

**ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL, BIOMASSA E COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS:  
UMA ANÁLISE COMPARATIVA BASEADA NAS OPERAÇÕES REALIZADAS EM  
LEILÕES DA ANEEL**

**ELECTRIC ENERGY IN BRAZIL, BIOMASS AND FOSSIL FUELS: A  
COMPARATIVE ANALYSIS BASED ON ANEEL'S PUBLIC SALES OPERATIONS**

Carlos Roberto Souza Carmo<sup>1</sup>  
Fernando de Lima Caneppele<sup>2</sup>

**Resumo:**

Este estudo teve por objetivo realizar uma análise comparativa acerca dos resultados dos leilões em ambiente de contratação regulada da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), referentes a duas fontes específicas de geração da energia elétrica, ou seja, biomassa e combustíveis fósseis. Foram analisadas as variáveis referentes à quantidade de lotes de energia vendidos, montantes previstos de investimento a ser realizado pelas entidades vendedoras de energia nos respectivos projetos de geração energética, intervalo de tempo compreendido entre o ano da realização do leilão e o início do fornecimento da energia, potência contratada e a respectiva garantia física, e, ainda, o preço médio contratado por megawatt, de acordo com aquelas duas fontes de combustível, ao longo do período compreendido entre 2005 e 2017. Para tanto, foram utilizadas estatísticas descritivas, o teste não paramétrico de Wilcoxon-Mann-Whitney para amostras independentes e a análise de correlação. Entre outras evidências, foi possível conhecer quais estados detiveram os maiores volumes de operações e de investimentos envolvendo empreendimentos geradores de energia elétrica à base de biomassa e combustíveis fósseis; também foi possível constatar que o preço médio pago por megawatt de energia elétrica gerada a partir de combustíveis fósseis é estatisticamente maior que o valor pago pela energia elétrica gerada a partir de biomassa. Concluiu-se também que nenhuma das variáveis analisadas neste estudo apresentou correlação suficiente com o preço médio pago por megawatt de energia elétrica, quer seja pela energia produzida a partir de biomassa, quer seja pela energia gerada a partir de combustíveis fósseis.

**Palavras-chave:** matriz energética; diversificação; métodos quantitativos aplicados.

---

<sup>1</sup> Doutor em Agronomia com ênfase em Energia na Agricultura pela Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP) (2020). Mestre em Ciências Contábeis pela Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (PUC-SP) (2008). Especialização em Ciência de Dados e *Big Data Analytics* (2024). Especialização em *Data Mining* (2024). Especialização em Análise e Desenvolvimento de Sistemas em Python (2023). MBA em Controladoria e Finanças (2001). Bacharel em Ciências Contábeis (1999). Professor da Faculdade de Ciências Contábeis da Universidade Federal de Uberlândia (FACIC-UFU). e-mail: carlosjj2004@hotmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3806-9228>.

<sup>2</sup> Doutor em Agronomia - Energia na Agricultura pela Faculdade de Ciências Agrônômicas - UNESP/FCA (2011) e pós-doutorado pela UNESP (2018). Atua como professor responsável por disciplinas e orientador de mestrado e doutorado junto aos Programas de Pós-graduação em Agronomia - Energia na Agricultura e Agronomia - Irrigação e Drenagem na Faculdade de Ciências Agrônômicas - UNESP/FCA. Atua como professor dos cursos de graduação e pós-graduação da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo (USP/FZEA). e-mail: caneppele@usp.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4498-8682>.

**Abstract:**

The objective of this study was to conduct a comparative analysis concerning the results of public sales by means of regulated procurement contracts held by the National Electricity Agency (ANEEL), regarding to two specific sources of electricity generation – namely biomass and fossil fuels. The variables analyzed were the quantity of energy lots sold, the expected amounts of investment to be realized by the energy sales entities in the respective energy generation projects, the time interval between the year of the public sale and the beginning of the energy supply, contracted power and the respective physical warranty, as well as the average contracted price per megawatt, according to these two sources of fuel, during the period between 2005 and 2017. For this purpose, descriptive statistics were used, the no-parametric test of Wilcoxon-Mann-Whitney for independent samples and the correlation analysis. Among other evidences, it was possible to know which Brazilian states had the largest volumes of operations and investments involving generating electric energy undertakings based on biomass and fossil fuels; it was also possible to verify that the average price per megawatt of electricity generated from fossil fuels is statistically higher than the value paid for the electric energy generated from biomass. It was also concluded that none of the variables analyzed in this study showed a sufficient correlation with the average price per megawatt of electric energy, either by energy produced from biomass or by energy generated from fossil fuels.

**Keywords:** energy matrix; diversification; quantitative methods applied.

**1 Introdução**

Enquanto autarquia vinculada ao Ministério de Minas e Energia (MME) responsável por regular o setor elétrico brasileiro desde 1997, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) tem entre suas atribuições que promover a regulação dos processos de geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica no Brasil (Brasil, 1996; 1997).

Especificamente acerca do processo de comercialização da energia elétrica entre concessionários, permissionários e autorizados a sobre a exploração de outras atividades econômicas oriundas dos serviços e instalações dessa natureza, a comercialização de energia elétrica pode ocorrer a partir da livre negociação entre os compradores e vendedores, ou mediante a contratação regulada na modalidade de leilão (Guerra; Silva, 2017), segundo o que foi estabelecido pela legislação brasileira (Brasil, 2004) e é regulado pela ANEEL (2017).

Especificamente sobre os leilões promovidos pela ANEEL em ambiente de contratação regulada (ACR), observa-se que ele tem a finalidade de promover a contratação do fornecimento de energia elétrica ao menor preço possível, bem como, atrair investidores para construção de empreendimentos energéticos que permitam a expansão e a retenção da energia existente, entre outros objetivos. Sendo que, todas as informações mais relevantes sobre as contratações realizadas em ACR são de caráter público e estão disponibilizadas pela ANEEL (2018) em seu sítio de internet.

Nesse contexto, a partir de estatísticas descritivas e da análise de correlação, Carmo *et al.* (2018) realizaram uma pesquisa descritiva acerca do perfil dos leilões ocorridos em ACR ao longo do período compreendido entre 2005 e 2016, e, ainda, avaliaram como as variáveis referentes à quantidade de lotes de energia vendidos, montantes previstos de investimento a ser realizado pelas entidades vendedoras de energia nos respectivos projetos de geração energética, intervalo de tempo compreendido entre o ano da realização do leilão e o início do fornecimento da energia, potencia contratada e a respectiva garantia física, e, ainda, o preço médio contratado por megawatt (MW) poderiam estar correlacionados entre si.

Com vistas à continuidade da investigação realizada por Carmo *et al.* (2018), entretanto, em vez de analisar o perfil geral dos resultados leilões de energia elétrica ocorridos em ACR da ANEEL, o presente estudo teve por objetivo realizar uma análise comparativa entre os resultados dos leilões em ACR referentes a duas fontes específicas de geração da energia elétrica, ou seja, biomassa e combustíveis fósseis.

Além de avaliar como as variáveis referentes à quantidade de lotes de energia vendidos, montantes previstos de investimento, intervalo de tempo compreendido entre o ano da realização do leilão e o início do fornecimento da energia, potencia contratada e a respectiva garantia física, e, ainda, o preço médio contratado por megawatt (MW) poderiam estar correlacionados, tudo isso de forma comparativa entre aquelas fontes distintas de energia elétrica, este estudo buscou, também, avaliar se existem diferenças estatisticamente significativas entre os preços pagos por MW negociado no ACR, de acordo com as respectivas fontes de combustível, ao longo do período compreendido entre 2005 e 2017.

Dessa forma, além de abordar uma temática mais específica, ou seja, as variáveis referentes à energia elétrica produzida a partir de biomassa e combustíveis fósseis, este estudo ainda difere da abordagem utilizada por Carmo *et al.* (2018), que analisou os resultados gerais dos leilões como um todo, no que se refere ao recorte transversal no tempo. Ou seja, o recorte temporal utilizado nesta pesquisa contemplou as transações ocorridas nos leilões realizados de 2005 até 2017, portanto, um período a mais, sendo ele o mais recente (2017); o que pode contribuir ainda mais para o debate relacionado à produção e comercialização de energia elétrica no contexto brasileiro.

A justificativa para realização de um estudo dessa natureza, ou seja, a análise comparativa do perfil da comercialização de energia elétrica gerada a partir da utilização de duas fontes distintas (biomassa e combustíveis fósseis) reside nas inquietações oriundas das preocupações relacionadas à sustentabilidade econômica e ambiental, uma vez que “[...] a produção de energia de maneira sustentável passou a integrar a pauta das discussões e do

planejamento das economias em geral, de tal forma que a busca por fontes alternativas de energia tem ganhado cada vez mais espaço nessas discussões” (Carmo, 2018, p. 28).

Nesse sentido, inicialmente foi constituída a plataforma teórica sob a qual o estudo foi conduzido, originando-se a seção 2 deste artigo. Na sequência, deu-se início o processo de levantamento dos dados para a composição da amostra de pesquisa, além da identificação do método de análise empregado, conforme descrito na seção 3 do presente relato. Na seção 4, foi realizada a apresentação dos dados e resultados desta investigação. E, finalmente, na seção 5 deste artigo, foram realizadas as considerações finais acerca de todo esse processo de pesquisa e comunicação dos seus resultados, bem como, realizadas sugestões para a continuidade desse processo de investigação científica.

## 2 Referencial Teórico

Ao considerarem que “[...] o setor elétrico é a espinha dorsal para o desenvolvimento sustentável de qualquer país”, e, ainda, que “um setor mal planejado pode distorcer economias, gerar desincentivos e produzir externalidades negativas em qualquer mercado”, Lawson *et al.* (2017, p. 23) chamam atenção para necessidade e a criticidade envolvendo o planejamento adequado do setor energético, com vistas ao o desenvolvimento econômico de longo prazo e às demandas relacionadas às questões sociais e tecnológicas.

Lawson *et al.* (2017, p. 8) destacam que o setor de energia elétrica nacional apresenta “[...] forte dependência de grandes hidrelétricas”, sendo que, segundo esse autores, “o uso intensivo de energia hidrelétrica pode ser o mais econômico no curto prazo, no entanto, em caso de baixo volume de chuva, pode levar a um déficit de energia ou à necessidade de acionamento de térmicas mais caras no futuro, elevando o custo total da operação.” Contudo, “por outro lado, a decisão de armazenar a água dos reservatórios no presente, aliada a cenários de chuva intensa, pode levar ao vertimento de água, que em última análise significa o desperdício de um recurso barato” (Lawson *et al.*, 2017, p. 8).

No intuito de promover o planejamento e a execução de ações que permitissem o desenvolvimento sustentável e adequada regulação do setor de energia elétrica nacional, o Brasil buscou se estruturar de maneira estratégica desde meados da década de 90.

Nesse processo, foi criada “a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) para gerenciamento da comercialização, além disso, foi dada continuidade aos consumidores do tipo cativo e livre e novas regras também foram aplicadas” (Guerra; Silva, 2017, p. 49).

Segundo Guerra e Silva (2017), foram desenvolvidas duas esferas de comercialização de energia elétrica, o Ambiente de Contratação Livre (ACL) e Ambiente de Contratação Regulada (ACR). Ou seja, a contratação de energia elétrica que ocorre em ACL tem por

princípio a livre negociação entre os agentes vendedores e compradores (Guerra; Silva, 2017); por outro lado, no ACR a contratação ocorre mediante a realização de leilões promovidos pela CCEE, com regulação contratual realizada pela ANEEL (Guerra; Silva, 2017).

Guerra e Silva (2017) também destacam que no ACL os preços são definidos a partir da livre negociação, enquanto que, no ACR os preços são estabelecidos a partir de leilões e licitações com menor tarifa. Sendo que, a energia negociada a partir de leilões é destinada à cobertura do consumo atual, a partir de leilões de reserva, e também voltados para o consumo futuro, de acordo com previsões de demanda (Guerra; Silva, 2017).

Adicionalmente, as negociações de energia elétrica realizadas pela sistemática de leilões têm por estratégia reduzir o risco do empreendedor do segmento energético, uma vez que as contratações realizadas no ACR são de longo prazo, o que proporciona tempo suficiente para o retorno do capital investido (Guerra; Silva, 2017).

Diante do acentuado crescimento do consumo de energia no Brasil e levando-se em conta que as previsões para os próximos anos não permitem afirmar que esse crescimento tende a se atenuar, conforme estudos e dados no próprio Ministério de Minas e Energia brasileiro (Santos; Nascimento; Alves, 2017), e, mais ainda, considerando-se a possibilidade de aumentos futuros no custo do petróleo, como se viu há alguns anos atrás (Silva; Bortoli, 2018), torna-se urgente a busca por fontes energéticas alternativas e renováveis, em substituição ao uso dos combustíveis fósseis (Borges *et al.*, 2016; Santos; Nascimento; Alves, 2017; Silva; Bortoli, 2018).

Ao considerar que os combustíveis fósseis representam cerca de 50% a 60% das matrizes energéticas das principais nações mundiais, Delgado, Weiss e Silva (2018, p. 4) lembram que “a penetração do petróleo e dos hidrocarbonetos nas economias atuais, de uma forma geral, é altamente conhecida e relevante”.

Delgado, Weiss e Silva (2018) também reconhecem a necessidade de se diversificar as matrizes energéticas de uma forma em geral, mas, pelo menos a longo prazo, isto é, de 2050 a 2100, os combustíveis fósseis ainda ocuparão posição majoritária nas matrizes energéticas mundiais.

Diante dessa perceptível a preocupação em relação à necessidade de diversificação das matrizes energéticas, no Brasil, a partir de 2007 foram realizados os primeiros leilões em ACR com vistas à captação de energia elétrica gerada com uso de fontes alternativas de energia (Guerra; Silva, 2017).

A partir de então, além da biomassa, outras fontes renováveis passaram a ser incluídas na oferta de energia elétrica, compondo assim uma estratégia de longo prazo e de segurança

energética para a matriz elétrica brasileira, uma vez que o ingresso desse tipo de energia diminui a dependência das fontes predominantemente hidrelétricas (Guerra; Silva, 2017).

Especificamente sobre a energia elétrica produzida a partir do uso de biomassa e outras fontes renováveis de energia, Oliveira *et al.* (2018) realizaram um estudo em que se promoveu a avaliação técnica e econômica acerca do aproveitamento de energia solar, eólica e da energia produzida a partir da queima do bagaço da cana-de-açúcar.

Oliveira *et al.* (2018) detectaram que o custo específico da energia produzida a partir da biomassa de cana-de-açúcar (R\$0,27/kW-h) é quase 4 vezes (3,63) menor do que o da energia solar (R\$0,98/kW-h), porém, é 2,25 vezes mais elevado que o custo da energia eólica (R\$0,12/kW-h). Contudo, ao considerarem o elevado potencial produtivo do setor sucroenergético, Oliveira *et al.* (2018) destacam a viabilidade e a atratividade do uso desse tipo de matéria-prima para a produção de energia.

Na maioria das vezes, é comum relacionarem exclusivamente o bagaço da cana-de-açúcar à biomassa, contudo, isso é uma inverdade. O bagaço é biomassa mais utilizada, pelo menos em termos de volume, mas, não é a única. Por exemplo, ainda dentro do setor sucroenergético, a palha da cana, ou palhiço, também pode ser classificado como biomassa; no setor florestal, o cavaco (cascas de madeira) é um tipo de biomassa; na pecuária, certos resíduos animais também podem ser considerados biomassa (Santos; Nascimento; Alves, 2017). Ou seja, existe uma variedade de materiais que podem ser considerados como biomassa, e, portanto, alternativas viáveis para diversificação das matrizes energéticas mundiais e no processo de redução da dependências dos chamados combustíveis fósseis (Santos; Nascimento; Alves, 2017). Diante disso, torna-se relevante discutir e apresentar algumas definições relacionadas à biomassa.

Oliveira *et al.* (2018, p. 3) definem biomassa como “[...] qualquer matéria orgânica de origem vegetal ou animal com potencial para a produção de energia a partir de processos de combustão, excluindo-se quaisquer combustíveis de origem fóssil.” Percebe-se que, por exclusão, Oliveira *et al.* (2018) definem biomassa em função da sua origem.

Santos, Nascimento e Alves (2017, p. 6) afirmam que a biomassa “[...] pode ser caracterizada como qualquer matéria orgânica que possa ser transformada em energia térmica mecânica ou elétrica [...]”. Apesar da amplitude implícita nessa definição, Santos, Nascimento e Alves (2017, p. 7) vão além e agrupam os vários tipos de biomassa de acordo com sua finalidade energética, e acrescentam: “biomassa energética florestal, com seus produtos e subprodutos ou resíduos; biomassa energética agrícola, englobando as culturas agroenergéticas e os resíduos e subprodutos das atividades agrícolas, agroindustriais e da produção animal; e rejeitos urbanos.”

Santos, Nascimento e Alves (2017) explicam que devido à expressividade relacionada à sua disponibilidade, a biomassa mais conhecida no Brasil é aquela produzida a partir da cana-de-açúcar, o que poderia justificar aquela associação quase que exclusiva do bagaço da cana ao termo biomassa, conforme comentado anteriormente.

Do ponto de vista técnico, Santos, Nascimento e Alves (2017, p. 11) afirmam que, dentre outras, uma das grandes vantagens em relação à utilização da biomassa de cana na produção de energia elétrica está relacionada ao reduzido tempo de implantação da estrutura demandada para tal fim, isto é, “[...] em uma usina já efetivada, o processo de implantação da estrutura para cogeração de energia varia entre 12 e 24 meses)[...]”.

Outra definição igualmente interessante para o que pode ser caracterizado como biomassa foi apresentada por Borges *et al.* (2016, p. 31), isto é, a biomassa pode ser classificada em “biomassas modernas” e “biomassas tradicionais”. Para Borges *et al.* (2016, p. 31), “biomassas modernas compreendem os biocombustíveis (etanol e biodiesel), derivados do bagaço de cana-de-açúcar, da madeira de reflorestamento e de outras fontes, desde que aproveitadas de modo sustentáveis e com métodos tecnológicos eficientes e avançados [...]”; por outro lado, “[...]biomassas tradicionais são aquelas empregadas de maneira rústica, geralmente utilizada para suprir a classe residencial (aquecimento de ambientes e alimentação) em comunidades isoladas.”

Acerca dessa última definição apresentada por Borges *et al.* (2016), um ponto interessante merece destaque, isto é, a produção de energia a partir de biomassa pode ser a única alternativa viável no caso de comunidades isoladas, em função da indisponibilidade dos combustíveis fósseis. Outro fator relevante, é que a exploração econômica da produção energética mediante o uso da biomassa gera investimentos, empregos diretos e indiretos e, por consequência, promove inclusão social e desenvolvimento regional (BORGES *et al.*, 2016).

De uma maneira geral, é imprescindível buscar alternativas sustentáveis, ambiental e economicamente voltadas para a diversificação da matriz elétrico-energética, e, por consequência, reduzir gradativamente a dependências dos combustíveis fósseis, visto que, a independência de combustíveis dessa natureza é impraticável pelo menos a médio prazo. Nesse contexto, a energia elétrica produzida a partir da biomassa pode ser uma dessas alternativas. Por isso, a realização de estudos que busquem avaliar como o mercado de energia elétrica, ou parte dele (ACR), vem operando, pode contribuir para a compreensão e o debate relacionado ao atual estágio, e futuros estágios, do processo de diversificação da matriz elétrica nacional.

### 3 Metodologia

A partir de consultas realizadas no sítio de internet da ANEEL (2018), foram identificadas 1103 transações de leilões de energia elétrica registradas no seu relatório de leilões realizadas no ACR. Desse total, 112 operações se referiam a leilões de compra e venda de energia elétrica gerada a partir de biomassa e 66 operações geradas mediante o uso de combustíveis fósseis.

Foram classificadas como operações de compra e venda de energia elétrica gerada a partir de biomassa aquelas operações do relatório da ANEEL (2018) cuja fonte informada foi bagaço de cana-de-açúcar, cavaco de madeira, capim elefante, casca de arroz e resíduo sólido avícola.

Aquelas operações cujas fontes informadas foram óleo combustível, óleo diesel, gás natural, carvão mineral importado e nacional, foram classificadas como operações de compra e venda de energia elétrica gerada a partir de combustíveis fósseis.

Acerca das variáveis analisadas, foram levantadas as informações referentes à quantidade de lotes de energia vendidos (unidades), ao intervalo de tempo compreendido entre o ano da realização do leilão e o ano de início do fornecimento da energia (em unidades de anos), ao preço médio contratado por megawatt (R\$/MW), e, ainda, os montantes previstos de investimento a ser realizado pelas entidades vendedoras de energia elétrica nos respectivos projetos de geração energética (R\$).

Sendo que, diferentemente da investigação realizada por Carmo *et al.* (2018) cujas análises foram desenvolvidas com base em valores nominais, o presente estudo utilizou valores atualizados monetariamente a partir da taxa de câmbio (R\$/US\$) referente à média anual dos valores de compra do Dólar comercial americano, divulgada pelo Banco Central do Brasil (Boletim, Seção Balanço de Pagamentos) e disponibilizada no sítio de internet do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) (IPEADATA, 2018), conforme fatores detalhados no Quadro 1.

**Quadro 1** – Descrição dos fatores utilizados para atualização monetária das variáveis expressas em moeda (R\$)

| Ano  | Taxa de câmbio - R\$ / US\$ comercial compra - média anual <sup>(a)</sup> (R\$) <sup>(b)</sup> | Fator de atualização <sup>(c)</sup> |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| 2005 | 2,4344                                                                                         | 1,3109597                           |
| 2006 | 2,1753                                                                                         | 1,4670863                           |
| 2007 | 1,9471                                                                                         | 1,6390826                           |
| 2008 | 1,8338                                                                                         | 1,7403465                           |
| 2009 | 1,9968                                                                                         | 1,5982786                           |
| 2010 | 1,7594                                                                                         | 1,8139006                           |
| 2011 | 1,6742                                                                                         | 1,9062328                           |
| 2012 | 1,9540                                                                                         | 1,6332695                           |
| 2013 | 2,1570                                                                                         | 1,4795281                           |
| 2014 | 2,3529                                                                                         | 1,3563371                           |
| 2015 | 3,3309                                                                                         | 0,9581132                           |
| 2016 | 3,4895                                                                                         | 0,9145747                           |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |        |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|------------|
| 2017                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 3,1914 | 1, 0000000 |
| <b>Observações:</b><br>(a) Foi utilizada a taxa média anual devido ao fato das operações realizadas no ACR da ANEEL ocorrerem ao longo de meses diversos em cada ano.<br>(b) Os valores médios anuais estão expressos em Reais (R\$) na relação 1/1, ou seja, uma unidade de real (R\$1,00) para uma unidade de Dólar americano (US\$1,00) cotado aos valores de compra no mercado financeiro nacional.<br>(c) Qualquer fator de correção pode ser obtido a partir divisão da cotação média em Reais (R\$) de 2017 pela cotação média em Reais (R\$) do Dólar Americano em valores de compra em cada ano. |        |            |

**Fonte:** elaborado pelos autores a partir dos dados do IPEA (IPEADATA, 2018).

Nesse sentido, o processo de atualização dos valores históricos para moeda de poder aquisitivo de mesma data (R\$ de 2017) foi aplicado somente àquelas variáveis monetárias, portanto, expressas em R\$, ou seja, o preço médio contratado por megawatt (R\$/MW) e os montantes previstos de investimento a ser realizado pelas entidades vendedoras de energia nos respectivos projetos de geração energética (R\$).

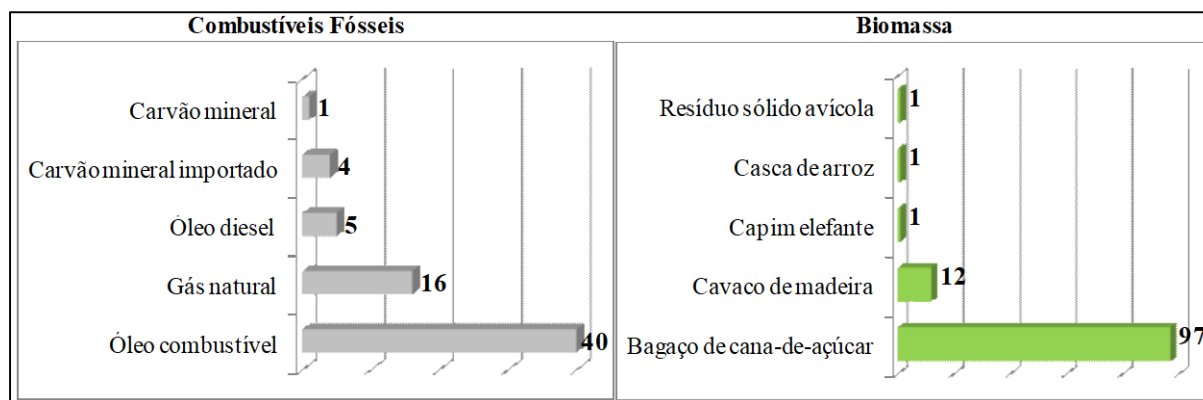
Em relação ao método de análise, para identificação do perfil das operações realizadas em ACR foram utilizadas estatísticas descritivas, apresentadas em tabelas e gráficos, com informações relacionadas à frequência absoluta e relativa, valores mínimos, máximos e totais somados, médias, medianas, desvio padrão e coeficiente de variação. Para avaliar a existência de diferenças significativas entre os preços pagos por MW negociado no ACR ao longo do período compreendido entre 2005 e 2017, de acordo com aquelas duas fontes utilizadas para a geração de energia elétrica no contexto nacional (biomassa *versus* combustíveis fósseis), foi utilizado o teste não paramétrico de Wilcoxon-Mann-Whitney para amostras independentes. A fim de avaliar uma possível correlação entre as variáveis analisadas, foi utilizado o coeficiente de correlação.

Diante do exposto, este estudo pode ser caracterizado como uma pesquisa qualitativa de natureza empírica baseada em métodos quantitativos aplicados.

#### 4 Análise dos Dados e Resultados

Ao iniciar o processo de análise dos dados referentes àquelas 66 operações referentes aos leilões de compra e venda de energia elétrica gerada a partir de combustíveis fósseis e àquelas 112 operações em que foi utilizada biomassa para a produção de energia elétrica, pôde-se perceber que o combustível fóssil predominante é o óleo combustível (60,60% ou 40/66x100) e a biomassa predominante é o bagaço de cana (86,61 ou 97/112x100), conforme detalhado no Gráfico 1.

**Gráfico 1** – Detalhamento da quantidade de leilões por fonte de geração de energia elétrica



**Fonte:** elaborado pelos autores com base nos dados da pesquisa.

Em relação ao intervalo de tempo entre o leilão e o início do fornecimento da energia elétrica gerada a partir da biomassa, as maiores frequências observadas dizem respeito aos prazos contratados de 3 e 5 anos, conforme pode ser visto na Tabela 1, o que, por sua vez, gerou um o intervalo médio de 3,63 anos, apurado com base em todas as observações dessa série de dados, independentemente da frequência em cada intervalo de tempo.

**Tabela 1** – Intervalo entre o leilão e o início do fornecimento da energia elétrica - Biomassa

| Períodos anuais | Frequências observadas |          |
|-----------------|------------------------|----------|
|                 | Absoluta               | Relativa |
| 2 anos          | 29                     | 26%      |
| 3 anos          | 36                     | 32%      |
| 4 anos          | 1                      | 1%       |
| 5 anos          | 40                     | 36%      |
| 6 anos          | 6                      | 5%       |
| Total           | 112                    | 100%     |

**Fonte:** elaborado pelos autores com base nos dados da pesquisa.

Já em relação à energia elétrica gerada a partir de combustíveis fósseis, os intervalos de tempo entre o leilão e o início do fornecimento da energia elétrica de maiores frequências observadas também dizem respeito aos prazos contratados de 3 e 5 anos, conforme pode ser visto na Tabela 2, o que produziu um o intervalo médio, apurado com base em todas as observações dessa série de dados independentemente da frequência em cada intervalo de tempo, maior que o intervalo média da biomassa, ou seja, 4,15 anos.

**Tabela 2** – Intervalo entre o leilão e o início do fornecimento da energia elétrica – Combustíveis fósseis

| Períodos anuais | Frequências observadas |          |
|-----------------|------------------------|----------|
|                 | Absoluta               | Relativa |
| 3 anos          | 29                     | 44%      |
| 5 anos          | 35                     | 53%      |
| 6 anos          | 2                      | 3%       |
| Total           | 66                     | 100%     |

**Fonte:** elaborado pelos autores com base nos dados da pesquisa.

Outra diferença que pôde ser notada é que nos leilões realizados em ACR para a compra de energia elétrica gerada a partir de combustíveis fósseis, não foram observadas contratações com prazos inferiores a 3 anos, o que não ocorreu no caso da biomassa cujas contratações com prazo de 2 anos representaram mais de um quarto do total (26%).

Essa evidência demonstra a flexibilidade e agilidade dos empreendimentos energéticos voltados para a produção de energia elétrica a partir de biomassa, corroborando com o que afirmaram Santos, Nascimento e Alves (2017) acerca do reduzido tempo de implantação desse tipo de empreendimento, ou seja, “[...] em uma usina já efetivada, o processo de implantação da estrutura para cogeração de energia varia entre 12 e 24 meses [...]” (Santos; Nascimento; Alves, 2017, p. 11).

Em relação à distribuição das operações contratadas em ACR por locais de instalação dos empreendimentos voltados para a geração de energia elétrica produzida a partir de biomassa, observou-se que mais de 50% delas ( $36\%+16\%=52\%$ ) ocorreram com empreendimentos localizados nos estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul. Sendo que, a quantidade de operações com empreendimentos instalados no estado de São Paulo (40) é mais que duas vezes maior ( $222\%$  ou  $18/40 \times 100$ ) que o número de operações com empreendimentos do estado do Mato Grosso do Sul (18), conforme demonstrado na Tabela 3.

**Tabela 3** – Distribuição das operações por locais dos empreendimentos de geração de energia elétrica - Biomassa

| Locais | Frequências observadas |          |
|--------|------------------------|----------|
|        | Absoluta               | Relativa |
| SP     | 40                     | 36%      |
| MS     | 18                     | 16%      |
| GO     | 15                     | 13%      |
| MG     | 10                     | 9%       |
| RN     | 5                      | 4%       |
| SC     | 4                      | 4%       |
| MT     | 3                      | 3%       |
| PI     | 3                      | 3%       |
| AP     | 2                      | 2%       |
| BA     | 2                      | 2%       |
| PE     | 2                      | 2%       |
| AC     | 1                      | 1%       |
| CE     | 1                      | 1%       |
| PA     | 1                      | 1%       |
| PB     | 1                      | 1%       |
| PR     | 1                      | 1%       |
| RJ     | 1                      | 1%       |
| RR     | 1                      | 1%       |
| TO     | 1                      | 1%       |
| Brasil | 112                    | 100%     |

**Fonte:** elaborado pelos autores com base nos dados da pesquisa.

Em relação à distribuição das operações por locais de instalação dos empreendimentos geradores de energia elétrica à base de combustíveis fósseis, pôde-se observar que as diferenças não são tão elevadas como aconteceu no caso da biomassa. Ou seja, o estado Bahia vem à frente com 26% do total, seguido pelos estados Pernambuco, Espírito Santo, Ceará e Goiás, conforme pode ser observado na Tabela 4. Contudo, essa distância da Bahia em relação aos demais estados não é tão grande como ocorreu no caso das operações realizadas em ACR com empreendimentos energéticos à base de biomassa.

**Tabela 4** – Distribuição das operações por locais dos empreendimentos de geração de energia elétrica – Combustíveis fósseis

| Locais | Frequências observadas |          |
|--------|------------------------|----------|
|        | Absoluta               | Relativa |
| BA     | 17                     | 26%      |
| PE     | 11                     | 17%      |
| ES     | 9                      | 14%      |
| CE     | 7                      | 11%      |
| GO     | 3                      | 5%       |
| PB     | 3                      | 5%       |
| RN     | 3                      | 5%       |
| RS     | 3                      | 5%       |
| AL     | 2                      | 3%       |
| MA     | 2                      | 3%       |
| TO     | 2                      | 3%       |
| AM     | 1                      | 2%       |
| RJ     | 1                      | 2%       |
| SC     | 1                      | 2%       |
| SE     | 1                      | 2%       |
| Brasil | 66                     | 100%     |

**Fonte:** elaborado pelos autores com base nos dados da pesquisa.

Uma evidência interessante em relação às distribuições das operações por locais dos empreendimentos de geração de energia é que, salvo pelo estado de Goiás que figura entre as cinco primeiras posições em ambas as análises/fontes, não houve nenhum outro caso em que os cinco estados que mais realizaram operações de contratação de energia elétrica de uma fonte estivessem entre os cinco primeiros estados de outra fonte.

Isso pode indicar certo grau de “clusterização” (agrupamento) nos dados analisados, uma vez que, nas cinco primeiras posições de cada análise, excluído o estado de Goiás, encontram-se quase 70% das observações. Isto é, mais precisamente, 69% no caso da biomassa (36% de SP, 16% de MT, 9% de MG, 4% do RN) e 68% no caso dos combustíveis fósseis (26% da BA, 17% de PE, 14% do ES, 11% do CE). Esse achado pode ser um indício da existência de um expressivo nível de especialização bem definido por parte dos empreendimentos operando em ACR.

Conforme pode ser visto na Tabela 5, na distribuição dos montantes de investimentos previstos pelos empreendimentos de geração de energia elétrica a partir de biomassa, chamou atenção o fato do estado do Acre só ter realizado uma operação em ACR ao longo do período analisado.

**Tabela 5** – Distribuição das operações a partir dos montantes de investimentos previstos para os empreendimentos de geração de energia elétrica - Biomassa

| Locais | Valores observados |                   |                   |                    |
|--------|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
|        | Mínimo             | Média             | Máximo            | Soma               |
| SP     | R\$ 7.128.629      | R\$ 202.977.871   | R\$ 599.890.486   | R\$ 8.119.114.845  |
| MS     | R\$ 86.871.378     | R\$ 255.990.739   | R\$ 1.167.724.864 | R\$ 4.607.833.304  |
| GO     | R\$ 61.035.170     | R\$ 196.873.860   | R\$ 317.754.209   | R\$ 2.953.107.894  |
| MG     | R\$ 40.690.113     | R\$ 151.972.694   | R\$ 245.388.860   | R\$ 1.519.726.944  |
| AC     | R\$ 1.167.724.864  | R\$ 1.167.724.864 | R\$ 1.167.724.864 | R\$ 1.167.724.864  |
| PI     | R\$ 43.996.557     | R\$ 305.009.823   | R\$ 694.500.864   | R\$ 915.029.470    |
| BA     | R\$ 56.813.880     | R\$ 395.631.002   | R\$ 734.448.123   | R\$ 791.262.004    |
| RN     | R\$ 17.756.000     | R\$ 91.966.712    | R\$ 180.060.000   | R\$ 459.833.559    |
| MT     | R\$ 20.499.882     | R\$ 117.845.592   | R\$ 167.699.791   | R\$ 353.536.776    |
| PE     | R\$ 51.350.000     | R\$ 159.385.826   | R\$ 267.421.652   | R\$ 318.771.652    |
| TO     | R\$ 295.123.437    | R\$ 295.123.437   | R\$ 295.123.437   | R\$ 295.123.437    |
| AP     | R\$ 91.368.193     | R\$ 115.994.096   | R\$ 140.619.999   | R\$ 231.988.192    |
| PA     | R\$ 220.833.325    | R\$ 220.833.325   | R\$ 220.833.325   | R\$ 220.833.325    |
| SC     | R\$ 20.019.966     | R\$ 51.548.538    | R\$ 89.207.620    | R\$ 206.194.153    |
| RR     | R\$ 105.772.170    | R\$ 105.772.170   | R\$ 105.772.170   | R\$ 105.772.170    |
| RJ     | R\$ 80.870.000     | R\$ 80.870.000    | R\$ 80.870.000    | R\$ 80.870.000     |
| CE     | R\$ 67.067.922     | R\$ 67.067.922    | R\$ 67.067.922    | R\$ 67.067.922     |
| PB     | R\$ 44.160.000     | R\$ 44.160.000    | R\$ 44.160.000    | R\$ 44.160.000     |
| PR     | R\$ 24.122.823     | R\$ 24.122.823    | R\$ 24.122.823    | R\$ 24.122.823     |
| Brasil | R\$ 7.128.629      | R\$ 213.203.752   | R\$ 1.167.724.864 | R\$ 22.482.073.334 |

**Fonte:** elaborado pelos autores com base nos dados da pesquisa.

Mas, tal fato chamou atenção não em função de ter sido realizada essa única operação, mas sim, em função do valor do respectivo investimento previsto. Ou seja, a partir dessa única operação, o único empreendimento termoelétrico do estado do Acre, à base de cavaco de madeira, pode contribuir com mais de um bilhão de reais (R\$ 1.167.724.864) para a economia do estado, distribuídos ao longo de cinco anos (de 2014 até 2019), perfazendo um investimento médio anual de R\$ 233.544.973 (R\$ 1.167.724.864 / 5 anos).

Essa evidência vai de encontro ao que foi observado por Borges *et al.* (2016) acerca da capacidade de geração de investimentos e empregos por parte dos empreendimentos econômicos voltados para produção energética a partir do uso da biomassa.

Para que se possa ter uma ideia da expressividade do montante de investimento gerado por essa única operação de compra e venda de energia elétrica em ACR por parte daquele empreendimento do estado do Acre, tal investimento é maior que os investimentos gerados pelos empreendimentos de quatorze outros estados (PI, BA, RN, MT, PE, TO, AP, PA, SC, RR, RJ, CE, PB, PR), ficando atrás apenas de quatro daqueles cinco estados que detiveram 69%

daquela quantidade total das operações de produção e comercialização de energia elétrica à base de biomassa.

Passando a analisar os dados referentes à distribuição estadual das operações a partir dos montantes de investimentos previstos para os empreendimentos de geração de energia elétrica à base de combustíveis fósseis, ficou evidente que os montantes investidos por esses empreendimentos são bem superiores aos montantes de investimentos realizados pelos empreendimentos que têm como base a geração de energia elétrica produzida a partir de biomassa.

**Tabela 6** – Distribuição das operações a partir dos montantes de investimentos previstos para os empreendimentos de geração de energia elétrica – Combustíveis fósseis

| Locais | Valores observados |                   |                   |                    |
|--------|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
|        | Mínimo             | Média             | Máximo            | Soma               |
| PE     | R\$ 81.716.705     | R\$ 1.202.269.822 | R\$ 4.139.778.708 | R\$ 13.224.968.047 |
| BA     | R\$ 278.644.043    | R\$ 487.640.927   | R\$ 569.371.769   | R\$ 8.289.895.762  |
| RS     | R\$ 1.293.786.159  | R\$ 2.693.444.499 | R\$ 3.994.519.060 | R\$ 8.080.333.498  |
| CE     | R\$ 89.397.707     | R\$ 1.145.585.356 | R\$ 3.444.417.360 | R\$ 8.019.097.494  |
| ES     | R\$ 382.876.236    | R\$ 714.073.191   | R\$ 1.193.646.250 | R\$ 6.426.658.720  |
| MA     | R\$ 2.117.929.498  | R\$ 2.216.976.610 | R\$ 2.316.023.722 | R\$ 4.433.953.220  |
| SC     | R\$ 3.156.503.823  | R\$ 3.156.503.823 | R\$ 3.156.503.823 | R\$ 3.156.503.823  |
| RJ     | R\$ 1.880.158.637  | R\$ 1.880.158.637 | R\$ 1.880.158.637 | R\$ 1.880.158.637  |
| AM     | R\$ 1.670.386.581  | R\$ 1.670.386.581 | R\$ 1.670.386.581 | R\$ 1.670.386.581  |
| RN     | R\$ 80.902.473     | R\$ 487.823.059   | R\$ 1.115.753.561 | R\$ 1.463.469.178  |
| PB     | R\$ 266.813.145    | R\$ 456.468.860   | R\$ 606.143.926   | R\$ 1.369.406.580  |
| TO     | R\$ 533.595.770    | R\$ 533.595.770   | R\$ 533.595.770   | R\$ 1.067.191.539  |
| AL     | R\$ 452.490.097    | R\$ 452.490.097   | R\$ 452.490.097   | R\$ 904.980.193    |
| GO     | R\$ 15.455.398     | R\$ 240.065.310   | R\$ 400.469.073   | R\$ 720.195.931    |
| SE     | R\$ 569.319.559    | R\$ 569.319.559   | R\$ 569.319.559   | R\$ 569.319.559    |
| Brasil | R\$ 15.455.398     | R\$ 1.193.786.807 | R\$ 4.139.778.708 | R\$ 61.276.518.762 |

**Fonte:** elaborado pelos autores com base nos dados da pesquisa.

Ao analisar as estatísticas descritivas das demais variáveis analisadas neste estudo, pôde-se perceber que o preço médio pago por MW (R\$/MW) nos leilões de ACR para a energia elétrica gerada a partir da biomassa (R\$198,68) é R\$35,58, ou 15%, menor que preço para por MW de energia elétrica gerada a partir de combustíveis fósseis (R\$234,26), conforme pode ser conferido nas Tabelas 7 e 8.

**Tabela 7** – Estatística descritiva das variáveis de estudo - Biomassa

| Estatísticas        | Potência (MW) | Garantia física (MWmédio) | Quantid. de lotes vendidos (unid.) | Preço (R\$/MW) |
|---------------------|---------------|---------------------------|------------------------------------|----------------|
| Mínimo              | 4             | 2,90                      | 0,12                               | 91,70          |
| Máximo              | 192           | 135,10                    | 1.100,00                           | 329,00         |
| Amplitude           | 188           | 132,20                    | 1.099,88                           | 237,30         |
| Média               | 57,3          | 26,90                     | 65,71                              | 198,68         |
| Mediana             | 50,0          | 22,10                     | 19,00                              | 199,65         |
| Desvio padrão       | 37,0          | 23,96                     | 164,32                             | 68,81          |
| Coefic. de variação | 65%           | 89%                       | 250%                               | 35%            |

**Fonte:** elaborado pelos autores com base nos dados da pesquisa.

Ainda analisando os preços pagos por MW apresentados nas Tabelas 7 e 8, observa-se que a medida que o preço se desloca para os valores mínimos, aquela diferença R\$35,58, ou 15% tende a aumentar, pois, o menor preço pago por MW de energia elétrica produzida a partir de biomassa (R\$91,70) chega a ser R\$71,74 ou 44% menor que o preço mínimo pago pela energia elétrica à base de combustíveis fósseis (R\$163,44).

**Tabela 8** – Estatística descritiva das variáveis de estudo – Combustíveis fósseis

| Estatísticas        | Potência (MW) | Garantia física (MWmédio) | Quantid. de lotes vendidos (unid.) | Preço (R\$/MW) |
|---------------------|---------------|---------------------------|------------------------------------|----------------|
| Mínimo              | 6             | 3,40                      | 29,00                              | 163,44         |
| Máximo              | 1.673         | 1.547,40                  | 14.500,00                          | 319,00         |
| Amplitude           | 1.667         | 1.544,00                  | 14.471,00                          | 155,56         |
| Média               | 297,5         | 202,56                    | 842,55                             | 234,26         |
| Mediana             | 176,0         | 107,45                    | 104,00                             | 226,06         |
| Desvio padrão       | 316,7         | 236,64                    | 2.366,33                           | 29,30          |
| Coefic. de variação | 106%          | 117%                      | 281%                               | 13%            |

**Fonte:** elaborado pelos autores com base nos dados da pesquisa.

Por outro lado, à medida que se observam os valores máximos da variável preço, contidos nas Tabelas 7 e 8, aquela situação ( $\text{Preço do MW}_{\text{biomassa}} < \text{Preço do MW}_{\text{combustíveis fósseis}}$ ), ocorrida em relação aos preços mínimos e médios, se inverte; ou seja, preço por MW de energia produzida a partir de biomassa (R\$ 329,00) passa a ser maior que o preço por MW de energia produzida a partir de combustíveis fósseis (R\$319,00).

Contudo, ao serem consideradas as respectivas quantidades de observações (112 operações envolvendo biomassa e 66 de combustíveis fósseis), bem como, valores mínimos e máximos, e, ainda, os desvios padrões das médias (e/ou coeficientes de variação percentual = desvio padrão/média x 100) não é possível afirmar se aqueles preços pagos por MW são estatisticamente diferentes. Sendo que, para tanto, torna-se necessário aplicar testes específicos para que possa fazer tal análise.

Nesse sentido, uma vez que nenhuma das duas séries de dados analisadas (biomassa e combustíveis fósseis) apresentou distribuição normal, foi utilizado o teste não paramétrico de Wilcoxon-Mann-Whitney para amostras independentes, de forma a se avaliar se, pelo menos em termos de mediana, existe diferença estatística entre os preços pagos por MW de energia a partir daquelas duas fontes distintas.

Conforme pode ser constatado a partir do P-valor da estatística do teste de Wilcoxon-Mann-Whitney apresentado na Tabela 9, os preços medianos são estatisticamente diferentes. Sendo que, o este teste em questão foi aplicado tomando como hipótese principal a igualdade das medianas dos preços, o que não ocorreu, e, como hipótese alternativa, assumiu-se que os

preços medianos pagos pela energia elétrica produzida a partir de combustíveis fósseis são maiores que os preços medianos pagos pela energia elétrica produzida a partir de biomassa.

**Tabela 9** – Teste não paramétrico de Wilcoxon-Mann-Whitney para amostras independentes

| Informações   | Parâmetros |
|---------------|------------|
| Estatística   | 4893,5     |
| P-valor       | 0,0002     |
| Significância | 0,95       |

**Fonte:** elaborado pelos autores com base nos dados da pesquisa.

Dessa forma, ao constatar que os preços pagos pela energia gerada a partir de combustíveis fósseis são estatisticamente maiores que os preços pagos pela energia gerada a partir de biomassa, poder-se-ia inferir que tal fato ocorre devido à diferença dos montantes investidos pelos respectivos empreendimentos, conforme já analisado anteriormente. Contudo, não se pode fazer tal inferência baseada somente em valores absolutos dos montantes de investimentos ou desprezando possíveis correlações entre a variável preço e as demais variáveis analisadas neste estudo, portanto, potência (MW), garantia física (MW médio) e quantidade de lotes vendidos.

Apesar de não permitir estabelecer uma relação de causa e efeito, o coeficiente de correlação, cujos valores variam de -1 (um negativo) até +1 (um positivo), é uma medida suficiente para avaliar se o comportamento de uma variável tem o mesmo sentido (coeficiente de correlação tendendo a +1) que o comportamento de outra variável, ou se esses comportamentos têm sentidos contrários (coeficiente de correlação tendendo a -1), ou, ainda, se não existe correlação nenhuma entre o comportamento de tais variáveis (coeficiente de correlação tendendo a 0 [zero]).

Assim, ao aplicar o teste de correlação às variáveis relacionadas às operações realizadas em ACR referentes à energia elétrica produzida a partir de biomassa, pôde-se perceber que não foi detectada nenhuma correlação entre a variável preço e as demais variáveis analisadas nesta pesquisa, conforme pode ser observado na Tabela 10.

**Tabela 10** – Matriz da correlação entre as variáveis de estudo - Biomassa

| Variáveis \ Variáveis        | Preço (R\$/MW) | Potência (MW) | Garantia Física (MW médio) | Quantidade de lotes vendidos | Investimento previsto (R\$) |
|------------------------------|----------------|---------------|----------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| Preço (R\$/MW)               | 1,00           | -0,25         | 0,05                       | 0,33                         | -0,13                       |
| Potência (MW)                |                | 1,00          | 0,78*                      | 0,36                         | 0,78*                       |
| Garantia física (MW médio)   |                |               | 1,00                       | 0,64*                        | 0,82*                       |
| Quantidade de lotes vendidos |                |               |                            | 1,00                         | 0,62*                       |
| Investimento previsto (R\$)  |                |               |                            |                              | 1,00                        |

(\*) estatisticamente significativa ao nível de 95% (0,95).

**Fonte:** elaborado pelos autores com base nos dados da pesquisa.

Em relação às variáveis referentes às operações realizadas em ACR relacionadas à energia elétrica produzida a partir de combustíveis fósseis, foi observada a existência de correlação estatisticamente significativa entre a variável preço e todas as demais variáveis analisadas neste estudo, conforme pode ser observado na Tabela 11.

**Tabela 11** – Matriz da correlação entre as variáveis de estudo – Combustíveis fósseis

| <b>Variáveis</b>                    | <b>Preço (R\$/MW)</b> | <b>Potência (MW)</b> | <b>Garantia Física (MWmédio)</b> | <b>Quantidade de lotes vendidos</b> | <b>Investimento previsto (R\$)</b> |
|-------------------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| <b>Preço (R\$/MW)</b>               | 1,00                  | 0,50*                | 0,46*                            | 0,59*                               | 0,41*                              |
| <b>Potência (MW)</b>                |                       | 1,00                 | 0,94*                            | 0,90*                               | 0,89*                              |
| <b>Garantia física (MWmédio)</b>    |                       |                      | 1,00                             | 0,91*                               | 0,85*                              |
| <b>Quantidade de lotes vendidos</b> |                       |                      |                                  | 1,00                                | 0,72*                              |
| <b>Investimento previsto (R\$)</b>  |                       |                      |                                  |                                     | 1,00                               |

(\*) estatisticamente significativa ao nível de 95% (0,95).

**Fonte:** elaborado pelos autores com base nos dados da pesquisa.

Entretanto, aquela correlação observada entre a variável preço e as demais variáveis analisadas, apesar de significativa, pode ser considerada baixa, pois, conforme recomendam Bisquerra, Sarriera e Martinez (2004), para que a correlação seja considerada satisfatória, o seu coeficiente deve se situar entre 0,60 e 0,80, corroborando com Martins (2010) que afirma que esse valor deve ser superior a 0,70, o que não aconteceu em relação às variáveis relacionadas aos combustíveis fósseis, conforme demonstrado na Tabela 11.

Diante do exposto, conclui-se que os preços contratados em ACR para energia elétrica gerada a partir de biomassa são estatisticamente inferiores aos preços contratados para energia elétrica gerada a partir de combustíveis fósseis, e, ainda, que as variáveis potência, garantia física, quantidade de lotes vendidos e investimento previsto não apresentaram correlação suficiente com aquele preço, de tal forma que não se justifica realizar teste para maiores aprofundamentos analíticos voltados para a compreensão de possíveis relacionamentos entre tais variáveis.

## 5 Considerações Finais

Ao avaliar comparativamente algumas das variáveis envolvendo operações de compra e venda de energia elétrica realizadas em ACR, o presente estudo conseguiu identificar uma série de informações que podem contribuir para a compreensão de como está ocorrendo a diversificação da matriz energética nacional.

Entre outras evidências, foi possível conhecer comparativamente quais estados detiveram os maiores volumes de operações e de investimentos envolvendo empreendimentos geradores de energia elétrica à base de biomassa e combustíveis fósseis.

Também foi possível constatar que o preço médio pago por MW de energia elétrica gerada a partir de combustíveis fósseis é estatisticamente maior que o valor pago pela energia elétrica gerada a partir de biomassa.

Ao final, concluiu-se que nenhuma das variáveis analisadas neste estudo apresentou correlação suficiente com o preço médio pago por MW de energia elétrica, quer seja pela energia produzida a partir de biomassa ou quer seja pela energia gerada a partir de combustíveis fósseis.

Como principal limitação desta pesquisa destaca-se o fato das séries de dados analisadas não apresentarem distribuição Gaussiana, ou normal, o que impediu a aplicação de testes estatísticos de natureza paramétrica, portanto, mais robustos.

Contudo, a despeito dessa limitação, foram identificados e aplicados testes estatísticos de natureza não paramétrica que, apesar de não contarem com a robustez proporcionada por testes paramétricos, permitiram realizar inferências relevantes acerca dos dados envolvendo operações de compra e venda de energia elétrica em leilões de ACR. Cabe destacar também o fato desta pesquisa analisar os dados de todas as operações realizadas pela ANEEL desde os primeiros leilões de energia elétrica em 2005, até o ano de 2017.

Para continuidade deste estudo, sugere-se a realização de investigações que empreguem a metodologia utilizada na presente pesquisa, porém, aplicada aos dados de leilões de energia elétrica gerada a partir de outras fontes, por exemplo, eólica, solar e hidrelétrica.

Assim, espera-se que os resultados deste trabalho possam ser somados aos achados de outras investigações de natureza correlata e, a partir disso, se aprofunde a compreensão e o debate relacionado à composição da matriz elétrico-energética brasileira.

## REFERÊNCIAS

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Leilões de geração**. Brasília: Secretaria Executiva de Leilões (SEL) - publicado: 13/11/2015 13:30, última modificação: 02/06/2017 11:16. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/geracao4>. Acesso em: 14 nov. 2024.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resultado de Leilões**. Brasília: Secretaria Executiva de Leilões (SEL) - publicado: 01/03/2016 - 09:37, última modificação: 03/01/2018 - 17:05. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/resultados-de-leiloes>. Acesso em: 24 abr. 2018.

BISQUERRA, Rafael; SARRIERA, Jorge Castellá; MARTINEZ, Francesc. **Introdução à estatística**: enfoque informático com o pacote estatístico SPSS. Porto Alegre: Artmed, 2004.

BORGES, ane Caroline Pereira; SILVA, Marcelo Santana; ALVES, Carine Tondo; TORRES, Ednildo Andrade. Energias renováveis: uma contextualização da biomassa como fonte de

energia. **REDE – Revista Eletrônica do PRODEMA**, Fortaleza, v. 10, n. 2, p. 23-36, jul./dez. 2016. Disponível em: <http://www.revistarede.ufc.br/rede/article/view/239>. Acesso em: 04 abr. 2024.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia - MME. Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, de 27 dez.1996, p. 28653. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9427cons.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9427cons.htm). Acesso em: 14 nov. 2024.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia - MME. Decreto nº 2.335, de 6 de outubro de 1997. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, de 07 out. 1997, p. 22377. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/d2335.HTM](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d2335.HTM). Acesso em: 14 nov. 2024.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia - MME. Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004 **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, de 16 mar. 2004, p. 23. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2004/lei/110.848.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/lei/110.848.htm). Acesso em: 14 nov. 2024.

CARMO, Carlos Roberto Souza. Uma análise das variáveis críticas no processo de produção e comercialização de energia elétrica a partir da biomassa residual de cana de açúcar. **Revista Getec – Gestão, Tecnologia e Ciências**, Monte Carmelo, v.7, n.15, p.27-36, 2018. Disponível em: <http://www.fucamp.edu.br/editora/index.php/getec/article/view/1209/861>. Acesso em: 11 mar. 2024.

CARMO, Carlos Roberto Souza; LIMA, Adriano Dawidson de; NUNES, Jason Geter da Silva; SAAD, André Luiz Merthan. Uma análise acerca do perfil dos leilões de energia elétrica realizados em ambiente de contratação regulada de 2005 a 2016. **RAGC**, Monte Carmelo, v.6, n.23, p.73-84, 2018. Disponível em: <http://www.fucamp.edu.br/editora/index.php/ragc/article/view/1254/899>. Acesso em: 11 mar. 2024.

DELGADO, Fernanda; WEISS, Mariana; SILVA, Tatiana Bruce da. A geopolítica das energias renováveis: considerações iniciais. **FGV Energia - Caderno Opinião**, Rio de Janeiro, p. 4-13, fevereiro, 2018. Disponível em: [https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/20395/FINAL\\_Coluna%20Opinio%20Fevereiro%20-%20Geopolitica%20dos%20Renovaveis%20-%20Fernanda-Mariana-Tatiana.pdf](https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/20395/FINAL_Coluna%20Opinio%20Fevereiro%20-%20Geopolitica%20dos%20Renovaveis%20-%20Fernanda-Mariana-Tatiana.pdf). Acesso em: 05 abr. 2024.

GUERRA, Lenin Cavalcanti Brito; SILVA, Sabrina Carla Alves. Análise do processo de reestruturação do setor elétrico brasileiro. **EmpíricaBR - Revista Brasileira de Gestão, Negócio e Tecnologia da Informação**, Natal, v. 1, n. 1 p. 39-55, 2017. Disponível em: [http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/EmpiricaBR/article/view/5270/pdf\\_1](http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/EmpiricaBR/article/view/5270/pdf_1). Acesso em: 02 abr. 2024.

IPEADATA, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Dados macroenômicos**: Bacen, Boletim, BP. Copyright ©, Rio de Janeiro, 7 de Dezembro de 2006. Disponível em: <http://www.ipeadata.gov.br/Default.aspx>. Acesso em: 27 mar. 2018.

LAWSON, André; PEREIRA, Guilherme Armando de Almeida; ABREU, Mariana Weiss de; CUNHA, Paulo Cesar Fernandes da. Notas dos encontros dos comercializadores de energia do Rio de Janeiro 2017. **FGV Energia - Caderno Opinião**, Rio de Janeiro, p. 7-31, janeiro, GETEC, v. 21, p. 30 - 49 /2024

2017. Disponível em: [http://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/caderno\\_fgv\\_-\\_encontro\\_dos\\_comercializadores\\_-\\_completo\\_final.pdf](http://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/caderno_fgv_-_encontro_dos_comercializadores_-_completo_final.pdf). Acesso em: 05 abr. 2024.

MARTINS, Gilberto de Andrade. **Estatística geral e aplicada**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

OLIVEIRA, Ana Paula Moreira de; FUGANHOLI, Nicola Sgrignoli; CUNHA, Pedro Henrique de Souza; BARELLI, Vivian Aparecida; BUNEL, Maxime Philippe Michel; NOVAZZI, Luís Fernando. Análise técnica e econômica de fontes de energia renováveis. **The Journal of Engineering and Exact Sciences - JCEC**, Viçosa-MG, v. 4, n. 1, p. 1-7, 2018. Disponível em: <http://www.seer.ufv.br/seer/rbeq2/index.php/req2/article/view/457/458>. Acesso em: 02 abr. 2024.

SANTOS, Guilherme Henrique Fávero; NASCIMENTO, Raphael Santos do; ALVES, Geziele Mucio. Biomassa como energia renovável no Brasil. **Revista UNINGÁ Review**, Maringá, v. 29, n.2, p. 6-13, jan-mar. 2017. Disponível em: <http://revista.uninga.br/index.php/uningareviews/article/view/1966/1562>. Acesso em: 02 abr. 2024.

SILVA, Marline Ilha da; BORTOLI, Alvaro Luiz de. Modelagem e simulação do processo de formação do biogás. **Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics**, São Carlos, v. 6, n. 1, p. 1-7, 2018. Disponível em: <https://proceedings.sbmac.org.br/sbmac/article/view/2078/2095>. Acesso em: 02 abr. 2024.