

ANÁLISE E INVESTIGAÇÃO DA CAPACIDADE INSTALADA DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL ATRAVÉS DE MODELO PARAMÉTRICO

ANALYSIS AND RESEARCH OF INSTALLED ELECTRIC POWER CAPACITY IN BRAZIL THROUGH PARAMETRIC MODEL

Andre Luiz Marques Serrano* E-mail: andrelms@unb.br
Lucas Oliveira Gomes Ferreira* E-mail: lucasoliveira@unb.br
Carlos Rosano Peña* E-mail: crosano@unb.br
Clovis Neumann* E-mail: clovisneumann@unb.br
*Universidade de Brasília (UNB), Distrito Federal, Brasília, Brasil.

Resumo: A presente pesquisa investiga a capacidade instalada de energia elétrica no Brasil, buscando um padrão de comportamento referente a essa temática, assim sendo, procura constatar se existe a necessidade de implementar melhorias ao processo produção. Analisou-se o desempenho por meio de algumas técnicas estatísticas recomendadas nos programas de qualidade, como medidas descritivas, gráficos e testes de hipóteses. Para tanto calculou-se os limites inferiores e superiores de controle para média e desvio padrão, verificou-se a normalidade e simetria. Os resultados mostraram que a capacidade instalada de energia das regiões brasileiras está relacionada ao desempenho e produção. Durante o período de 9 anos (2012-2020), não foi detectado um único ponto que se extrapola os limites de controle. Mesmo com a subjetividade envolvida no processo, os resultados encontrados indicaram a necessidade constante de monitoramento, fornecendo subsídios para melhoria do processo. Portanto, o controle estatístico de processo pode identificar aos distribuidores de energia se os geradores do sistema estão fornecendo e possuem a capacidade instalada com variáveis em estado de controle estatístico.

Palavras-chave: Controle estatístico paramétrico. Capacidade instalada. Eletricidade.

Abstract: The present research investigates the installed capacity of electric energy in Brazil, looking for a pattern of behavior regarding this theme, therefore, it seeks to verify if there is a need to implement improvements to the production process. Performance was analyzed using some statistical techniques recommended in quality programs, such as descriptive measures, graphs and hypothesis tests. For that, the lower and upper control limits were calculated for mean and standard deviation, normality and symmetry were verified. The results showed that the installed energy capacity of Brazilian regions is related to performance and production. During the 9-year period (2012-2020), not a single point was detected that exceeded the control limits. Even with the subjectivity involved in the process, the results found indicated the constant need for monitoring, providing subsidies for improving the process.

Keywords: Parametric statistical control. Installed capacity. Electricity.

1 INTRODUÇÃO

O setor energético possui grande influência na economia e na sociedade, e sua fonte predominante ainda é derivada da utilização de combustíveis minerais e fosseis. Diante a significativas mudanças climáticas, transformações no modo de gerar e consumir energia através da utilização de fontes renováveis e aprimoramento tecnológico tornam-se necessários para o desenvolvimento de uma nação. Destarte, considerando a importância econômica e social da produção energética no Brasil, iniciativas públicas e privadas foram fundamentais para o incremento e ampliação dessa matriz, com a viabilização de novos projetos, construções de novas unidades de produção, ampliação da capacidade instalada e por fim, a consolidação de órgãos vinculados ao segmento, com remates de planejamento e regulamentação. Conseqüentemente, tem-se aumentado a atenção na economia quanto ao parâmetro “capacidade instalada de energia elétrica”, o qual, esse critério se aplica a todas as usinas de geração energética e representa a maior quantidade de potência que uma usina pode fornecer (NICHOLLS, 2020; CRISTALDO & ORTEGA, 2009; AVILA *et. al*, 2021, SERRANO, FERREIRA, MENDES & NEUMANN, 2021).

De acordo com a literatura, capacidade instalada é definida como medida em MW (megawatts) e tem em seus projetos, usinas que se baseiam na capacidade instalada para dimensionar os equipamentos necessários para a sua produção. A nível de ilustração citamos que a soma da capacidade instalada de todas as usinas hidrelétricas do Brasil responde por aproximadamente 63% de toda matriz instalada no ano de 2020. Tem-se como exemplo as usinas hidrelétricas de Itaipu (14.000 MW), Belo Monte (11.233 MW) e Tucuruí (8.535 MW) que apresentam as maiores capacidades instaladas no Brasil. Deve-se compreender que este instrumento é utilizado para se referir à potência máxima que pode ser gerada por um certo combustível em determinado país ou região (ANEEL, 2020; SILVA *et. al*, 2021; EPE, 2021).

Com vistas a um nível de eficiência e qualidade é preciso o reconhecimento dos processos de produção que possibilita as organizações geradoras de energia decidirem o que fazer para atender as expectativas dos consumidores por meio de processos confiáveis e estáveis. Entretanto, considera-se essa eficiência como

sendo a máxima potência disponível, mas como inferido pelo Operador Nacional do Sistema - ONS, raramente uma usina fornece sua capacidade instalada, isso dado em função dos freios impostos pelo próprio sistema da ONS. Além disso, os processos de transformação de eletricidade têm perdas e paradas técnicas, o que também impedem que as usinas forneçam a sua potência máxima (PARMAR & DESHPANDE, 2014; SERRANO, FERREIRA, MENDES & NEUMANN, 2021; PORTILHO et al, 2021).

Nessa conformidade, o caminho pela excelência tem sido traçado por processos produtivos mais elaborados com redução de perdas operacionais. Com a busca incessante pela eficiência, tem-se a competência do processo, o qual deve reconhecer o nível de utilidade necessário para satisfazer as expectativas tanto dos consumidores quanto das firmas, com o propósito de maximizar a lucratividade. Contudo, um dos maiores desafios que as organizações que geram e distribuem energia possuem é a natureza dinâmica da qualidade, uma vez que os consumidores estão cada vez mais exigentes. Isso obriga as geradoras a serem inovadoras para manter a produtividade e competitividade, produzindo os insumos com a menor perda operacional possível e assim garantir a sobrevivência no mercado (BELISÁRIO, BAHIENSE & OLIVEIRA, 2003; VACCARO, MORAES, RICHTER, FINK & SCHERRER, 2011; PORTILHO, 2021; SERRANO, FERREIRA, MENDES & NEUMANN, 2021).

Dado o contexto apresentado, o Controle Estatístico de Processos (CEP) tem como objetivo discutir a utilização de uma abordagem estatística para analisar a capacidade instalada de energia elétrica no Brasil, o qual é considerado a melhor ferramenta de qualidade disponível para atender a demanda. Esta implementação deve estar ligada a medidas para quantificar a melhoria do processo. Com o objetivo de confirmação do CEP como ferramenta para a verificação de como a qualidade da capacidade instalada de energia do Brasil tem se comportado, buscou-se as cartas de Shewhart (1931) paramétricas via teste de postos sinalizados de Wilcoxon (SCHAEFFER, COHEN, ALMEIDA, ACHÃO, & CIMA, 2003).

Isto posto, de acordo com os valores reais de variáveis para produção energética até o ponto da potência máxima que pode ser gerado por um certo combustível foi averiguado os diferentes efeitos de cartas de controle paramétricas

aos dados. Assim, para este estudo, foram realizados testes paramétricos para os quais, os valores das variáveis estudados devem apresentar distribuição normal.

O texto desta pesquisa está estruturado em cinco seções, incluindo esta primeira, que introduz o trabalho. Na segunda seção é elaborada uma análise não exaustiva, porém abrangente do referencial teórico que trata do controle estatístico do processo e cartas de Shewhart (1931). Na terceira, tem-se a metodologia, onde são destacados os procedimentos adotados. Na quarta seção tem-se as análises do estudo. Por fim, na quinta seção, são apresentadas algumas conclusões gerais, resumindo os principais resultados do artigo. Ressalta-se que esta pesquisa visa contribuir para a qualificação do serviço prestado, focalizando o potencial de redução de custos dos níveis de produção sem redução dos padrões de qualidade estabelecidos.

2 A IMPORTANCIA DA QUALIDADE PARA O INCREMENTO DA PRODUTIVIDADE

Diante ao conceito de qualidade de produção, tem-se o processo de evolução constante das características dos produtos e serviços, o que pode propiciar dispêndios mais baixos e aumento da produtividade. Assim, para que um determinado produto na economia seja competitivo é necessário ter aplicabilidade da eficiência e uma despesa de produção menor, o que se obtém mediante controle de qualidade, que pode ser aplicado a todos os setores de uma empresa, indústria ou serviços (SUBBULAKSHMI *et. al*, 2017; ALMEIDA, AGUIAR & JUGEND, 2021; SANTOS, RODRIGUES, CARNIELLO, 2021; SERRANO, FERREIRA, MENDES & NEUMANN, 2021).

Por conseguinte, a partir do entendimento da aplicabilidade da qualidade em segmentos específicos na economia, dar-se-á a importância para o setor de produção energética. A energia, por sua vez, é considerada como um dos insumos mais relevantes para o desenvolvimento e crescimento econômico de uma nação. Nos dias atuais, o progresso de um Estado pode estar diretamente relacionado à flexibilidade da geração energética e da capacidade instalada. A disponibilidade deste bem implica modificações que se revertem em melhorias nas dimensões não apenas econômicas, mas também sociais, ambientais e institucionais (SHAEFFER, 2003; SUBBULAKSHMI, KACHIMOHIDEEN, SASIKUMAR, & BANGUSHA DEVI,

2017;).

2.1 Controle Estatístico aplicado a capacidade instalada

As técnicas estatísticas têm sido empregadas em várias áreas do conhecimento, visando à otimização de recursos econômicos e de processos produtivos, relacionados diretamente com o aumento da qualidade e da produtividade em pesquisas unidas pelo levantamento de amostragem. Desta forma, vale frisar que a fonte hidrelétrica tem sido a principal fonte de geração do sistema elétrico brasileiro por várias décadas, tanto pela sua competitividade econômica quanto pela abundância deste recurso a nível nacional. No caso do Brasil, dispõe-se de um sistema gerador com capacidade instalada de mais de 150 GW, com predominância hidrelétrica (PARMAR & DESHPANDE, 2014; ANEEL, 2021).

Essa predominância decorre da extensa superfície territorial do país, com muitos planaltos e rios caudalosos. O potencial hidrelétrico brasileiro é estimado em 172 GW, dos quais mais de 60% já foram aproveitados. Do potencial ainda não aproveitado, aproximadamente 70% estão localizados nas bacias hidrográficas Amazônica e Tocantins - Araguaia. Trata-se de uma tecnologia madura e confiável que, no contexto de maior preocupação com as emissões de gases de efeito estufa, apresenta a vantagem adicional de ser uma fonte renovável de geração de energia (ANEEL, 2020; EPE, 2021; SERRANO, FERREIRA, MENDES & NEUMANN, 2021).

Sob o ponto de vista da operação, usinas hidrelétricas são recursos flexíveis, capazes de prover uma série de serviços, como o controle automático de geração, controle de tensão e de frequência. Muitas hidrelétricas possuem reservatórios de acumulação, que permitem regularizar as vazões afluentes aos rios, transferindo água de períodos úmidos para secos e, em alguns casos, de anos úmidos para anos secos. Além disso, seus reservatórios podem promover diversos usos da água, tais como: controle de cheias, irrigação, processamento industrial, suprimento de água para consumo humano, recreação e serviços de navegação. Vale frisar que a capacidade de regularização dos reservatórios, face ao crescente sistema, vem diminuindo nos últimos anos, devido às notórias dificuldades em expandir os reservatórios (SANTOS, RODRIGUES, CARNIELLO, 2021).

Nesta perspectiva, a unidade de energia elétrica atualmente amplamente

utilizada é o kWh (quilowatt-hora) ou o MWh (megawatt-hora). São unidades usadas para indicar a "potência por unidade de tempo" que uma usina de geração de energia pode produzir em um tempo especificado. Essa produção de energia elétrica pode ocorrer por meio de diversas fontes de geração, dentre elas: termelétricas, eólicas, hidrelétricas, fotovoltaicas, termonucleares, entre outras. A potência instalada total do Brasil, como o nome diz, compõe o somatório da potência dos empreendimentos que geram energia elétrica de todas as fontes atualmente exploradas. O conhecimento da dispersão da capacidade instalada de geração no território nacional é um tema relevante. Assim, a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, disponibiliza a relação da “Capacidade Instalada por Unidade da Federação” do Brasil (ANEEL, 2020).

Cabe destacar que as usinas localizadas em divisas de estados são consideradas no total de capacidade do próprio estado. No caso desta pesquisa, segue a tabela abaixo demonstrando a capacidade instalada de energia em sua totalidade dentro das matrizes disponíveis para a geração deste insumo entre 2012 e 2020, considerando os dados agregados e a tabela 1 com os dados agregados mais regionalizados.

Tabela 1 - Capacidade instalada de geração elétrica no Brasil (MW)

(continua)

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	%
Total	120.975	126.743	133.913	140.858	150.338	157.112	164.503	170.118	174.737	100,0
Usinas Hidrelétricas	79.956	81.132	84.095	86.366	91.499	94.662	98.287	102.999	103.027	63,0
PCH	4.101	4.620	4.790	4.886	4.941	5.020	5.157	5.291	5.429	3,1
CGH	236	266	308	398	484	594	695	768	816	0,5
Gás Natural	11.439	12.300	12.550	12.428	12.965	12.980	13.359	13.385	14.927	8,5
Derivados de Petróleo	7.228	7.515	7.888	8.828	8.845	8.792	7.549	7.670	7.696	4,4
Carvão	2.304	3.389	3.389	3.389	3.389	3.324	2.858	3.228	3.203	1,8
Usinas Nucleares	2.007	1.990	1.990	1.990	1.990	1.990	1.990	1.990	1.990	1,1
Biomassa	9.771	11.449	12.183	13.069	13.913	14.289	14.569	14.703	15.011	8,6
Usinas Eólicas	1.894	2.202	4.888	7.633	10.124	12.283	15.378	15.378	17.131	9,8

Tabela 1 - Capacidade instalada de geração elétrica no Brasil (MW) (conclusão)

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	%
Solar	2	5	15	21	24	935	2.473	2.473	3.287	1,9
Outras	2.035	1.874	1.816	1.850	2.163	2.243	2.188	2.234	2.221	1,3

Fonte: Aneel 2021.

Entretanto, os dados são relevantes para a produção científica aplicadas em diferentes áreas de conhecimento, dentre elas estão ligadas ao processo de metalurgia, engenharias e outras. Nas indústrias é comum os engenheiros utilizarem técnicas estatísticas, tais como o controle estatístico de processos para acompanhar o controle da qualidade dos produtos dentro de um determinado nível de aceitação. Porém, existe um baixo quantitativo de publicações para o segmento referente a produção elétrica do que tange ao controle de qualidade. Desta forma, infere-se que esta temática representa uma grande área a ser explorada nos futuros trabalhos.

2.2 Uma breve discussão sobre qualidade aplicados ao setor elétrico

O Controle Estatístico de Processo (CEP) é uma abordagem de controle de qualidade baseada em métodos estatísticos com o objetivo de monitorar processos e assim proporcionar que eles estejam funcionando de maneira estável e eficiente, produzindo uma porcentagem maior de produtos e serviços em conformidade com menos desperdício. Esse método funciona como um mecanismo preventivo, em vez de ser corretivo, através da detecção de problemas antecipadamente (MONTGOMERY, 2009; SUBBULAKSHMI, KACHIMOHIDEEN, SASIKUMAR & BANGUSHA DEVI, 2017; SERRANO, FERREIRA, MENDES & NEUMANN, 2021).

Diversos estudos científicos implementaram diferentes ferramentas e técnicas estatísticas para melhorar os sistemas de produção em diferentes indústrias e setores, como construção, setor energético, saúde, manufatura e assim por diante. Neste interim, o CEP é definido como um sistema de controle de qualidade online que pode ser balizado como estratégia e métodos para melhorar os sistemas e seus resultados com base na teoria da variação devido a eventos de causa comum e especial, assim conforme relatado por Montgomery (2009), obtém-se uma redução da variabilidade do processo, permitindo monitoramento e estimação de parâmetros, cita-se ainda, a busca continua pela eficiência visando a redução de

problemas na produção e garantindo informações de diagnóstico (SUMAN & PRAJAPATI, 2018; SERRANO, FERREIRA, MENDES & NEUMANN, 2021).

Nessa correspondência, tem-se os eventos de causa comum e especial, os mesmos devem ser detectados e monitorados para trazer o processo de volta ao seu estado de controle. As organizações que são orientadas pelo CEP, alcançam níveis mais elevados de métricas de desempenho como um componente integral do sistema de gestão da qualidade. Deste modo, o nível de sucesso quanto a implementação do controle estatístico, depende do planejamento congruente das ações imediatas tomadas para resolver os problemas (AWAJ, SINGH, & AMEDIE, 2013; ALBLIWI, ANTONY, & ARSHED, 2015; SERRANO ET AL, 2021).

Destarte, tem-se assim uma ferramenta que permite uma organização avaliar e com isso reduzir sistematicamente a variabilidade de uma técnica, contribuindo para a melhoria contínua e garantindo resultados de alta confiabilidade. Isto posto, ele pode ser aplicado em todas as etapas do processo de produção e distribuição, podendo ser monitorado a qualidade e assim identificar as variáveis que agem negativamente desestabilizando os resultados esperados. Vale ressaltar que diversos pesquisadores não mencionam desvantagens na aplicação do controle estatístico, apenas salientam que o mecanismo deve ser bem implantado, pois o retorno financeiro que uma organização/firma será evidente e os efeitos colaterais serão praticamente imperceptíveis, sem esquecer que, a principal causa de insucesso na implantação de ferramentas estatísticas está ligada a execução de forma errada (SUBBULAKSHMI, et al., 2017).

Especificamente, o segmento energético, possui o entendimento de que o controle estatístico do processo pode ser o mecanismo de minimização de possíveis efeitos transversais, tanto na produção, quanto na distribuição deste insumo para outros segmentos da economia. Posto isto, verifica-se a necessidade da utilização das ferramentas da qualidade que garantirão a melhoria da capacidade produtiva em um setor econômico demandante de grandes investimentos tanto público quanto privado. Isto posto, as geradoras e distribuidoras de energia elétrica poderão analisar, controlar e melhorar seus processos para alcançar resultados comerciais excepcionais. A implementação contínua das ferramentas de qualidade possui efeito sobre o capital humano, pois eles se tornam mais capazes de pensar, gerar ideias,

planejar e resolver problemas. As ferramentas da qualidade possuem papéis significativos no monitoramento por meio da detecção e solução de problemas para qualquer sistema de produção a fim de atingir a excelência do desempenho organizacional (MONTGOMERY, 2009; ADINYIRA, AYARKWA, & AIDOO, 2014; NEYESTANI, 2017).

As proposições referentes aos dispositivos de qualidade podem ser implementadas com as ferramentas de gerenciamento em um aspecto integrativo. Essas ferramentas foram implementadas com intuito de reduzir os defeitos no processo. Por meio dessa efetivação, pode-se reduzir os defeitos gerais a um nível significativo. Conseqüentemente, um dos dispositivos mais importantes utilizados é o diagrama de causa e efeito, uma vez que ajuda a encontrar as causas dos defeitos e eliminá-los (MEMON ET AL, 2019).

Vale salientar que alguns desses dispositivos de qualidade podem ser usados sob diferentes fases de abordagem de seis sigmas (projetar, medir, analisar, melhorar e controlar) para otimizar processos com o intuito de se obter o melhor nível de qualidade. Tem-se também as cartas de controle como uma das ferramentas da qualidade que também são consideradas como ferramentas do framework seis sigmas que são utilizadas para o monitoramento da qualidade em todas as unidades organizacionais de forma extensiva. Neste interim, esses dispositivos auxiliam na melhoria do ambiente interno e externo quanto a geração e distribuição da energia voltados tanto para os consumidores quanto para as firmas e desta forma tem-se requisitos básicos para a adoção do Total Quality Management - TQM (MAGAR & SHINDE, 2014; GOHEL & SARKAR, 2017; LIM, PRIYONO, & MOHAMAD, 2019).

À vista disso, a busca pela melhoria da eficiência e autonomia da capacidade instalada de energia no Brasil, fez com que o país promovesse reformas estruturais em sua forma de operação, considerando a influência da doutrina do estado mínimo. Como resultado dessas reformas, os segmentos de geração, transmissão e distribuição de energia passam a ser separados, sendo administrados e operados por agentes distintos. Desta forma, teve como ideia predominante, que a livre concorrência poderia prevalecer onde fosse possível, relegando ao estado o papel da regulação onde necessário.

Deste modo, os segmentos de geração e distribuição foram caracterizados como segmentos competitivos, dada a existência de muitos agentes e pelo fato do insumo, a energia elétrica, ser homogêneo, como uma commodity. Por sua vez, o setor de transmissão da energia é considerado monopólio natural, pois sua estrutura física torna economicamente inviável a competição entre dois agentes em uma mesma área de concessão (o consumidor pagaria tarifas mais caras, fato esse que iria contra o conceito de modicidade tarifária). Já no que se refere a geração de energia elétrica, tem-se que ela é o segmento da indústria de eletricidade responsável por produzir energia elétrica e incorporá-la nos sistemas de transporte (transmissão e distribuição) para que chegue aos consumidores e as firmas (JOSKOW & SCHMALENSEE, 1983).

No caso Brasileiro, o segmento de geração é considerado pulverizado, contando com 7.250 empreendimentos geradores (ANEEL, 2020). Uma grande parte desses empreendimentos, 3.004, são usinas termelétricas de médio porte, movidas a gás natural, biomassa, óleo diesel, óleo combustível e carvão mineral. Apesar que, praticamente 64% da capacidade instalada no país são de origem hidrelétrica limpa, e que produzem 63% da energia gerada, contando com 217 empreendimentos de grande porte, 428 pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) e 696 micros usinas hidrelétricas (ANEEL, 2020; SERRANO ET AL, 2021).

No que diz respeito à distribuição de energia elétrica, tem-se que este é o segmento que exige maior esforço gerencial e concentra a maior parte das inovações em curso no setor elétrico. Este é caracterizado por um sistema de distribuição que consiste em uma rede física de transmissão de baixa voltagem, conectada a linhas de transmissão de alta voltagem ou diretamente a plantas geradoras. O segmento de distribuição faz a interface com os consumidores e representa o varejo do mercado cativo de energia elétrica, (JOSKOW & SCHMALENSEE, 1983).

Esse sistema é caracterizado por: i) cada sistema é uma unidade, geograficamente separada e delimitada pelas localidades servidas; ii) é composto por milhares de peças idênticas, arranjadas de maneira adequada aos aspectos de localização; iii) opera em ambientes restritivos; iv) tem contato direto e imediato com consumidores; vi) fornece multiprodutos em função das variações espaciais e

temporais de demanda e dos níveis de confiabilidade da energia fornecida; vii) apresenta características de monopólio natural devido à existência de economias de escala e especificidade de ativos (GODINA, MATIAS, & AZEVEDO, 2016).

Posto isto, a medida em que aumentam a demanda e amplitude geográfica da área atendida a empresa distribuidora auferem economias de escala nas ações necessárias para garantir estabilidade ao sistema. As principais medidas estão associadas ao uso de subestações, linhas de distribuição primária com voltagem mais elevada, manutenção de equipamentos, interconexões com rede de baixa e alta voltagem e redução de custos administrativos (Joskow & Schmalensee, 1983). Os avanços na área de tecnologias de informação e comunicação revelam-se estratégicos, principalmente nas atividades de monitoramento das flutuações de carga, divisões de comercialização e gerenciamento das operações.

2.3 Controle Estatístico de Processos: Cartas Paramétricas

O Controle Estatístico de Processos de Shewhart define que a média e a variância das variáveis seguem o comportamento de distribuições normais, e que as mesmas são independentes (RIBEIRO et al., 2018). Assim, tem-se x_i a matriz de dados observados no ano i , com p variáveis nas colunas e n_i observações nas linhas e $\mathbf{1}$ um vetor composto por n uns. Logo, $\hat{\mu}_i$ o vetor de médias do dia i e $\hat{\sigma}_i^2$ o vetor de variâncias do ano i :

$$\hat{\mu}_i = X_i^t \mathbf{1} \left(\frac{1}{n_i} \right) \quad (1)$$

Para os vetores de variâncias e desvio-padrão $\hat{\sigma}_i^2$ e $\hat{\sigma}_i$:

$$\hat{\sigma}_i^2 = \text{diag} \left(\frac{1}{n_i-1} \left[x_i^t x_i - \left(\frac{1}{x_i} \right) x_i^t x_i \right] \right); \quad (2)$$

$$\hat{\sigma}_i = \sqrt{\hat{\sigma}_i^2} \quad (3)$$

Sendo assim, a matriz de desvios-padrão $M\hat{\sigma}$ e o vetor de médias dos desvios-padrão $\hat{\sigma}_{med}$ são descritos por:

$$M\hat{\sigma} = [\hat{\sigma}_1; \hat{\sigma}_2; \hat{\sigma}_3; \hat{\sigma}_4; \dots \dots \hat{\sigma}_n]; \quad \hat{\sigma}_{med} = M\hat{\sigma} \mathbf{1} \left(\frac{1}{n_i} \right) \quad (4)$$

Posteriormente, depois de criado o vetor de constantes $d_3(n)$ e n_j :

$$d_3(n) = [d_3(n_1), d_3(n_2), \dots, d_3(n_n)]; \quad n_i = [n_1, n_2, \dots, n_n] \quad (5)$$

Concomitantemente, a matriz de limites inferiores de controle para média (LIC_{med}) e limites superiores de controle para a média (LSC_{med}) são verificadas da seguinte forma:

$$(LIC_{med}) = \hat{\mu}_i + \hat{\sigma}_{med} \oplus 1 * \left[\frac{z_{\alpha/2}}{d_3(n)\sqrt{n_i}} 1 \right]^t \quad (6)$$

$$(LSC_{med}) = \hat{\mu}_i - \hat{\sigma}_{med} \oplus 1 * \left[\frac{z_{\alpha/2}}{d_3(n)\sqrt{n_i}} 1 \right]^t \quad (7)$$

No que se refere aos limites inferior e superior de controle dos desvios-padrão, respectivamente (LIC_{dp}) e (LSC_{dp}), são encontrados da seguinte forma matricial:

$$(LSC_{dp}) = \hat{\mu}_i - \hat{\sigma}_{med} \oplus \left[\frac{z_{\alpha/2}}{d_3(n)\sqrt{n_i}} 1 \right]^t \quad (8)$$

$$; \quad (LIC_{dp}) = \hat{\sigma}_{med} - \hat{\sigma}_{med} z_{\alpha/2} \oplus 1 \sqrt{\left(\frac{1-d_3(n)}{d_3(n)} \right)} \quad (9)$$

Portanto, para as linhas centrais das cartas de controle para a variância, utiliza-se o vetor de variâncias médias $\hat{\sigma}_{med}$, e para os limites inferiores e superiores, considerando-se os tamanhos amostrais, tem-se as matrizes LIC_{DP} e LSC_{DP} , respectivamente. Assim, os pontos dos gráficos representam os valores médios e variâncias dos dados. A reta central representa a média da média e da variância. As probabilidades de ocorrerem valores acima do limite superior e abaixo do limite inferior das cartas são baixas. Então, sendo os dados independentes, uma tendência qualquer pode indicar alteração do sistema, assim como pontos fora dos limites de controle (RIBEIRO ET AL, 2018).

3 METODOLOGIA

Foram analisadas amostras anuais da capacidade instalada de energia elétrica no Brasil de acordo com as regiões (Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul) entre os anos de 2012 e 2020. Foi utilizado o software Minitab para tratamento dos dados e geração de gráficos de controle estatística.

Assim que a energia é gerada, informações sobre potência máxima podem ser computadas pelo operador nacional do sistema, para uma determinado região do país, retiradas uma amostra para análises das diferentes matrizes em meses aleatórios. Logo, o tamanho amostral (subgrupo racional) também variou mensalmente. Neste caso desbalanceado, as cartas de controle que devem possuir limite inferior de controle (LIC) e limite superior de controle (LSC) calculados conforme o tamanho amostral de cada mês. Como são cinco as regiões monitoradas, optou-se por uma abordagem por matrizes do CEP.

O processo foi considerado como estando na fase inicial (fase I). Contudo, é nessa fase que características que representam o processo são verificadas e é checado se essas variáveis estão sob controle estatístico. Caso não estejam, ações devem ser tomadas para corrigir o processo e novas análises devem ser realizadas para verificar se as ações foram suficientes para colocar o processo sob controle estatístico. Na fase I, cartas de controle de Shewhart são aconselhadas, pois são mais simples de serem feitas e são relativamente capazes de verificar grandes deslocamentos das variáveis. Portanto, cartas de controle de Shewhart, em sua abordagem paramétrica foram adotadas nesse trabalho (QIU, 2014).

A distribuição normal possui uma grande importância na Estatística, tanto na parte prática quanto teórica. Logo, se uma variável segue distribuição normal, mesmo que aproximadamente, a inferência sobre essa variável é facilmente realizada, e isso não é diferente para cartas de controle. No caso de controle de médias, se essas seguem distribuição normal, o que é previsto acontecer pelo teorema central do limite quando o tamanho amostral é grande o suficiente, cartas de controle via testes paramétricos devem ser preferidas, pois são mais sensíveis que os testes não paramétricos (QIU, 2014; RIBEIRO, ARAÚJO, FERREIRA, ZAMBONI, 2018).

No entanto, há vários casos em que a normalidade não pode ser assumida para certas variáveis. Nestes casos, vários autores informam que testes paramétricos não são confiáveis. Há indícios de que quando uma variável não segue uma distribuição normal e cartas de controle de Shewhart padrão são utilizadas, os intervalos entre paradas fora de controle (ARL0) ficam bem menores do que deveriam, o que equivale a dizer que muito esforço é gasto em momentos que o

processo está sob controle. Nestes casos, há vários métodos não paramétricos que podem ser utilizados. Caso as variáveis possuam simetria, uma forma de se delimitar LIC e LSC indicada é a soma de postos sinalizados (QIU, 2014).

Portanto, desenvolveram-se em operações matriciais limites superiores e inferiores de controle da média e desvio-padrão para cartas de controle Shewhart paramétrico e limites não paramétricos, ambas sensíveis ao tamanho amostral, sendo o primeiro indicado para variáveis que apresentem normalidade ou normalidade aproximada e o segundo para quando a distribuição da variável não foi verificada. Pelas dificuldades encontradas pelos autores na localização das fórmulas matriciais para os limites de controle por matrizes, elas foram definidas para fins de divulgação científica conforme o tópico 2.3 discutidos no referencial teórico.

4 RESULTADOS

Foram realizados testes de normalidade para os dados consolidados em um período de 9 anos para as regiões brasileiras (Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul), considerando o nível de significância de 5%, representados na Tabela 2. Para a simulação foi utilizado o teste de Shapiro-Wilk (S-W) baseado em Shapiro e Wilk (1965) que pode ser aplicado para amostras de tamanho $4 \leq n \leq 2.000$.

Desta forma, o teste de normalidade de S-W assume as seguintes hipóteses:

H0: a amostra provém de uma população com distribuição $N(\mu, \sigma)$;

H1: a amostra não provém de uma população com distribuição $N(\mu, \sigma)$.

Foi verificado na tabela 2 que, para algumas variáveis, os dados apresentaram valor-p acima do nível de significância considerado, o que é um indício de normalidade já esperado pelo teorema central do limite, sendo o tamanho amostral médio da amostra aproximadamente 480.

Pequenos valores de W_{cal} indicam que a distribuição da variável em estudo não é normal. Diferente da maioria das tabelas, essa tabela fornece os valores críticos de W_c tal que $P(W_{cal} < W_c) = \alpha$ (para um teste unilateral à esquerda), o que nos permite concluir, ao nível de confiança de 95%, que a amostra é obtida de uma população com distribuição normal. Para que a hipótese nula H0 seja rejeitada, o

valor da estatística W_{cal} deve pertencer à região crítica, isto é, $W_{cal} < W_c$; caso contrário, não rejeitamos H_0 . Assim, foi considerado para esta pesquisa, não rejeitar a hipótese nula (H_0), dado que, o P_{valor} encontrado, é maior que o nível de significância, ou seja, $P_v > 0,05$, conforme demonstrado no teste de normalidade apresentado na tabela a seguir.

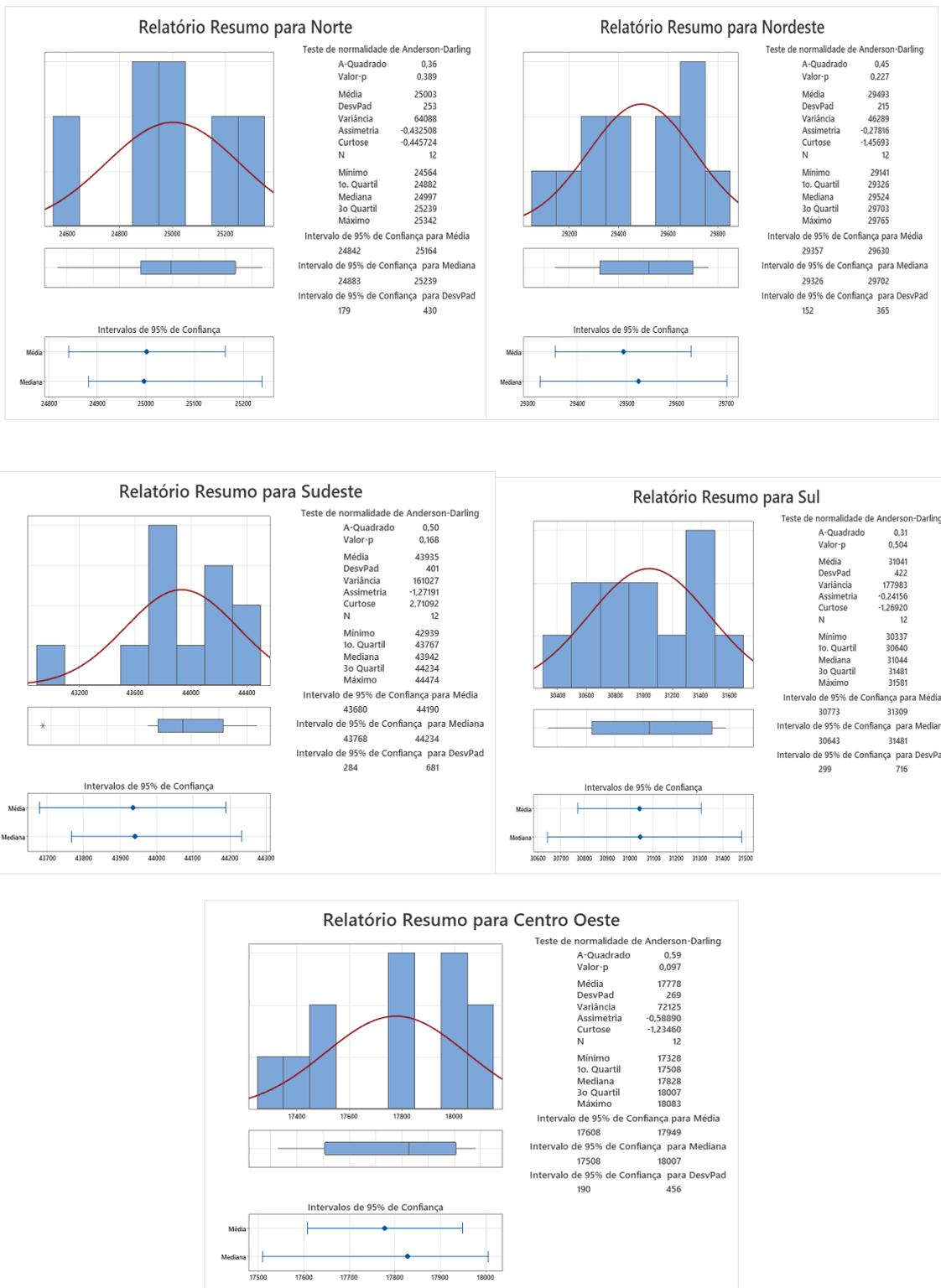
Tabela 2 – Teste de normalidade de Shapiro-Wilk

Variáveis	Obs	W	V	z	Prob>z
Região Norte	12	0.926	1.225	0.395	0.346
Região Nordeste	12	0.914	1.437	0.707	0.239
Região Sudeste	12	0.892	1.794	1.138	0.127
Região Sul	12	0.889	1.941	1.293	0.098
Região Centro Oeste	12	0.940	1.120	0.221	0.412

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Ademais, quanto à comprovação da normalidade a Figura 1 detalha o teste, distribuídos por regiões, norte, nordeste, sudeste, sul e centro oeste entre 2012 e 2020. Vale salientar que, um desvio padrão grande implica que os valores amostrais estão mais afastados da média, enquanto um desvio padrão pequeno indica que eles estão condensados próximos da média. Em poucas palavras, quanto maior o desvio padrão, menos homogênea é a amostra. Para evitar fragilidades, considerou-se a variabilidade dos dados tirando a influência da ordem de grandeza das variáveis, como mecanismo para minimizar inferências.

Figura 1 – Teste gráfico para comprovação da normalidade; pv>Ns



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

O coeficiente de assimetria foi utilizado para verificar se uma série de dados
 Revista Produção Online. Florianópolis, SC, v. 22, n. 1, p. 2570-2593, 2022

são simétricos. Na Tabela 3, estão valores absolutos do coeficiente de assimetria, em que valores próximos de zero são sinais de que os dados vêm de uma distribuição simétrica. A pressuposição de simetria não foi atendida por completo. Pode-se verificar que para todas as variáveis, pelo menos uma região apresentou valor absoluto do coeficiente de assimetria próximo a 1. Desta forma, Kurtosis e viés são “medidas de forma” na distribuição de uma série de dados.

A curtose e o viés são medidos na forma de uma série de dados aos quais uma distribuição de probabilidade é ajustada. Viés ou assimetria em uma distribuição de dados é uma medida em que os dados não são simétricos em relação à média. De acordo com Montgomery (2009) o valor da assimetria nos revela informações na maneira como os dados são distribuídos. Se o coeficiente de assimetria for zero, isso indica que os dados são perfeitamente simétricos, como a distribuição normal. Por outro lado, um viés positivo “+” indica assimetria para a direita, enquanto um valor negativo de assimetria “-” é um sinal de viés esquerdo.

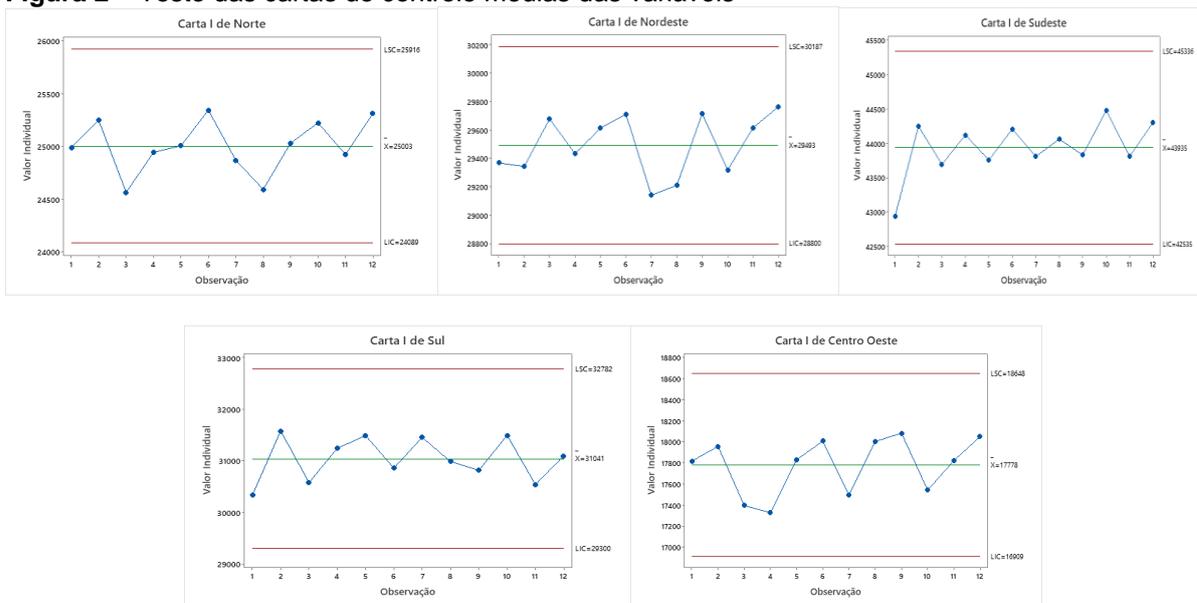
Tabela 3 – Teste de Kurtosis – Valores dos coeficientes de assimetria avaliados

Variáveis	Pr (Skewness)	Pr (Kurtosis)	adj chi2(2)	Prob >chi2
Região Norte	0.4801	0.8343	0.57	0.7528
Região Nordeste	0.6482	0.1194	3.15	0.2075
Região Sudeste	0.0487	0.0682	6.42	0.0404
Região Sul	0.3394	0.2313	2.78	0.2488
Região Oeste	0.6917	0.2113	2.0	0.3680

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

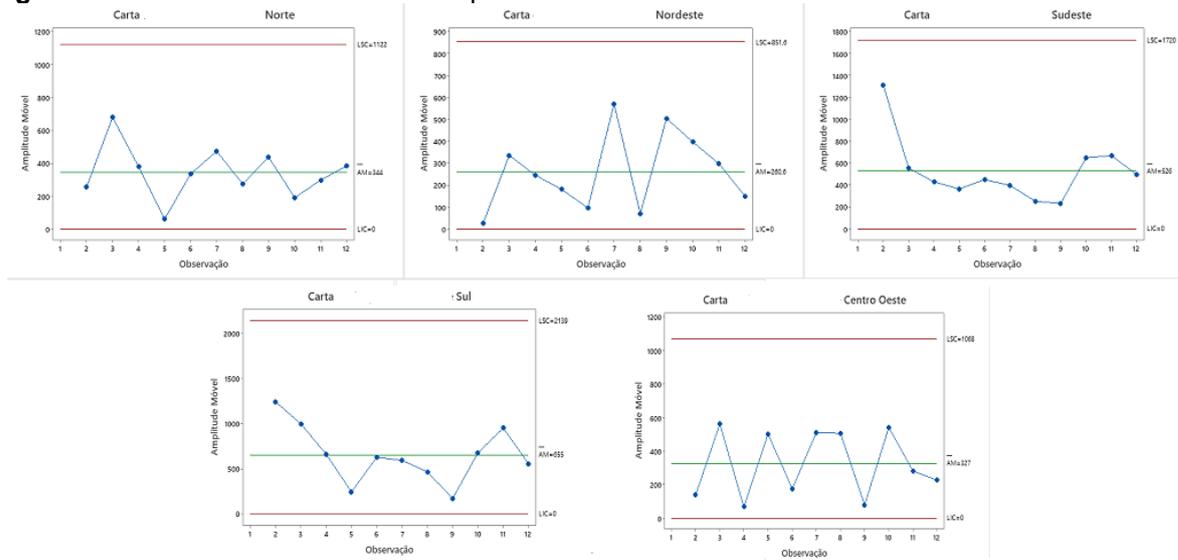
A Figura 2 apresenta as cartas de controle das médias das variáveis de interesse e Figura 3 para as cartas de controle de Desvios. Pode-se verificar na Figura, que aparentemente, todas as variáveis foram controladas.

Figura 2 – Teste das cartas de controle medias das variáveis



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Figura 3 – Teste das cartas de controle para os desvios



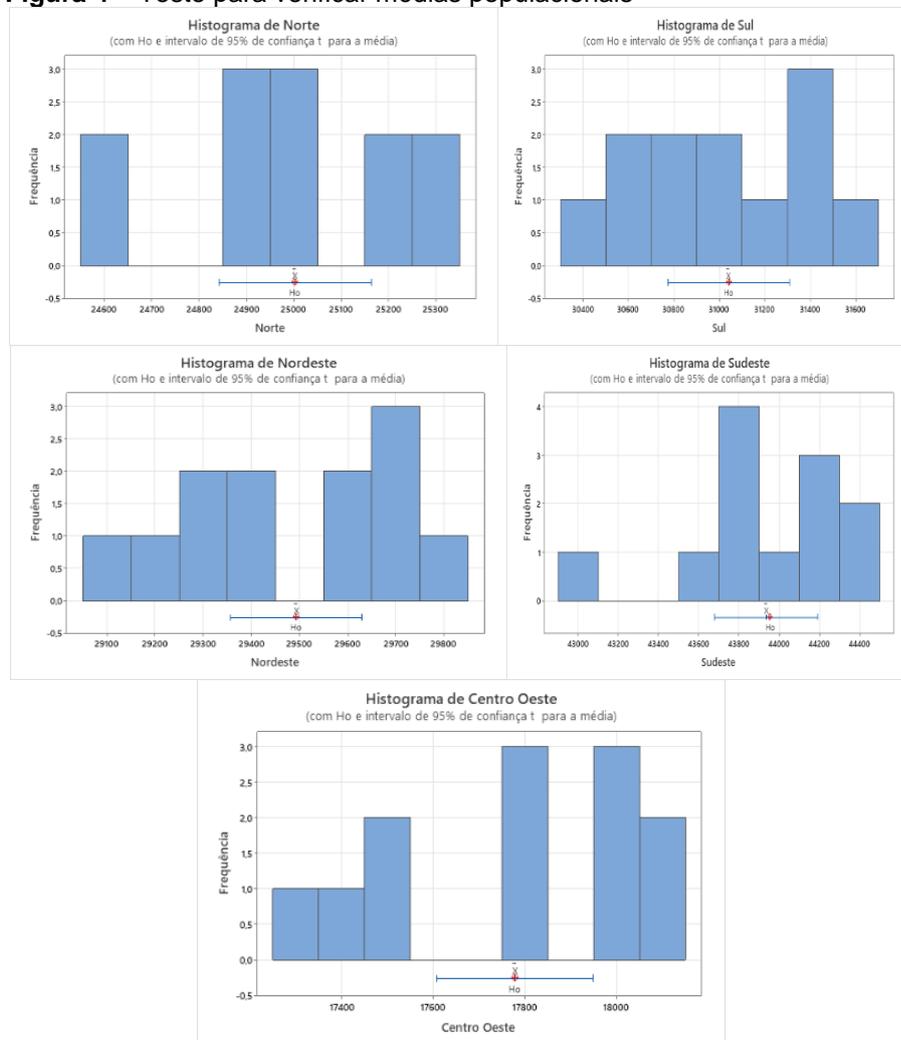
Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Portanto, para se verificar se as amostras provêm de médias populacionais iguais ou desiguais, faz-se um teste bilateral. Se o valor da estatística pertencer à região crítica, isto é, se $T_{cal} < -t_c$ ou $T_{cal} > t_c$, o teste oferece condições à rejeição da hipótese nula. Por outro lado, se $-t_c \leq T_{cal} \leq t_c$, não rejeitamos H_0 .

H_0 - a amostra provêm de médias populacionais iguais; $P_v > 0,05$

H_1 : a amostra provém de médias populacionais desiguais. $P_v < 0,05$
 A seguir, a Figura 4 apresenta os testes para confirmar médias populacionais.

Figura 4 – Teste para verificar médias populacionais



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Desse modo e de acordo com os resultados encontrados (como o p-valor Norte = 0,992; p-valor Nordeste = 0,995; p-valor Sudeste = 0,875; P p-valor valor Sul = 0,999; p-valor Centro-Oeste = 0,997), comprovamos que todas as regiões brasileiras apresentam médias populacionais semelhantes.

5 CONSIDERAÇÕES

Esta pesquisa investigou a capacidade instalada de energia elétrica no Brasil, bem como buscou encontrar um padrão de comportamento da capacidade instalada

que possibilitasse implementar ou propor melhorias e monitorar seus efeitos no processo de produção. Também analisou o desempenho de algumas técnicas estatísticas recomendadas nos programas de qualidade, entre as quais, medidas descritivas, diversos tipos de gráficos e testes de hipóteses, considerando-os satisfatórios.

Os resultados mostraram que a capacidade instalada de energia das regiões brasileiras está relacionada ao desempenho macroeconômico e a produção, desta maneira, o setor industrial mantém uma relação não só com a economia nacional, mas também com a economia mundial, em função dos segmentos exportadores. Os estudos prospectivos, inferem cenários de expansão de consumo energético. Desta maneira, o Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas – Ipea, projeta a necessidade da expansão da capacidade instalada de energia, influenciado pelas altas esperadas para a indústria, o comércio e os serviços no período analisado neste estudo, não considerando os efeitos da pandemia do Covid, impactando positivamente no resultado do produto Interno Bruto - PIB.

Mesmo assim, por influência dos meses durante o período de 9 anos (2012-2020), não foi detectado um único ponto que extrapola os limites de controle. No gráfico de controle valor individual e amplitude média, por exemplo, não foram encontrados valores que extrapolaram os limites de controle. Mesmo com a grande subjetividade envolvida no processo, os resultados encontrados indicam a necessidade constante de monitorá-los, fornecendo subsídios para melhoria do processo. Conclui-se com esse trabalho, que o controle estatístico de processo pode identificar aos distribuidores de energia se os geradores do sistema estão fornecendo e possuem a capacidade instalada energética com variáveis em estado de controle estatístico, para caso não esteja, possam tomar ações juntamente aos geradores, para fazer com que as variáveis que descrevem a capacidade instalada estejam em controle estatístico. Aqui foram utilizadas apenas cinco variáveis, região norte, região nordeste, região sudeste, região sul e região centro-oeste. Os autores sugerem a aplicação de cartas de controle como ferramenta para o controle capacidade instalada de energia elétrica no Brasil, aberto por regiões, sendo que se verificada a normalidade, a utilização de testes paramétricos deve ser preferida.

De acordo com Montgomery (2009), considera-se que os gráficos de controle

são ferramentas muito importantes para o CEP, que se fundamentam em uma ideia surpreendentemente simples: se for acompanhando as trilhas da produção, poderá ser visto como ele deve e não deve se comportar. Assim, considera-se que essas ideias extremamente simples, envolvidas nas atividades de monitoramento e controle, talvez tenham sido um dos fatores determinantes do sucesso do controle de qualidade. Embora tenham sido desenvolvidas muitas técnicas sofisticadas, o uso de procedimentos simples parece ter resultado satisfatório.

Convém salientar que, para atingir o objetivo de melhoria e controle da capacidade instalada é necessário que se considere essa qualidade sob um enfoque holístico, implementando ações do poder público e privado que busquem eficiência. Embora os gráficos de controle utilizados nesse estudo tenham sido considerados muito úteis, principalmente por sua simplicidade, o que poderia compensar alguma perda de eficiência, sugere-se como trabalho futuro a possibilidade de utilização de gráficos de somas acumuladas.

Por fim, os autores sugerem a aplicação de cartas de controle como ferramenta de controle da capacidade instalada de energia elétrica no Brasil, sendo que se verificada a normalidade, a utilização de testes paramétricos deve ser preferida, pois o teste é mais poderoso que o não paramétrico. Porém, se não for verificada a normalidade, as cartas de controle não paramétricas podem ser utilizadas, e a soma de postos sinalizados de Wilcoxon pode ser facilmente aplicada, caso haja simetria nos dados.

REFERÊNCIAS

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Geração distribuída**, 2021. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>. Acesso em: 01 set. 2022.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Sistema de Informação de geração de energia**. 2022. Disponível em: http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-528/BEN2020_sp.pdf. Acesso em: 01 set. 2022.

ALBLIWI, S. A.; ANTONY, J.; ARSHED, N. A critical assessment on spc Implementation in the UK Food Industry. *In*: PROCEEDINGS OF THE 19TH WORLD MULTI-CONFERENCE ON SYSTEMICS, CYBERNETICS AND INFORMATICS (p. 51-56), International Institute of Informatics and Systemics, 2015.

Revista Produção Online. Florianópolis, SC, v. 22, n. 1, p. 2570-2593, 2022

ADINYIRA, E.; AYARKWA, J.; AIDOO, I. Knowledge and Usage of the Seven Basic Quality Control Tools By Producers of Precast Concrete Products in Ghana. **Journal of Construction Project Management and Innovation**, v. 4 n. 2, p. 966-975, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.36615/jcpmi.v4i2.68>

ALMEIDA, G. Á.; AGUIAR, M. F.; JUGEND, D. Estímulos e barreiras para a economia circular no setor alimentício: uma revisão sistemática e de conteúdo. **Revista Produção Online**, v. 21, n. 3, p. 837-862, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v21i3.4321>

AVILA, P. U.; CAMPOS, L. C.; ABDOUNUR, O. J.; DIAS, J. A. S.; CASTANHO, M. A. P. Desenvolvimento de um kit didático para estudos de resistência dos materiais, com aplicação na engenharia de produção. **Revista Produção Online**, v. 21, n. 3, p. 794-817, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v21i3.4332>

AWAJ, Y. M.; SINGH, A. P.; AMEDIE, W. Y. Quality Improvement Using statistical process control tools in glass bottles manufacturing company. **International Journal for Quality Research**, v. 7, n.1, p.107-126, 2013.

BELISÁRIO, C. D.; BAHIENSE, D. A.; OLIVEIRA, G. M. Continuidade nos serviços de distribuição de energia elétrica. **Conjuntura & Planejamento**, v. 105, p. 36-40, 2003.

CRISTALDO, M. F.; ORTEGA, J. M. Análise econômico-financeira da utilização do GN em sistemas de cogeração aplicados a instalações prediais. **Revista Produção Online**, v. 9, n. 2, p. 230-242, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v9i2.268>

GODINA, R.; MATIAS, J. C.; AZEVEDO, S. G. Quality improvement with statistical process control in the automotive industry. **International Journal of Industrial Engineering and Management**, v. 7, n. 1, p.1-8, 2016. Disponível em: www.iim.ftn.uns.ac.rs/ijiem_journal.php

GOHEL, J.; SARKAR, D. Comparative study of cusum with v-mask and ewma control charts for strength monitoring of ready mixed concrete. **International Journal of Advanced Technology in Engineering and Science (IJATES)**, v. 5, n. 1, p. 63-71, 2017. Disponível em: http://ijates.com/images/short_pdf/1482814654_N166ijates.pdf

JOSKOW, P. L.; SCHMALENSEE, R. **Markets for Power**: An analysis of electric utility deregulation. Cambridge, MA: MIT Press, 1983.

LIM, S. A. H.; PRIYONO, A.; MOHAMAD, S. F. Introducing a Six Sigma Process Control Technique in a Food Production Line: Step-by-step Guideline and Critical Elements of the Implementation. *In*: IEEE 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL ENGINEERING AND APPLICATIONS (ICIEA) (pp. 338-342), 2019. IEEE. Disponível em: <http://doi.org/10.1109/IEA.2019.8715119>.

MAGAR, V. M.; SHINDE, V. B. Application of 7 quality control (7 QC) tools for continuous improvement of manufacturing processes. **International Journal of Engineering Research and General Science**, v. 2, n. 4, p. 364-371, 2014. Disponível em: <http://www.ijergs.org/files/documents/APPLICATION-45.pdf>

MEMON, I. A.; ALI, A.; MEMON, M. A.; RAJPUT, U. A.; ABRO, S. A. K.; MEMON, A. A. Controlling the Defects of Paint Shop using Seven Quality Control Tools in an Automotive Factory. **Engineering, Technology & Applied Science Research**, v. 9, n. 6, p.5062-5065, 2019. Disponível em: <http://doi.org/10.48084/etasr.3160>.

MONTGOMERY, D. C. **Introduction to Statistical Quality Control**, Sixth Edition. In: JOHN WILEY & SONS, INC, 2009.

NEYESTANI, B. Seven Basic Tools of Quality Control: The Appropriate Techniques for Solving Quality Problems in the Organizations. **SSRN Electronic Journal**, 2017. Disponível em: <http://doi.org/10.2139/ssrn.2947700>

NICHOLLS, J. A. Integrating Financial, Social and Environmental Accounting. **Sustainability Accounting, Management and Policy Journal**, v. 11, n. 4, p. 745-769, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/SAMPJ-01-2019-0030>

PARMAR, P. S.; DESHPANDE, V. A. Implementation of Statistical Process Control Techniques in Industry: **A Review. Journal of Emerging Technologies and Innovative Research**, v. 1, n. 6, p. 583-587, 2014. Disponível em: <http://www.jetir.org/papers/JETIR1406040.pdf>

PORTILHO, G. R.; FERREIRA, C. A. M.; PROENÇA, F. O.; LUCAS, V. H. S.; OLIVEIRA, M. C. F. A importância da estatística descritiva no setor de qualidade em uma empresa de garrafas plásticas. **Revista Mythos**, v. 15 n. 1, p.45-57. Disponível em: <http://doi.org/10.36674/mythos.v15i1.549>

QUI, P. **Introduction to statistical process control**. Boca raton, Florida: CRC 2014.

RIBEIRO, L. H. M. S.; ARAÚJO, T. G.; FERREIRA, E. B.; ZAMBONI, J. E. Parametric and non-parametric Statistical Process Control in a dairy industry. **Rev. Inst. Laticínios Cândido Tostes**, Juiz de Fora, v. 73, n. 3, p. 112-121, 2018. Disponível em: <http://doi.org/10.14295/2238-6416.v73i3.696>

SANTOS, R. M. D.; RODRIGUES, M. D. S.; CARNIELLO, M. F. Energia e sustentabilidade: panorama da matriz energética brasileira. **Revista Scientia**, v. 6, n. 1, p. 13-33, 2021. Disponível em: Disponível em: <https://www.revistas.uneb.br/index.php/scientia/article/view/9396>. Acesso em: 01 set. 2022.

SCHAEFFER, R.; COHEN, C.; ALMEIDA, M. A.; ACHÃO, C. C.; CIMA, F. M. **Energia e pobreza**: problemas de desenvolvimento energético e grupos sociais marginais em áreas rurais e urbanas do Brasil. Santiago: CEPAL, 2003.

SERRANO, A. L. M.; FERREIRA, L. O. G.; MENDES, N. C. F.; NEUMANN C. Installed electricity capacity in Brazil: a study from the statistical process control using Charter X and R. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n. 10, p. 101194-101218, 2021. Disponível em: <http://doi.org/10.34117/bjdv7n10-437>

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An Analysis of Variance Test for Normality **Biometrika**, v. 52, n. 3, p. 591-611, 1965. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/2333709>

SILVA, B. L. F.; SANTOS NETO, I.; FERNANDES, R. S.; BRANCO, N. C.; GUIMARÃES, G. V. Dimensionamento e viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico: um estudo de caso na UFRA/Parauapebas. **Revista Produção Online**, v. 21, n. 3, p. 863-890, 2021. Disponível em: <http://doi.org/10.14488/1676-1901.v21i4.4342>

SUBBULAKSHMI, S.; KACHIMOHIDEEN, A.; SASIKUMAR, R.; BANGUSHA DEVI, S. An Essential Role of Statistical Process Control in Industries. **International Journal of Statistics and Systems**, v. 12, n. 2, p. 355-362, 2017.

SUMAN, G.; PRAJAPATI, D. Control chart applications in healthcare: a literature review. **International Journal of Metrology and Quality Engineering**, v. 9, n. 5, 2018. Disponível em: <http://doi.org/10.1051/ijmqe/2018003>.

SHEWHART, W. A. **Economic Control of Quality of Manufactured Product**. New York: Van Nostrand, 1931.

VACCARO, G. L. R.; MORAES, C. A. M.; RICHTER, C.; FINK, D.; SCHERRER, T. O Processo de Inovação em Tríplice Hélice: uma Análise de Casos da Coréia do Sul. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO*, 80., **Anais [...]**, Porto Alegre, Brasil, v. 12, 2011.



Artigo recebido em: 13/01/2022 e aceito para publicação em: 19/12/2022
DOI: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v22i1.4549>