

TENDÊNCIA DA CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DE ENERGIA HIDRÁULICA PARA REGIÃO DO BRASIL

UILSON RICARDO VENÂNCIO AIRES¹, JOSÉ DE OLIVEIRA MELO NETO², RUBENS JUNQUEIRA³, GUSTAVO ALVES PEREIRA⁴, CARLOS ROGÉRIO DE MELLO⁵

¹ Graduando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras, (35) 9161-2562, uvaires@gmail.com

² Doutorando Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, Departamento de Engenharia, UFLA, Lavras-MG.

³ Graduando Eng. Agrícola, Departamento de Engenharia, UFLA, Lavras-MG

⁴ Graduando Eng. Agrícola, Departamento de Engenharia, UFLA, Lavras-MG

⁵ Eng. Agrícola, Prof. Doutor, Departamento de Engenharia, UFLA, Lavras-MG

RESUMO: A produção de energia hidráulica se dá através da energia potencial da água contida em reservatórios que demandam de uma área extensa, além de alta tecnologia empregada na produção de energia. O objetivo deste trabalho foi verificar se há tendência de aumento ou redução no percentual dos reservatórios equivalentes e da potência gerada para as regiões Sudeste/Centro-Oeste, Sul, Norte e Nordeste do Brasil. Na análise foi empregado o teste de Mann-Kendall, utilizado para identificar tendências em séries de dados. O Teste considera, no caso de estabilidade da série temporal, que a sucessão de dados ocorre de forma independente seguindo um comportamento de uma série aleatória simples. Coeficiente positivo de Mann-Kendall indica crescimento da variável em estudo, enquanto que valores negativos indicam tendência de redução. O teste foi aplicado em uma série histórica mensal de percentual de reservatório equivalente e da potência gerada com período de observação de 18 anos para cada região. Constatou-se tendência de aumento da potência gerada em todas regiões exceto a região Nordeste que apresentou estabilidade na série. No tocante ao nível do reservatório equivalente, a região Sul apresentou tendência de aumento do nível enquanto as outras regiões apresentaram estabilidade na série.

PALAVRAS-CHAVE: Teste de Mann-Kendall, Potência gerada, Reservatório equivalente

TREND OF HYDRAULIC ENERGY PRODUCTION FOR BRAZILIAN REGIONS

ABSTRACT: Hydropower produced by potential energy of water contained in reservoirs requires a large area and advanced technology on energy production. The objective of the study was to analyze whether there was an increase or decrease in the percentage of equivalent reservoirs and the power generated the Southeast /Midwest, South, North and Northeast regions of Brazil. In the analysis, we used the Mann-Kendall test. This test identifies trends in datasets and considers the stability of the data over an extensive period of time, that occurs in independent succession following a trend in the simple random datasets. A Positive Mann-Kendall coefficient indicates a growth variable under study, while negative a value indicates a downward trend. The test was applied monthly datasets a percentage of the equivalent reservoir and power generated from an 18-year observation period for each region. A Power increase was found in all regions generated except the Northeast region remained stable in the series. With regard to the equivalent reservoir level, the South showed an increase while other regions remained stable in the datasets.

KEYWORDS: Mann-Kendall test, Generated power, Equivalent reservoir

INTRODUÇÃO: Em um cenário de alta competitividade global, diversos setores da economia dependem de ações de redução de custos, eficiência e produtividade. Neste contexto, o setor energético é fundamental, pois a energia é um dos insumos principais da cadeia produtiva, associado diretamente na composição dos custos de produção de produtos e serviços (LOPES, 2011). O sistema energético brasileiro caracteriza-se por ser hidrotérmico, sendo que há uma preponderância para a

energia hidroelétrica devido à alta disponibilidade hídrica do país e também ao seu custo de produção que é relativamente inferior as outras matrizes. A Capacidade instalada de geração de energia elétrica no Brasil é 126.743 MW, onde 64% deste total provem de hidroelétricas (EPE, 2014). A produção de energia hidráulica se dá através da energia potencial gravitacional da água contida em uma represa elevada, todo esse processo demanda uma área extensa, além de alta tecnologia e manutenção constante. Com isso, tem seu custo de produção elevado, mas ainda sim inferior à maioria das outras fontes disponíveis. No Brasil, existem dois tipos de centrais usinas hidrelétricas: a fio d'água e com reservatório de regulação. De acordo com Reis (2000), os aproveitamentos a fio d'água são aqueles que utilizam a vazão primária do rio, ou seja, não utiliza reservatórios, enquanto que com reservatório, há a garantia de energia durante quase todo tempo. Segundo Castro *et al.* (2009) as usinas hidrelétricas a fio d'água tendem a reduzir a produção energética nos períodos de seca, uma vez que está vinculada à afluência local do momento. Um dos principais problemas da produção de energia hidráulica é o impacto ambiental, a evolução do consumo de energia primária implica diferentes níveis de crescimento das emissões de CO₂ (TOMASQUIM *et al.*, 2007). Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a capacidade de armazenamento e produção de energia dos reservatórios equivalentes para cada região do Brasil e verificar se há tendências de aumento ou redução destas variáveis aplicando o teste de Mann Kendall.

MATERIAL E MÉTODOS: O estudo foi realizado a partir de séries de dados médios mensais de percentual de reservatório equivalente e produção de energia em GWh, nas regiões Sudeste/Centro Oeste, Nordeste, Norte e Sul. A análise de tendência compreendeu um período de 19 anos (1996 a 2014). Foi aplicado o teste de Mann-Kendall com nível de significância de 5% para a identificação de tendências de aumento ou redução do percentual de reservatório equivalente e produção de energia. Em uma série temporal de X_i de N termos (1 ≤ i ≤ N), o teste considera na soma t_n do número de termos m_i da série, relativos ao valor X_i cujos termos pertencentes (j < i) são inferiores aos mesmos (X_j < X_i), isto é:

$$t_n = \sum_{i=1}^n m_i \quad \text{equação 1}$$

Para séries com grande numero de termos (N), sob a hipótese nula (H₀) de ausência de tendência, t_n apresentará uma distribuição normal com média e variância:

$$E(t_n) = \frac{N(N-1)}{4} \quad \text{equação 2}$$

$$Var(t_n) = \frac{N(N-1)(2N+5)}{72} \quad \text{equação 3}$$

Testando a significância estatística de t_n para hipótese nula, esta pode ser rejeitada para grandes valores da estatística u(t) dada por:

$$u(t) = \frac{(t_n - E(t_n))}{\sqrt{Var(t_n)}} \quad \text{equação 4}$$

O valor da probabilidade α₁ é calculado por meio de uma Tabela da normal reduzida tal que:

$$\alpha_1 = \text{prob}(|u| > |u(t)|) \quad \text{equação 5}$$

A hipótese nula é rejeitada, ou não a um dado nível de significância α₀ se α₁ > α₀ ou α₁ < α₀, respectivamente. A hipótese nula é rejeitada quando existe uma tendência significativa na série, onde o sinal da estatística u(t) indica se a tendência é crescente (u(t) > 0) ou decrescente (u(t) < 0).

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Na Tabela 1, pode-se analisar os valores médios anuais em porcentagem dos reservatórios equivalentes e a potência gerada em GWh para cada mesorregião do Brasil.

Tabela 1 . Valores médios anuais em porcentagem dos reservatórios equivalentes e a potência gerada em GWh

Ano	Sudeste\Centro Oeste		Sul		Norte		Nordeste	
	Reservatório (%)	Potência (GWh)	Reservatório (%)	Potência (GWh)	Reservatório (%)	Potência (GWh)	Reservatório (%)	Potência (GWh)
1996	60,3	60301,3	85,4	7729,1	76,7	3426,8	47,1	10546,5
1997	76,7	77233,9	83,4	7549,4	92,0	4104,7	81,0	29644,7
1998	65,6	75975,8	91,4	8313,5	73,5	5725,2	62,9	23066,2
1999	48,7	56198,6	72,2	6542,4	63,0	4900,4	37,9	13867,1
2000	39,2	45620,4	58,6	5857,8	65,8	5142,5	49,1	18031,0
2001	28,1	32937,3	89,2	9504,4	56,4	4394,5	23,5	8608,5
2002	56,6	66455,8	78,4	8752,8	51,0	4256,0	43,8	16034,2
2003	60,8	75480,7	62,7	7029,6	56,6	4953,1	35,5	12890,5
2004	70,4	91310,1	72,1	8043,3	65,2	5638,5	73,9	27028,4
2005	74,6	97287,5	73,3	8491,8	71,2	6344,2	78,0	28851,0
2006	67,1	88645,0	45,3	5917,3	69,2	6221,5	75,6	28220,3
2007	72,0	99998,1	72,9	9881,2	67,9	6180,3	68,0	25778,7
2008	66,3	91940,0	63,9	8660,6	60,2	5451,0	58,8	22190,9
2009	74,7	104955,3	68,3	9298,4	70,1	6430,5	78,1	29780,6
2010	64,6	91178,6	79,8	10707,7	72,1	6496,9	60,4	22737,1
2011	73,0	106905,8	84,5	11535,1	73,9	6714,5	69,1	26237,0
2012	60,5	89035,4	50,2	7115,9	74,5	7259,3	59,3	22508,6
2013	51,7	76250,9	70,3	10222,6	69,1	7299,3	37,6	14227,6
2014	30,6	46553,2	65,1	9554,1	65,8	7247,2	31,3	12077,5

Na Figura 1, pode-se verificar a variação da potencia gerada em cada mesorregião do Brasil de 1996 a 2014.

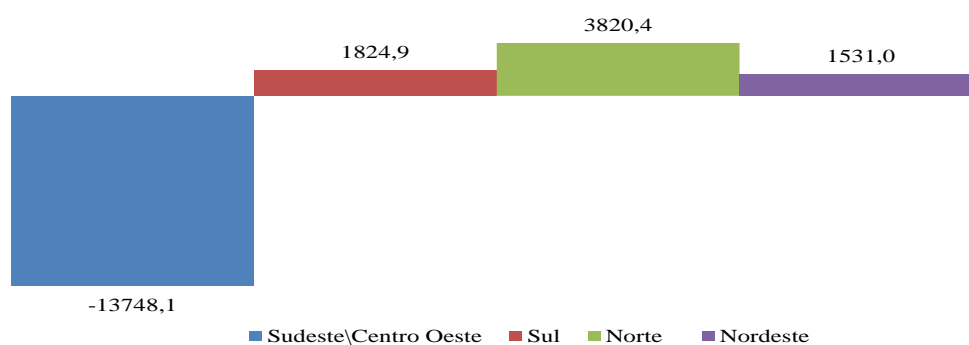


Figura 1. Variação da potência gerada para cada mesorregião do Brasil

Como pode ser observado, ocorreu um acréscimo na potência gerada nas regiões Sul, Norte e Nordeste, com destaque para a região Norte onde se concentram as áreas com maior potencial para produção de energia utilizando hidroelétricas. Por outro lado, observou-se uma redução na potência gerada na região Sudeste\Centro Oeste.

Na Figura 2, pode-se analisar a variação da porcentagem de reservatório equivalente entre 1996 a 2014.

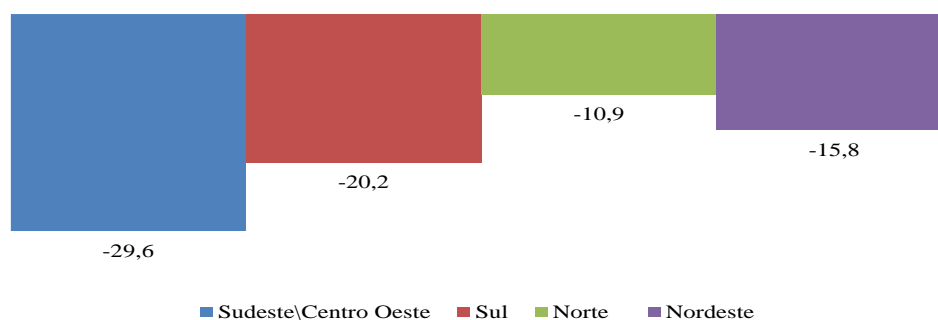


Figura 2. Variação da porcentagem do reservatório equivalente

Em relação à percentagem de reservatório equivalente, observou-se redução em todas as regiões de estudo, sendo que o maior valor observado encontra-se na região Sudeste\Centro Oeste. Os resultados da aplicação do teste de Mann Kendall podem ser verificados na Tabela 2.

Tabela 2. Resultados da aplicação do teste de Mann Kendall

Parâmetro	Sudeste\Centro Oeste		Sul		Norte		Nordeste	
	Reser. Equiv.	Pot. Gerada	Reser. Equiv.	Pot. Gerada	Reser. Equiv.	Pot. Gerada	Reser. Equiv.	Pot. Gerada
Tendência	-	Positiva	Negativa	Positiva	-	Positiva	-	-
Tau de Kendall	-0,021	0,205	-0,170	0,209	-0,047	0,268	-0,024	0,050
S	-531,000	5297,000	-4394,000	5407,000	-1212,000	6939,000	-628,000	1291,000
Var(S)	1325527,667	1325527,667	1325526,667	1325527,667	1325495,333	1325519,000	1325522,667	1325527,667
p-valor (bilateral)	0,645	< 0,0001	0,000	< 0,0001	0,293	< 0,0001	0,586	0,263
alfa	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05

Com a aplicação do teste, verificou-se que há tendências de aumento na potência gerada nas regiões Sudeste \Centro Oeste. Já para a região Nordeste não se verificou tendência, ou seja, a potencia gerada permanece estável. Para o percentual de reservatório equivalente, apenas a Região Sul apresentou uma tendência de aumento, para as demais regiões a percentagem de reservatório equivalente permanece estável.

CONCLUSÕES: Conclui-se que há uma tendência de aumento da potência gerada nas regiões Sudeste\Centro Oeste, Sul e Norte, enquanto que o percentual de reservatório equivalente tende a permanecer estável, apenas apresentando uma tendência de redução na região Sul do país.

REFERÊNCIAS

CASTRO, N. J.; BRANDÃO, R.; DANTAS, G. Considerações sobre a ampliação da geração complementar ao parque hídrico brasileiro. **Rio de Janeiro. Brasil, 2009.**

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Anuário estatístico de energia elétrica.** 2014. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/Anu%C3%A1rio%20Estat%C3%ADstico%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202014.pdf>>. Acesso em: 25 abr. 2015.

LOPES, Wagner Pernias. **Impactos na Produção de Energia nas Usinas Hidroelétricas do Rio Tietê em Decorrência do Transporte Hidroviário.** 2011. 200 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

REIS, L.B.; **Geração de energia elétrica.** PEA/EPUSP, 2000.

TOLMASQUIM, M. T.; GUERREIRO, A.; GORINI, R.. Matriz energética brasileira: uma prospectiva. **Novos estudos-CEBRAP**, n. 79, p. 47-69, 2007.