto, o inverso não foi verificado, o SPI alto não indicou melhor desempenho no índice de geração.

**Palavras chave:** índice padronizado de precipitação, pequenas centrais hidrelétricas, geração de energia elétrica.

## **CORRELATION BETWEEN STANDARD PRECIPITATION INDEX AND GENERATION OF SMALL HYDROELECTRIC PLANTS**

### **Abstract**

The strong influence of drought in the Brazilian Electric Sector is due to the predominance of hydroelectricity in the Brazilian Energy Matrix implies, this situation could be experienced during the 2013-2014 summer, where the lack of rainfall was noticed. Assuming that rainfall can influence the flow of rivers, which are set up hydropower plants, the correlations between the standard precipitation index, SPI, made by CPTEC/INPE and generation rate, were analyzed for 257 small hydro plants with capacity lower than 30 MW. The analysis used the Pearson correlation coefficient in order to verify a linear association between precipitation and power generation in hydroelectric plants. Correlations were observed with high coefficients between the SPI and the generation rate. When the SPI indicated drought, many developments show low generation. However, the reverse is not verified, the high SPI did not indicate better performance in generation rate.

**Keywords:** *Standard Precipitation Index*, small hydroelectric plants, electric energy generation.

### **Introdução**

O regime de chuvas pode influenciar a vazão de rios onde estão instaladas centrais hidrelétricas e, conseqüentemente, na geração desses empreendimentos. Essa relação permite, por exemplo, a utilização da precipitação como um dos dados de entrada na elaboração da série de vazões de longo termo – séries de no mínimo 30 anos de dados – em modelos chuva-vazão.

A precipitação compõe uma parte fundamental do ciclo hidrológico e possui características próprias de ocorrência como localização, intensidade e persistência

(MOREIRA, 2005). De acordo com Tucci (1998), a observação dos dados de precipitação deve ser feita de maneira bastante criteriosa para que não sejam fonte de diversos erros quando interpolados ou extrapolados, tratamento necessário haja visto que as medidas são pontuais no espaço.

As estações de medições pluviométricas utilizam pluviógrafos e pluviômetros capazes de obter a intensidade e duração das chuvas, mas possui limitações quanto à distribuição espacial (MOREIRA, 2005). Para contornar os erros associados a interpolação e extrapolação de dados pontuais são utilizados os radares meteorológicos (PEREIRA FILHO e CRAWFORD, 1995). Desta forma, embora ainda haja erros associados, que causam uma incerteza maior do que se utilizada uma rede de pluviômetros, é possível obter uma boa amostragem espacial e temporal da estimativa da taxa de precipitação (BENETI, CALVETTI e PEREIRA FILHO, 2002).

A série de vazões é fundamental para determinação da capacidade instalada no projeto de um empreendimento hidrelétrico, uma vez que a vazão de água pode ser entendida como o “combustível” das centrais hidrelétricas e determina quando e em que quantidade a energia será gerada. Além de ser requerida também no cálculo da garantia física, procedimento que determina a quantidade máxima de energia associada ao empreendimento, incluindo importação, que poderá ser utilizada para comprovação de atendimento de carga ou comercialização por meio de contratos (BRASIL, 2004).

Durante verão 2013-2014 foi constatada a falta de chuvas devido “a um intenso, persistente e anômalo sistema de alta pressão atmosférica que, inibindo as correntes ascendentes de ar, dificultou a ocorrência das típicas pancadas de chuva”, de acordo com estudos desenvolvidos pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden) e pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe) (MARENGO e ALVES, 2016).

A combinação de baixos índices pluviométricos e aumento na demanda de água, assim como a ausência de um planejamento adequado para o gerenciamento dos

recursos hídricos, gerou o que foi chamado de “crise hídrica” na região Sudeste do País. Os efeitos dessa crise influenciaram fortemente o Setor Elétrico, uma vez que o Brasil tem como principal fonte da matriz elétrica a hidroeletricidade.

Uma vez que dados de precipitação são utilizados para projetar centrais hidrelétricas, esse estudo é justificado na possibilidade de correlacionar o índice padronizado de precipitação utilizado pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE) com o desempenho da geração das centrais hidrelétricas de pequeno porte, tendo como base as suas garantias físicas.

## Material e métodos

Os empreendimentos de geração hidrelétrica são usualmente classificados pela capacidade instalada. As Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGHs) são definidas por potências de até 3 MW, as Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) por potências entre 3 MW e 30 MW e as Usinas Hidrelétricas (UHEs) por potências acima de 30 MW.

Foram escolhidas como objetos deste estudo, 257 empreendimentos de até 30 MW que compreendem majoritariamente o grupo de CGHs e PCHs. Entretanto, algumas limitações quanto ao reservatório podem fazer com que centrais com menos de 30 MW sejam consideradas UHEs e não PCHs, destarte, observa-se na amostra os três tipos descritos.

Na Figura 1 é apresentado o mapa com as localizações das 257 centrais hidrelétricas de pequeno porte que são objeto de estudo deste trabalho. É possível perceber a maior concentração de empreendimentos na região Sudeste e Sul do país, regiões mais afetadas pela “crise hídrica” nos anos de 2013 e 2014.

A metodologia de desenvolvimento de um índice padronizado de precipitação (SPI – da sigla em inglês *Standard Precipitation Index*) foi descrita por McKee, Doesken e Kleist (1993). Tal índice tem sido produzido pelo CPTEC/INPE, baseado no

produto de precipitação mensal obtido a partir de dados provenientes de diversas fontes de dados do Brasil.

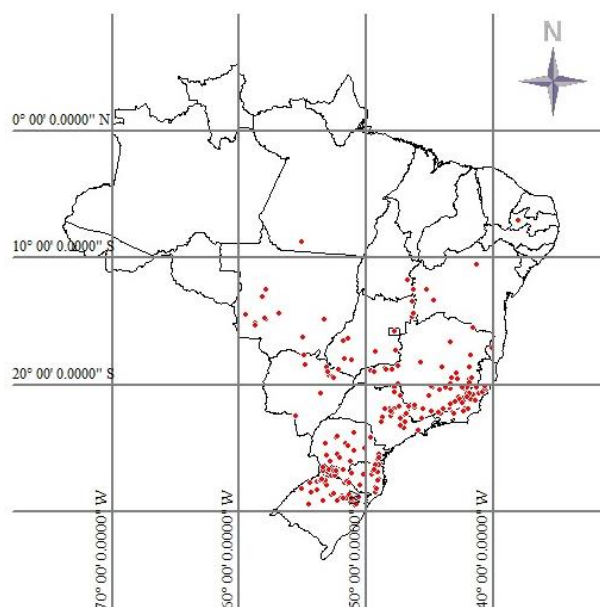


Figura 1. Localização das centrais hidrelétricas estudadas.

Embora diferentemente dos procedimentos de medição de precipitação utilizados para modelos hidrológicos, descritos na introdução deste artigo, o SPI não interpole ou extrapole os dados, utilizando dos valores mais próximos no espaço. Tem-se maior segurança em trabalhar com estes valores por tratar-se de um índice normalizado, tendo em vista que valores médios podem não ser representativos da população ao ocultar extremos ou assumir valores irreais em um período de tempo.

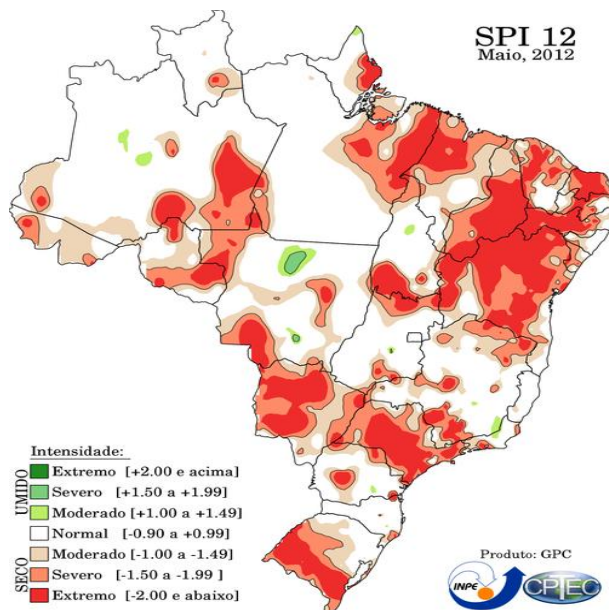


Figura 2. Anomalias do SPI na base de 12 meses para o ano de 2012.

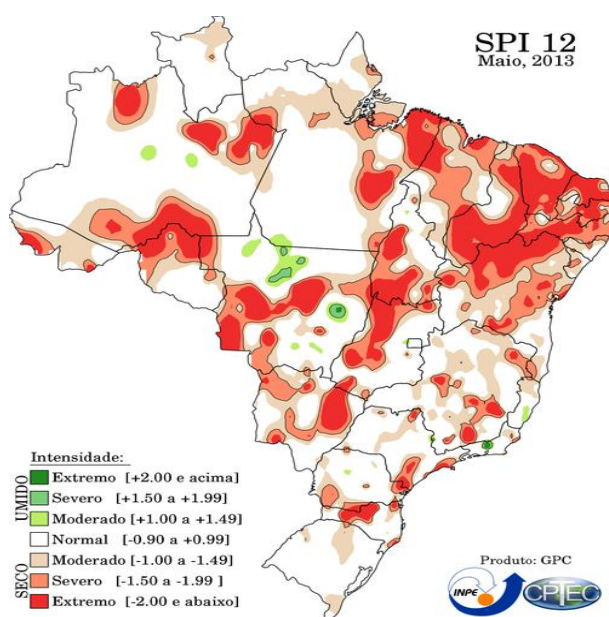


Figura 3. Anomalias do SPI na base de 12 meses para o ano de 2013.

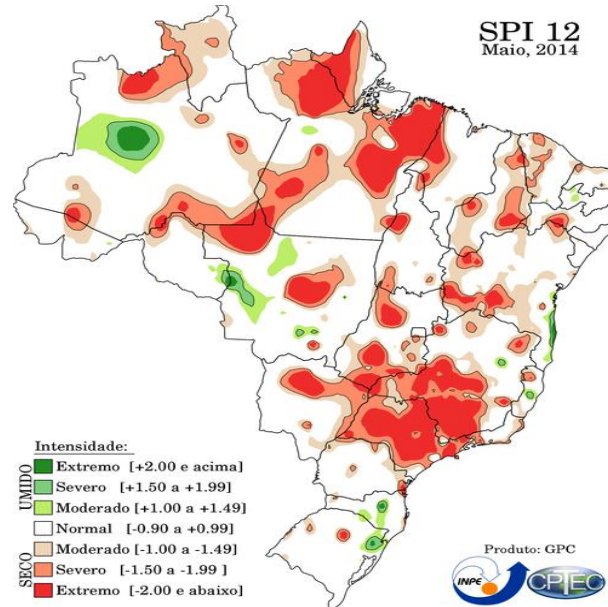


Figura 4. Anomalias do SPI na base de 12 meses para o ano de 2014.

O SPI assume valores negativos e positivos, os valores entre -0,9 e +0,99 são representam intensidades normais de chuva. Sendo assim, são referidos neste trabalho como baixos os valores de SPI menores que -0,9, bem como os maiores que +0,99 são referidos como valores altos.

Para representar a geração das centrais hidrelétricas é utilizado o índice de geração calculado pela razão entre a energia gerada no ano (MWmed) e a garantia física do empreendimento (MWmed). Para garantia física dos empreendimentos estudados são admitidas variações de até 10%, isto é, quando o índice de geração se apresenta abaixo de 90% a garantia física é reduzida e quando está acima de 110% é aumentada. Sendo assim, é considerada uma baixa geração aquela representada por índices inferiores à 0,9 enquanto uma alta geração é representada por índices superiores a 1,1 (MME, 2009).

A correlação foi analisada por meio do Coeficiente de Correlação de Pearson, de forma a verificar se uma modificação na variável X terá um impacto equivalente na variável Y medindo a associação linear entre ambas. Mais especificamente, a correlação

de Pearson é uma medida da variância comum entre duas variáveis (FIGUEIREDO FILHO e SILVA JÚNIOR, 2009).

## Resultados e discussão

Da amostra de 257 empreendimentos, trinta apresentaram um SPI baixo – menor do que -0,9 – em todos os anos e catorze desses também apresentaram um baixo índice de geração – EG/GF menor do que 0,9. A Figura 5 apresenta os coeficientes de correlação de Pearson para os 14 empreendimentos, onde mais da metade apresentaram coeficientes de correlação maiores que 70% e três apresentaram coeficientes nulos ou não positivos.

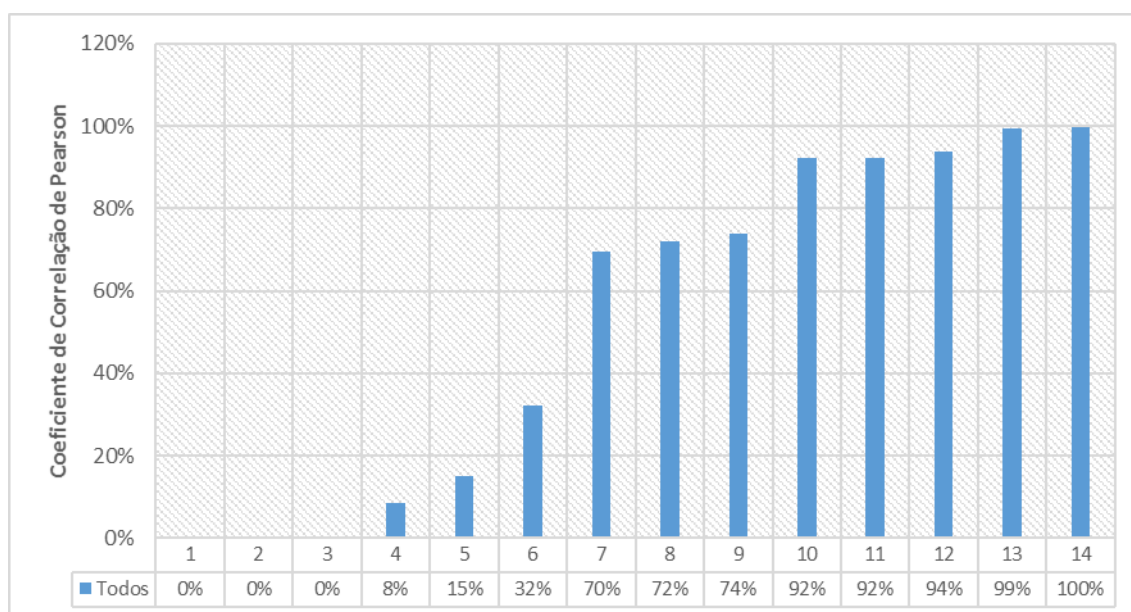


Figura 5. Empreendimentos com SPI e índice de geração baixos em todos os anos.

Ao analisar os anos separadamente, encontram-se 63 empreendimentos com SPI e índices de geração baixos no ano de 2012, aproximadamente 75% apresentaram correlação positiva e aproximadamente 55% destes possuem valores acima de 80%, conforme apresentado na Figura 6.



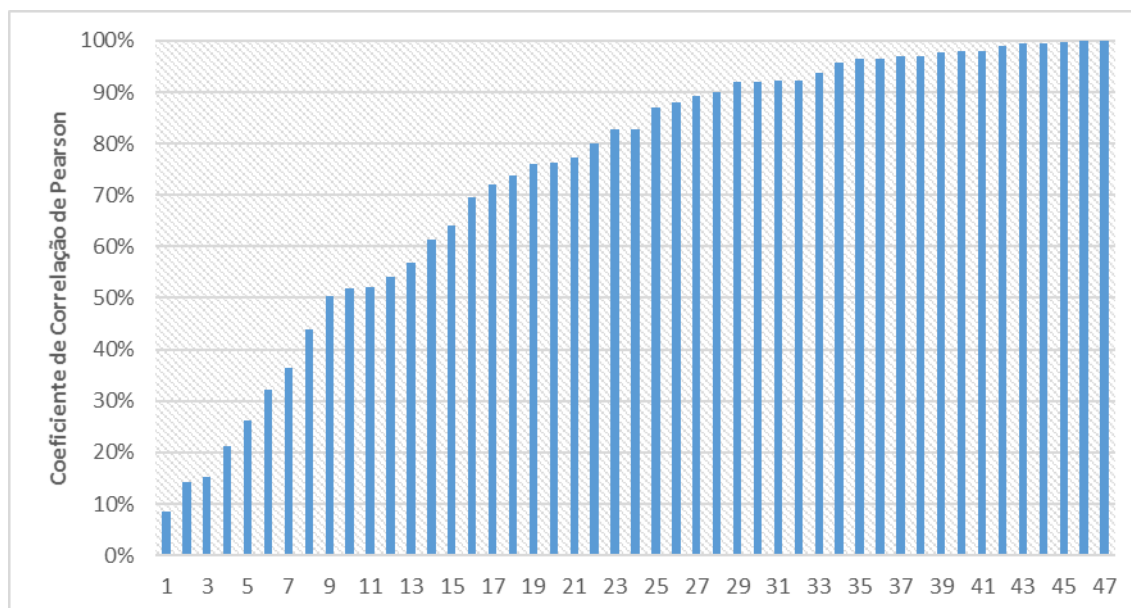


Figura 6. Coeficientes de correlação de Pearson para SPI e índice de geração baixos em 2012.

Em 2013, o SPI e o índice de geração foram coincidentemente baixos em 67 empreendimentos, assim como no ano anterior, aproximadamente 75% apresentaram correlação positiva, sendo que destes 60% apresentaram valores do coeficiente maiores que 80%.

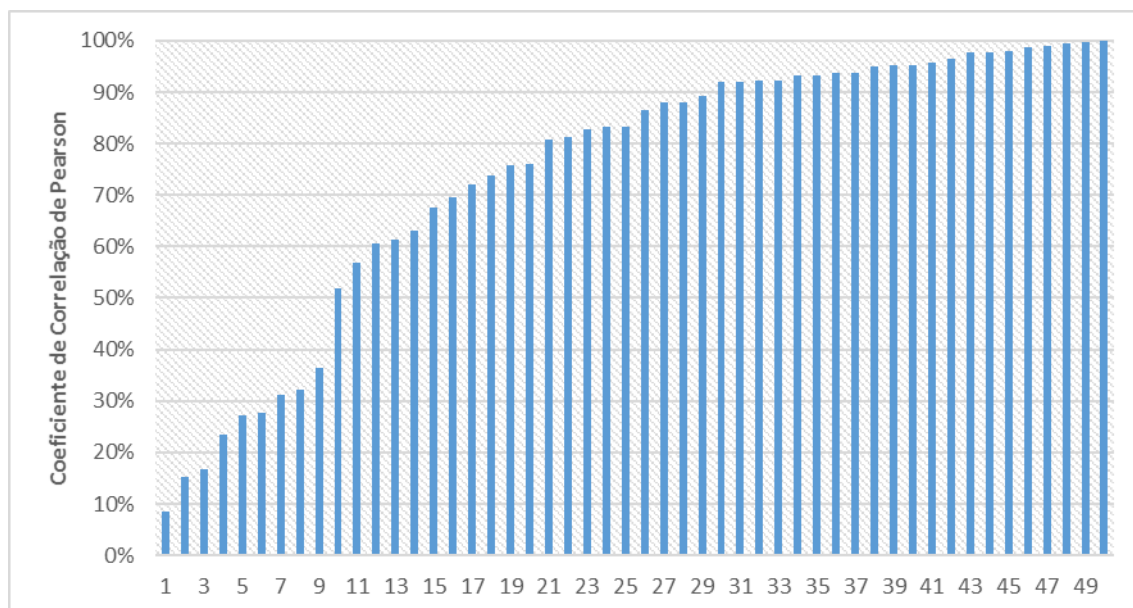


Figura 7. Coeficientes de correlação de Pearson para SPI e índice de geração baixos em 2013.

Em 2014, o SPI e o índice de geração foram coincidentemente baixos em 69 empreendimentos, mais de 78% apresentaram correlação positiva, sendo que destes, 46% apresentaram valores do coeficiente maiores que 80%.

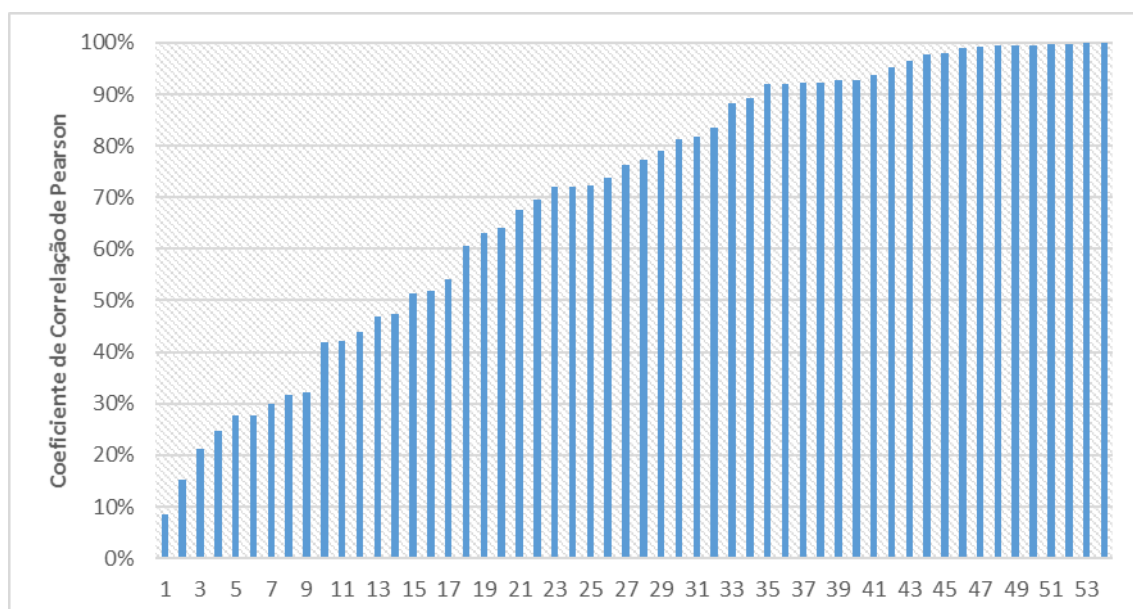


Figura 8. Coeficientes de correlação de Pearson para SPI e índice de geração baixos em 2014.

Nenhum empreendimento na amostra apresentou valores de SPI altos em todos os anos e poucos apresentaram em pelo menos um dos anos o SPI alto coincidentemente com o índice de geração alto. Embora a quantidade de empreendimentos seja pequena, totalizam-se 8 diferentes empreendimentos nos três anos avaliados, os coeficientes de correlação se apresentaram elevados, seis tiveram resultados acima de 85%.

Tabela 1. Empreendimentos com SPI e índice de geração altos nos anos de 2014, 2013 e 2012.

<b>2014</b>							
	<i>SPI 2012</i>	<i>SPI 2013</i>	<i>SPI 2014</i>	<i>EG/GF 2012</i>	<i>EG/GF 2013</i>	<i>EG/GF 2014</i>	<i>CORREL</i>
<b>1</b>	-0,015	-0,964	1,208	1,305	1,376	1,396	28%
<b>2</b>	0,111	-0,666	1,231	0,823	0,711	1,147	99%
<b>3</b>	0,111	-0,666	1,231	0,826	0,701	1,143	99%
<b>4</b>	0,485	-0,576	0,992	1,079	0,973	1,133	100%
<b>5</b>	-0,263	0,067	1,230	0,815	0,786	1,126	96%
<b>2013</b>							
	<i>SPI 2012</i>	<i>SPI 2013</i>	<i>SPI 2014</i>	<i>EG/GF 2012</i>	<i>EG/GF 2013</i>	<i>EG/GF 2014</i>	<i>CORREL</i>
<b>1</b>	-0,156	1,095	0,054	1,150	1,137	1,090	16%
<b>2</b>	-0,156	1,095	0,054	1,074	1,144	1,119	86%
<b>2012</b>							
	<i>SPI 2012</i>	<i>SPI 2013</i>	<i>SPI 2014</i>	<i>EG/GF 2012</i>	<i>EG/GF 2013</i>	<i>EG/GF 2014</i>	<i>CORREL</i>
<b>1</b>	1,243	-0,098	0,509	1,269	1,149	1,159	92%

## Conclusões

Observou-se correlações em sua maioria positivas entre o SPI baixo e a baixa geração das centrais, na maior parte, essas correlações apresentaram coeficientes altos.

Porém também foram observadas correlações negativas e valores médios e baixos do coeficiente de correlação de Pearson. Resultados mais expressivos poderiam ser obtidos com a disponibilidade de períodos maiores de dados do SPI para comparação com a geração.

Muitos fatores podem estar relacionados às divergências encontradas. Podem ser citados como exemplo: as chuvas que não geraram vazão para os empreendimentos devido às características do local, tais como impermeabilização do solo, assoreamento do rio, deplecionamento do lençol freático. Ou ainda, os empreendimentos que não geraram energia mesmo com condições de vazão devido às limitações inerentes do aproveitamento e indisponibilidades por falhas ou manutenção.

A pequena ocorrência de alta geração quando o SPI indica umidade acima da média também está relacionada à regularização das centrais hidrelétricas de pequeno porte. Operadas a “fio d’água”, isto é, sem capacidade de acumulação em reservatórios, essas centrais não utilizam toda a vazão disponibilizada em épocas com condições hidrológicas acima do normal, pois sua capacidade é limitada pela vazão máxima dos equipamentos hidráulicos.

## **Agradecimentos**

Os agradecimentos da equipe são dirigidos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e à Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo financiamento das bolsas de estudos dos autores.

## **Referências**

BENETI, C. A. A.; CALVETTI, L.; PEREIRA FILHO, A. J. **Estimativa da Precipitação por Radar e Pluviômetros na Região Metropolitana de Curitiba - Resultados Preliminares**. Congresso Brasileiro de Meteorologia. Foz do Iguaçu: CD-ROM. 2002. p. 11.

BRASIL. Decreto nº 5.163, 30 julho 2004.

FIGUEIREDO FILHO, D. B.; SILVA JÚNIOR, J. A. D. Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r). **Política Hoje**, v. 18, n. 1, p. 115-146, 2009.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M. Crise hídrica em São Paulo em 2014: seca e desmatamento. **Geosp – Espaço e Tempo (Online)**, São Paulo, v. 19, n. 3, p. 485-494, 2016. ISSN 2179-0892. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/geosp/article/view/100879>>.

MCKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. **The relationship of drought frequency and duration to time scales**. Eighth Conference on Applied Climatology. Anaheim, California: [s.n.]. 1993.

MME. Portaria nº 463. **Ministério de Minas de Energia**, 03 Dezembro 2009.

MOREIRA, I. A. **Modelagem hidrológica chuva-vazão com dados de radar e pluviômetros**. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2005.

PEREIRA FILHO, A. J.; CRAWFORD, K. C. **Integrating WSR-88D estimates and Oklahoma Mesonet measurements of rainfall accumulations: a statistical approach**. Conference on radar meteorology. Vail, Colorado: American Meteorological Society. 1995. p. 240.