

## Desenvolvimento e ajuste do mercado livre de energia no Brasil

Vinicius R. Silva<sup>1†</sup>, Ana Carolina C. J. Silva<sup>2</sup>, Adriano M. Souza<sup>3</sup>, Roselaine R. Zanini<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Docente do Curso de Administração- Instituto Federal Farroupilha.*

<sup>2</sup> *Docente do Curso de Administração - Universidade Franciscana de Santa Maria.*

<sup>3</sup> *Docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção- Universidade Federal de Santa Maria.*

**Resumo:** O Mercado Livre de Energia no Brasil foi uma estratégia governamental pela sanção de leis da apartir de 1990, compensando a defasagem de investimentos públicos na matriz energética do país. Empresas enquadradas aos pré-requisitos regulatórios tornam-se consumidoras e / ou geradoras de energia elétrica atendendo às necessidades dos consumidores por meio de celebração de contratos bilaterais O estudo objetivou analisar a evolução e prever o preço futuro da energia elétrica comercializada no Mercado Livre de energia em 4 regiões do Brasil, por meio do histórico do preço de liquidação das diferenças (PLD) no período de maio de 2003 a junho de 2015. Utilizou-se os testes ANOVA, Wald-Wolfowitz e Kruskal-Wallis, e os modelos de (HF), desvio médio absoluto (MAPE) e erro quadrático médio (MSD), e a raiz do erro quadrático médio (ADF), para verificar a adequação do ajuste do modelo, e (RMSE) para avaliar a qualidade das previsões. Identificou-se variação da média do PLD, em alguns períodos com tendência crescente, não havendo diferença significativa entre o PLD, quando comparado às quatro regiões investigadas ( $p$ -valor = 0,94). Posteriormente, houve tendência e sazonalidade significativas ( $p < 0,05$ ) para as séries das quatro regiões, considerando os modelos que apresentaram o menor valor para o erro percentual absoluto médio (MAPE) para as quatro regiões, visto que foram os que apresentaram os menores valores para os critérios de qualidade de predição. A previsão do PLD de energia contempla que consumidores e / ou geradores de energia possam realizar a programação de custos de produção.

**Palavras-chave:** *Mercado livre de energia, preço de liquidação das diferenças, previsão do preço futuro, custo de produção.*

## Development and adjustment of the free energy market in Brazil

**Abstract:** *The Free Market of Energy in Brazil was a government strategy by enacting laws from 1990 onwards, compensating for the lack of public investment in the country's energy matrix. Companies that meet the regulatory prerequisites become consumers and / or generators of electricity, meeting the needs of consumers through the signing of bilateral contracts The study aimed to analyze the evolution and predict the future price of electricity traded in the Free Energy Market in 4 regions of Brazil, through the history of the settlement price of differences (PLD) in the period from May 2003 to June 2015. We used the ANOVA, Wald-Wolfowitz and Kruskal-Wallis tests, and the models of ( HF), mean absolute deviation (MAPE) and mean squared error (MSD), and the root mean squared error (ADF), to verify the adequacy of the model fit, and (RMSE) to assess the quality of the forecasts. A variation in the mean PLD was identified, in some periods with an increasing trend, with no significant difference between the PLD, when compared to the four regions investigated ( $p$ -value = 0.94). Subsequently, there was a significant trend and seasonality ( $p < 0.05$ ) for the series of the four regions, considering the models that presented the lowest value for the mean absolute percentage error (MAPE) for the four regions, since they were the ones that presented the lower values for the prediction quality criteria. The forecast of the energy PLD contemplates that consumers and / or energy generators can carry out the programming of production costs.*

**Keywords:** *Free energy market, settlement price of differences, future price forecast, production cost.*

---

† Autor correspondente: [radetzke.vinicius@gmail.com](mailto:radetzke.vinicius@gmail.com).

## Introdução

A busca por energia elétrica é um dos fatores responsáveis pelo desenvolvimento da humanidade, seja ela por novos meios de produção, locomoção e geração de energia. Em meados dos anos 90, o setor elétrico brasileiro era controlado por empresas públicas responsáveis pela geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. A eminente falta de investimentos provocou um atraso, fazendo com que novos investimentos fossem realizados corroborando a isso a falta de reajustes das tarifas de energia, obrigou ao governo brasileiro realizar a quebra do monopólio estatal, proporcionando a privatização das estatais justificando promover a melhoria nos investimentos e nos serviços prestados aos consumidores (COSTA; PIEROBON 2008).

A reorganização do setor foi colocada em prática, em 1995, com a Lei nº 9.074/95, a qual objetivou estimular a concorrência e a redução de custos no valor da energia elétrica consumida pelo setor industrial do país, além de promover a competitividade e atrair novos investimentos para o setor energético. A mudança contribuiu também para que o governo pudesse sanar o déficit fiscal, vendendo seus ativos e direcionando os recursos para outros programas de investimentos (TOLMASQUIM, 2011).

Todo o processo de reestruturação do setor elétrico brasileiro seguiu uma tendência mundial iniciada por países, a exemplo de Estados Unidos, Canadá e Inglaterra, ainda no início da década de 90. O processo iniciado pelo governo buscou estimular a criação de um mercado competitivo com a privatização de alguns segmentos do setor, a fim de atrair o capital privado para os investimentos necessários ao crescimento e desenvolvimento do setor (GODOY, 2000).

A Lei nº 10.848/04, marco regulatório do setor elétrico brasileiro, estabeleceu uma nova reformulação do Mercado Livre de energia elétrica, com a introdução de novas regras de comercialização, dividindo os ambientes de contratação em Ambiente de Contratação Regulado (ACR) e Ambiente de Contratação Livre (ACL). Os consumidores que atenderem aos pré-requisitos do ACL passaram a ter liberdade de escolha para comprar a sua energia elétrica, diferentemente, dos chamados de cativos, que têm a obrigatoriedade de contar com somente uma empresa fornecedora.

Para Prechel (2012), ao fomentar a mudança e a prática consolidada de um modelo de competição visando o Mercado Livre de energia, o governo objetiva beneficiar o setor industrial e consumidores por efeitos como: avanço de tecnologia, liberdade de escolha para o cliente, redução dos preços acirrando a concorrência, comercialização simultânea de várias empresas geradoras de energia e diminuição de custos e dos preços de produtos e serviços em todas as regiões do país. A redução de custos possibilita maior competitividade na indústria, produzindo e garantindo atratividade dos produtos para novos mercados, além da redução de seu preço final.

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (2016), a matriz energética do Brasil é formada, atualmente, pelas seguintes usinas geradoras e o respectivo percentual de produção: Hídricas (61,55%), Fóssil (17,56%), Biomassa (8,90%), Eólica (5,13%), Nuclear (1,37%) e Importação (5,49%), referentes à importação do Paraguai, Argentina, Venezuela e Uruguai.

A realidade da matriz energética brasileira, até março de 2015, conforme levantamento realizado pela Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (FIRJAN), o custo médio da energia consumida pela indústria nacional aumentou em 48%, alcançando R\$ 534,28, por megawatt-hora (Mwh). Este valor coloca o Brasil em um ranking indesejado, liderando a lista dos 28 países com maior custo da energia para a indústria, superando países como Índia e Itália, que ocupavam as primeiras posições em anos anteriores (GANDRA, 2015).

Desta forma, este estudo objetivou apresentar a evolução do Mercado Livre de Energia brasileiro e também realizar uma comparação entre a previsão dos preços médios da liquidação das diferenças de energia (PLD) comercializada para o segundo semestre de 2015. Justifica-se que os resultados deste estudo, permitirão que as empresas possam antever as informações do mercado de energia elétrica e realizarem programação de produção com maior assertividade, onde o insumo energia represente a redução de custos e proporcione aumento de competitividade para produtos e serviços que por hora sejam produzidos.

## Mercado livre de energia no Brasil

O fato do custo da energia ser maior no Brasil, comparado a outros países concorrentes no comércio mundial, implica em produtos mais caros e, a consequência disto é que existe uma redução sobre o comércio, investimentos, geração de novos postos de trabalho, e ainda diminuição e recolhimento de impostos e competitividade, fatores estes, responsáveis por atrasos no desenvolvimento da economia.

As reformas propostas pelo governo, a partir da década de 90 buscaram apresentar como características fundamentais, a criação do Mercado Atacadista de Energia (MAE), que atualmente é chamada de Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE); a promoção e desverticalização da produção, transmissão, distribuição e comercialização; e também o livre acesso dos geradores e comercializadores na estrutura de redes de transmissão e distribuição (GOMES et al. 2002).

Quadro 1 - Desenvolvimento do Mercado Livre de energia no Brasil

<b>Modelo Antigo</b>	<b>Modelo de Livre Mercado</b>	<b>Novo Modelo</b>
<b>(Até 1995)</b>	<b>(De 1995 a 2003)</b>	<b>(A partir de 2004)</b>
Financiamento por meio de recursos públicos	Financiamento por meio de recursos públicos e privados	Financiamento por meio de recursos públicos e privados
Empresas verticalizadas	Empresas divididas por atividade: geração, transmissão, distribuição e comercialização.	Empresas divididas por atividade: geração, transmissão, distribuição e comercialização, importação e exportação.
Empresas predominantemente estatais	Abertura e ênfase na privatização das empresas	Convivência entre empresas estatais e privadas
Monopólios- Competição inexistente	Competição na geração e comercialização	Competição na geração e comercialização
Consumidores Cativos	Consumidores Livres e Cativos	Consumidores Livres e Cativos
Tarifas reguladas em todos os seguimentos	Preços livremente negociados na geração e comercialização	No ACL: preços livremente negociados na geração e comercialização. No ACR: Leilão e licitação pela menor tarifa
Mercado Regulado	Mercado Livre	Mercado Livre e Regulado
Planejamento determinativo- Grupo Coordenador do Planejamento dos Sistemas Elétricos ( GCPS)	Planejamento indicativo pelo Conselho Nacional de Política Elétrica ( CNPE)	Planejamento pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE)
Contratação: 100% do mercado	Contratação: 85% do mercado até agosto de 2003 e 95% do mercado até dezembro de 2004	Contratação: 100% do mercado, mais reserva
Sobras/ Déficits do balanço energético rateados entre os compradores	Sobras/ déficits do balanço energéticos liquidados ao MAE	Sobras/ déficits do balanço energético liquidados na CCEE. Mecanismo de Compensação de Sobras e Déficits (MCS D) para as distribuidoras

Fonte: Adaptado de CCEE (2016).

A regulação do Mercado de comercialização de energia elétrica foi concebida, inicialmente, pela Lei nº 9.074 de 7 de julho de 1995. Para regular e fiscalizar este mercado, foi criada através da Lei no 9.427/96 a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), por conseguinte, por meio da Lei no 9.648/98 foi estabelecido o comércio livre de energia entre concessionários, permissionários e autorizado, sendo este um setor para

disciplinar o regime das concessões de serviços públicos de energia elétrica. No Quadro 1 apresenta-se um comparativo dos modelos de desenvolvimento do Mercado Livre de energia brasileiro. A efetiva mudança proporcionada pelo acréscimo das leis proporcionou melhor organização do sistema elétrico brasileiro.

De acordo com o Decreto nº 5.163 de 30 de julho de 2004, são especificadas as regras gerais de comercialização de energia elétrica no Brasil, com o Ambiente de Contratação Regulada ou Livre, ficando a cargo da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), regular, convencionar e fiscalizar as regras e procedimentos de comercialização da energia elétrica. A energia somente poderá ser contratada sob duas formas: Atendendo aos requisitos do Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e do Ambiente de Contratação Livre (MARTINS; CELESCUEKCI, 2004).

O Ambiente de Contratação Regulada (ACR) objetiva atender os consumidores cativos, ou seja, aqueles consumidores atendidos por um único fornecedor de energia elétrica. Neste ambiente, os agentes vendedores (geradores, comercializadores e autoprodutores) e as distribuidoras estabelecem Contratos de Comercialização de Energia no Ambiente Regulado (CCEAR) precedidos de licitação, ressalvados os casos previstos em lei, conforme regras e procedimentos de comercialização específicos. No Ambiente de Contratação Livre (ACL) são atendidos os consumidores livres (Consumo de energia acima de 3 MW e ou 0,5 MW quando adquiridos de fontes renováveis), tem-se a opção de escolha por fornecedores com melhor preço (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2014).

Ainda no ano de 2015, aproximadamente 27% da energia produzida no Brasil é negociada no Mercado Livre, que movimenta anualmente negócios em torno de R\$ 30 bilhões. Sendo um ambiente em contínua evolução, os agentes que nele atuam precisam estar constantemente atualizados das regras e procedimentos de mercado, para que tenham o conhecimento e o profissionalismo necessários no processo de tomada de decisões (ONS, 2016). De acordo com CCEE (2016), os consumidores especiais, representam 3% do volume total do Mercado Livre de energia no Brasil, sendo 24% de consumidores livres e outros 73% são consumidores do mercado regulado.

Entretanto, o Mercado Livre é o ambiente no qual o consumidor pode comprar a energia de comercializadores e/ou geradores em condições livremente pactuadas por contratos. A principal vantagem desse ambiente de contratação é a possibilidade de negociar produtos customizados, com prazos, volumes, preços e índices de reajustes que atendam às expectativas do comprador (ANEEL, 2016). O consumidor livre é aquele que traça estratégias e negocia livremente as condições comerciais de contratação da sua energia, pois possui a possibilidade de escolher prazo, indexação e ter flexibilidade quanto ao montante de energia consumida. Além disso, este consumidor escolhe seu fornecedor de energia, que pode ser um gerador ou um agente comercializador (CCEE, 2016).

No Mercado Livre, o consumidor escolhe seu gerador diretamente ou por intermédio do agente comercializador. O resultado é o benefício econômico da energia elétrica em comparação às tarifas praticadas no ambiente cativo. Mesmo que o Brasil possua uma legislação para o mercado livre de energia, o pré-requisito de condição mínima impede que muitos consumidores e geradores façam parte desse mercado. Em um comparativo com outros países da América Latina, no Quadro 2, o Brasil é o país que possui a maior exigência, condição mínima, para ingressar neste mercado (ABRACEEL, 2015).

Quadro 2- Demanda mínima para ingresso no mercado livre de energia no Brasil

País	Condição mínima	País	Condição mínima
Argentina	30 Kw	Guatemala	100 Kw
Bolívia	1000 Kw	Panamá	100 Kw
Brasil	3000 Kw	Peru	1000 Kw
Chile	500 Kw	República Dominicana	1000 Kw
Colômbia	100 Kw	Uruguai	250 Kw

Fonte: Adaptado de ABRACEEL (2015).

A Geração Incentivada trata-se da geração de responsabilidade do agente da CCEE, da categoria geração, representada por empreendimentos hidrelétricos com potência igual ou inferior a 3.000 kW e, para aqueles com base em fonte solar, eólica, biomassa e cogeração. Neste caso, o gerador recebe incentivos como:

a aplicação de descontos associados às tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e distribuição, incidentes na produção e no consumo de energia elétrica por este agente comercializador.

## Material e métodos

Para atingir os objetivos propostos foram executadas as seguintes etapas:

1) Revisão de literatura sobre o desenvolvimento e implementação da legislação sobre o Mercado Livre de energia no Brasil, descrevendo o processo de desenvolvimento e regulamentação, apresentando os principais conceitos pertinentes ao tema.

2) Análise descritiva, por regiões do país, na qual foram apresentados a média, o valor mínimo e o máximo, o desvio-padrão e o coeficiente de variação do preço médio da liquidação de diferenças (PLD) de maio 2003 a junho de 2015.

Além disso, foi realizado um teste de ANOVA para verificar se existia diferença significativa entre os preços médios das regiões consideradas.

3) Ajuste de um modelo de previsão para a série PLD médio para cada região.

As previsões auxiliam os gerentes na tomada de decisões identificando a melhor maneira de reunir os seus recursos para a organização no futuro (SLACK, 2009). As previsões de séries temporais são baseadas em valores passados, não sendo consideradas as influências de outras variáveis. Para tal, podem ser considerados alguns métodos simplificados que, quando bem desenvolvidos permitem a obtenção de resultados com boa qualidade (MOREIRA, 2012).

Uma série temporal é uma sequência de observações de uma variável ao longo do tempo (MORETTIN, 1987), na qual podem ser observadas as seguintes componentes:

a) Tendência: caracteriza o crescimento ou o decréscimo da variável no tempo. Podendo se manter estacionária, quando varia em torno de um valor médio.

b) Sazonalidade: representa o comportamento cíclico que se repete dentro do ano.

c) Ciclos: caracterizam flutuações que ocorrem com repetições de longos períodos.

d) Variações irregulares: são características de causas não identificadas, pelo fato de ocorrerem ao acaso, essas variações não podem ser previstas pelos modelos.

Existem vários métodos de previsão disponíveis, utilizando-se de acordo com a disponibilidade de dados, tempo e recursos, e do horizonte de previsão. Os métodos de previsão podem ser divididos em duas categorias: qualitativos e quantitativos (MOREIRA, 2012).

Os métodos qualitativos são baseados em informações e conhecimentos de pessoas que possam falar e opinar sobre eventos futuros, são indicados quando há ausência de dados históricos, ou quando os dados não são confiáveis. Exemplos de métodos qualitativos, a abordagem Delphi ou opinião de especialista, gestão, pesquisas de mercado, dados externos ou sondagens e pesquisa (MUN, 2006).

Entretanto, os métodos quantitativos são baseados em modelos matemáticos, a fim de buscar e demonstrar valores previstos, subdivididos em métodos causais e séries temporais (MORETTIN, 1987). Em relação às séries temporais é possível destacar os modelos de Suavização Exponencial, Método de Holt Winters, Médias Móveis, Box-Jenkins (ARMA, ARIMA, SARIMA), Rede Neurais; e nos Métodos Causais destacam-se as Correlações, Regressões e Modelos Econométricos. Os modelos de Holt-Winters descrevem devidamente dados de demanda em que é verificada a geração da tendência linear, e também um componente de sazonalidade. Entre os diversos modelos de séries temporais, o modelo de Holt-Winters tem sido o mais adotado, principalmente, por apresentar baixo custo computacional e alta eficiência de previsão (PELLEGRINI; FOGLIATTO, 2000).

No modelo multiplicativo, a amplitude de sazonalidade aumenta com o tempo, diante disso, tem-se que existirá uma diferença entre o maior e o menor ponto de demanda nos ciclos, crescendo assim, com o passar do tempo. A análise de séries temporais se aplica nos casos em que há um padrão persistente ou sistemático no comportamento da variável, que é possível de captar através de uma representação paramétrica. Neste caso, alguns métodos clássicos são usados para certos tipos de dados apresentados. A exemplo dos dados sazonais, em que ocorra o aumento ou diminuição num padrão recursivo regular em um determinado decorrer do tempo, ou dados com tendência em que ocorre aumento ou diminuição, consistentemente, no decorrer do tempo (RITZMAN; KRAJEWSKI, 2004).

Neste estudo, inicialmente, foram realizados os testes de Wald-Wolfowitz e Kruskal-Wallis para verificar a presença de tendência e sazonalidade respectivamente. Posteriormente, foram analisados os

modelos de alisamento exponencial simples, de Holt e de Holt-Winters (aditivo e multiplicativo), sendo que, este último foi o que apresentou os melhores resultados para a previsão, o melhor modelo considerado é a suavização exponencial Holt-Winters, baseada em três parâmetros de suavização: a média ou nível, a tendência e a sazonalidade, além de um elemento residual não previsível designado por erro aleatório (SNYDER; SHAMI, 2001).

Como a série apresenta variação sazonal não constante ao longo do tempo, ou seja, existe diferença entre o maior e menor ponto de demanda, com o passar do tempo, o melhor método a ser utilizado é o modelo Holt-Winters multiplicativo (MORETTIN, 1987).

Os modelos mais conhecidos de suavização são:

(i) Suavização Exponencial simples é normalmente utilizada quando não existe tendência ou sazonalidade na série temporal. Neste método, exigem-se apenas os dados de previsão do último período, a demanda do período atual e um parâmetro de aproximação com valor entre 0 e 1.

(ii) Suavização Exponencial Dupla de Holt é utilizada quando se registra tendência na série, representada por um aumento ou redução na média ao longo do período analisado, havendo a necessidade da suavização da média e tendência.

(iii) Suavização Exponencial Sazonal de Holt-Winters é um método utilizado na presença de um aspecto sazonal, ou seja, quando ocorrem alterações que são regularmente repetidas, oscilando para cima ou para baixo (RITZMAN; KRAJEWSKI, 2004).

Os métodos de alisamento exponencial são muito utilizados na previsão de negócios e na Economia, visando o ajuste de um modelo aos dados históricos, no intuito de se obter a previsão de valores futuros (GUJARATI, 2004). Neste estudo, por meio da verificação dos melhores resultados para a previsão foi escolhido o Alisamento Exponencial de Holt-Winters (AEHW). Para as séries temporais que possuem um padrão de comportamento com maior complexidade, deve-se adotar o método de Holt-Winters e o método de suavização exponencial geral (ou suavização direta) (MORETTIN; TOLOI, 2006).

Os modelos de Holt-Winters (HW) possuem utilização quando verificado nos dados analisados a ocorrência de tendência linear, além de componente de sazonalidade, sendo a aplicação válida para séries não estacionárias (PELLEGRINI; FOGLIATTO, 2000). Os modelos de Holt-Winters dividem-se em dois tipos: Holt-Winters aditivo e Holt-Winters multiplicativo (MORETTIN, 1987).

(i) O modelo multiplicativo é usado, normalmente, em séries na qual a amplitude da variação sazonal não permaneça constante ao longo do tempo, ou seja, a diferença entre o maior e o menor ponto de demanda nos ciclos, cresce com o passar do tempo.

(ii) O modelo aditivo é utilizado para realizar previsões em séries temporais, desde que a amplitude da variação sazonal permaneça em uma constância ao longo do tempo, ou seja, a diferença entre o maior e o menor ponto de demanda nos ciclos permanece constante com o passar do tempo.

Os modelos de Holt-Winters funcionam com três parâmetros de suavização A, C e D, sendo obtidos pelo mesmo processo descrito nos modelos de Holt. Neste caso, os valores das constantes são associados a cada uma das componentes de nível, tendência e sazonalidade (MORETTIN; TOLOI, 2006).

Nas previsões de curto prazo, o Modelo de Alisamento Exponencial de Holt-Winters é o mais apropriado, pois é simples, de baixo custo de operação, boa precisão e capacidade de ajustamento automático rápido a mudanças na série (WINTERS, 1960). As vantagens deste método são semelhantes ao de Holt, sendo que o AEHW é adequado à análise de séries com padrão de comportamento mais geral. Em relação às desvantagens, as principais dificuldades são em determinar os valores mais apropriados das constantes de suavização, e também a dificuldade para estudar as propriedades estatísticas a exemplo de média, variância de previsão e, por conseguinte, a construção de um intervalo de confiança (MORETTIN; TOLOI, 2006).

Para verificar a adequação do ajuste do modelo e avaliar a qualidade da previsão optou-se por adotar uma análise comparativa entre os valores reais e os previstos para os últimos 6 meses da série, por meio dos critérios de desvio médio absoluto (MAD), o desvio médio quadrático (MSE) o erro percentual absoluto médio (MAPE) e a raiz do erro médio quadrático (RMSE), que são critérios usados para a comparação via simulação em modelos de séries temporais.

O desvio médio absoluto caracteriza-se por ser uma média da diferença absoluta entre os valores observados e estimados. O cálculo é realizado levando-se em conta os dados de demanda real e as previsões. Neste caso, quanto menor o valor encontrado do MAD, melhor é o ajuste do modelo (VARGAS, 2000). O MAD tem grande relevância em uma análise, pois se mede a dispersão ou variação dos valores medidos

comparando-se ao esperado (CHASE et al. 2011). O desvio médio quadrático (MSE) ou erro médio quadrático (MSD) é a medida dos erros de previsão elevados ao quadrado, quanto menor o MSE, mais precisa é a previsão (LAWRENCE, 2009).

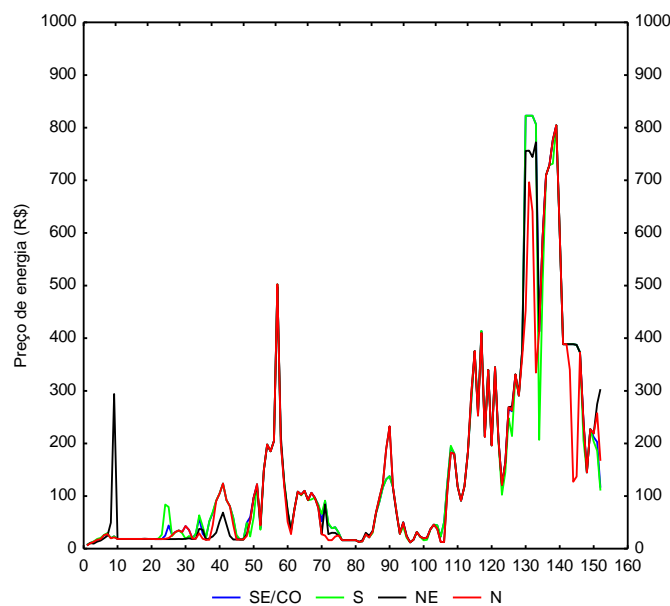
O MSE apresenta importância no estudo estatístico, pois permite análise do desempenho de métodos de previsão (LAWRENCE, 2009). O erro percentual absoluto médio é utilizado para avaliar a qualidade das previsões, o MAPE é usado na análise de desempenho da previsão sob uma nova perspectiva apropriada (RITZMAN; KRAJEWSKI, 2004).

O MAPE resulta da média dos erros percentuais absolutos nas previsões, e quanto menor o MAPE, melhor é o modelo da previsão. O MAPE é um indicador utilizado para descrever o desempenho médio do erro do modelo utilizado ou desenvolvido. Desta forma, o resultado obtido por meio de seu cálculo é uma medida percentual, podendo ser comparado com os resultados obtidos com a modelagem em outras séries temporais (RITZMAN; KRAJEWSKI, 2004). A raiz do erro quadrático médio (RMSE) tem sua utilização na apuração dos resultados numéricos com a vantagem de apresentar valores do erro nas mesmas dimensões da variável analisada.

Finalizando, foram apresentados os valores previstos a médio prazo (6 meses), para a série da média dos preços de liquidação das diferenças, nas quatro regiões pesquisadas. Para a análise estatística dos dados foram utilizadas planilhas do *Excel* e o *software Estatística 9.1*.

Na Figura 1, observa-se a variação da média do PLD da energia elétrica para as quatro regiões, na qual se verificam alguns períodos com tendência crescente, além de períodos de variabilidade ao longo dos registros. Também, pode-se destacar que os maiores valores médios ocorreram entre fevereiro e dezembro de 2014.

Figura 1. Preço médio do PLD (R\$) de maio de 2003 a junho de 2015



Fonte: Dos autores.

Observa-se na Tabela 1, considerando a análise descritiva efetuada para o período compreendido entre maio de 2003 e junho de 2015, que o maior valor referente ao PLD médio (R\$ 822,83) foi registrado nas regiões Sudeste/Centro Oeste (SE/CO) e Sul (S). Entretanto, na região Norte (N), foi registrado o menor valor (R\$ 6,23) para todo o período. As demais medidas descritivas podem ser observadas a seguir.

Além disso, observou-se que não houve diferença significativa entre as médias do PLD de energia elétrica, quando comparadas as quatro regiões ( $p$ -valor = 0,94). Posteriormente, verificou-se tendência e sazonalidade significativas ( $p < 0,05$ ) para as séries das quatro regiões, o que torna apropriada a utilização do método de Holt-Winters para o ajuste dos modelos e a estimativa das respectivas previsões.

Tabela 1. Análise descritiva da média do PLD de energia elétrica em regiões brasileiras de maio de 2003 a junho de 2015

MEDIDAS DESCRITIVAS	SE/CO	S	NE	N
<b>Média</b>	150,37	147,07	148,89	137,78
<b>Mediana</b>	68,34	71,87	51,16	52,17
<b>Valor mínimo</b>	7,30	7,30	6,34	6,23
<b>Valor máximo</b>	822,83	822,83	804,54	804,54
<b>Desvio-padrão</b>	195,86	192,25	193,70	174,93
<b>Coefficiente de variação</b>	1,3025	1,3071	1,3008	1,2695

Fonte: Dos autores.

Na Tabela 2 podem ser observados os principais resultados relativos aos ajustes dos modelos propostos, onde apresentam-se as constantes de alisamento exponencial e os respectivos critérios de qualidade de ajuste do modelo.

Tabela 2. Coeficientes dos modelos de Holt-Winters e critérios de ajuste dos modelos

REGIÃO/MODELO	A	B	$\Gamma$	MAD	MSE	MAPE (%)
<b>SE/CO</b>						
H-W multiplicativo 1	0,786	0,0001	0,0001	42,04	6301	39,29
H-W multiplicativo 2	0,900	0,100	0,100	43,98	7089	35,64
<b>S</b>						
H-W multiplicativo 1	0,795	0,0001	0,0001	43,42	7529	43,40
H-W multiplicativo 2	0,900	0,100	0,100	46,34	8558	39,35
<b>NE</b>						
H-W multiplicativo 1	0,800	0,100	0,100	46,38	7648	45,36
H-W multiplicativo 2	0,900	0,100	0,100	47,19	7822	45,23
<b>N</b>						
H-W multiplicativo 1	0,785	0,0001	0,0001	42,04	6301	39,29
H-W multiplicativo 2	0,900	0,100	0,100	42,85	5956	35,93

Fonte: Dos autores.

Foram considerados os modelos que apresentaram o menor valor para o erro percentual absoluto médio (MAPE) para as quatro regiões, tendo em vista, que os mesmos foram aqueles que apresentaram os menores valores para os critérios de qualidade de previsão.

A última análise foi de estabelecer a relação de previsão proposta com o modelo de previsão buscando evidenciar se os resultados eram os mesmos ou chegavam próximos aos PLD's médios, estimados pelos sistemas da ONS.

A seguir, apresentam-se as previsões para os valores médios de PLD para o período de julho a dezembro de 2015 para as quatro regiões, segundo os modelos selecionados, além dos respectivos valores para os critérios considerados para avaliar a qualidade das previsões.

Tabela 3 – Previsões de valores médios de PLD de julho a dezembro de 2015

Meses	SE/CO	S	NE	N
<b>Julho</b>	373,215	400,9649	379,9785	392,8744
<b>Agosto</b>	351,499	377,2798	404,9832	385,7180
<b>Setembro</b>	402,763	445,1327	504,7865	463,3537
<b>Outubro</b>	421,178	450,4409	513,0511	495,4966
<b>Novembro</b>	422,028	476,5043	460,5988	484,8432
<b>Dezembro</b>	316,743	374,4451	395,6060	358,7634
<b>MAD</b>	190,65	241,02	207,68	220,71
<b>MAPE</b>	1,090	1,443	0,9828	1,1038
<b>RMSE</b>	192,84	242,98	220,90	224,23

Fonte: Dos autores.



A análise da Tabela 3 permite observar que os critérios utilizados para avaliar as diferenças entre os valores reais e os previstos (MAD e RMSE) são menores para o modelo ajustado da região SE/CO, sendo que as maiores diferenças foram encontradas para a região Sul.

## Discussão

Em um estudo realizado em 2011, no Brasil, foi conclusivo em afirmar que as características físicas atuais do sistema brasileiro, possuem dependência do comportamento hidrológico futuro e da expansão da geração de energia por meio de termoeletricas, representando um elevado custo de operação, além da sazonalidade de oferta energética das hidrelétricas da região amazônica, as quais contribuem para as significativas variações observadas no PLD (ARFUX, 2011).

Em outro estudo realizado entre 2006 e 2008, na região Sudeste/Centro Oeste do Brasil, foi verificado que os preços de PLD no mercado spot, entre setembro de 2007 e janeiro de 2008, variavam de forma contrária às aflúências (vazão dos rios), justificando a proximidade entre oferta e demanda de energia. Desta forma, a utilização das termoeletricas como medida emergencial de geração de energia pode ser fator desencadeante do aumento dos custos marginais de operação do sistema (SANCHEZ, 2008).

Um trabalho realizado no Brasil, em 2008, mostrou que, a partir de abril de 2005, a falta de investimentos na geração de energia causou uma aproximação entre demanda e oferta, além do fechamento de usinas a gás e baixa aflúência, em 2007, contribuindo para a elevação do PLD em todos os quatro submercados. Em dezembro de 2007, a seca intensa na região Nordeste permitiu a ordem de abertura para a produção de energia pelas termoeletricas, fator este responsável pelo aumento do PLD (CASTRO; LEITE, 2008).

## Conclusões

A mudança proposta para o setor elétrico brasileiro a partir da década de 1990 obrigou ao governo brasileiro promover uma melhora nos investimentos e serviços prestados à população. Esta nova perspectiva apresentou um modelo de competição visando o Mercado Livre de energia, e trouxe ótima perspectiva ao setor industrial, pois a redução de custos com energia elétrica permite em maior competitividade na indústria, agregando atratividade dos produtos para novos mercados, além da redução de seu preço final.

Neste estudo, realizou-se uma revisão de literatura sobre o desenvolvimento e a atual situação da legislação brasileira sobre o mercado livre de energia, no qual foram apresentados o histórico e as regulações para este mercado. Após, realizou-se uma análise descritiva sobre o preço médio do PLD da energia elétrica comercializada no Mercado Livre para as quatro regiões do Brasil, além do ajuste de um modelo de previsão de Holt-Winters multiplicativo.

O ajuste do modelo de série temporal revelou que existe uma variação da média do PLD da energia elétrica para as quatro regiões, sendo que, desta forma, foi possível verificar que o comportamento da série apresentou alguns períodos com tendência crescente, além de períodos de variabilidade ao longo dos registros, não havendo diferença significativa entre as médias do PLD.

Posteriormente, verificou-se também, que a tendência e sazonalidade são significativas para as quatro regiões, sendo considerados os modelos que apresentaram o menor valor para os critérios de qualidade de previsão.

Dessa forma, o modelo de Holt-Winters multiplicativo foi o que melhor se ajustou, entre os modelos estudados aos valores do PLD, podendo ser utilizado como referência básica para os consumidores e/ou geradores de energia.

Entretanto, salienta-se que, modelos de séries temporais mais complexos podem produzir ajustes e valores previstos com maior acurácia, apesar de requererem maior conhecimento técnico para sua utilização.

Neste sentido, sugere-se para estudos futuros, o ajuste de modelos da classe Box-Jenkins e a utilização de modelos de séries temporais, dentre eles, o modelo ARMAX, com objetivo de estabelecer uma análise sobre a influência do índice pluviométrico para a formação do PLD. 0

## Referências

- ABRACEEL, Associação Brasileira dos Comercializadores de Energia. *Audiência Pública Conjunta: Projeto de Lei nº 1917 Portabilidade da conta de luz*. Setembro de 2015. Acesso em: 30 ago 2016. Disponível em: <https://shorturl.at/opSWZ>.
- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. *Capacidade de Geração no Brasil*. 2016. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>. Acesso em: 25 fev 2016.
- ARFUX, G.A.B. *Definição de Estratégia de Comercialização de Energia Elétrica via Métodos de Otimização Estocástica e Análise Integrada de Risco*. 2011. 44 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.
- CASTRO, N. J.; LEITE, A. L. S.; *Preço spot de eletricidade: teoria evidências do caso brasileiro*. 2008. Disponível em: <https://shorturl.at/ckzWY>. Acesso em: 23 dez 2016.
- CCEE, *O Processo de Comercialização. Desenvolvido por Câmara de Comercialização de Energia Elétrica*, São Paulo 2016. Acesso em: 30 ago. 2016. Disponível em: [https://www.ccee.org.br/portal/faces/publico/onde-atuamos/setor\\_eletrico](https://www.ccee.org.br/portal/faces/publico/onde-atuamos/setor_eletrico).
- CCEE, *O Processo de Comercialização. Desenvolvido por Câmara de Comercialização de Energia Elétrica*, São Paulo 2011. Acesso em: 04 jan.2016. Disponível em: <https://shorturl.at/beuQ6>.
- CHASE, R. B.; JACOBS, F. R.; AQUILANO, N. J. *Administração da produção para a vantagem competitiva*. 10. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. 724 p
- COSTA, R. C.; PIEROBON, E. C. *Leilão de energia nova: análise da sistemática e dos resultados*. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 27, p. 39-57, mar. 2008.
- GANDRA, A. Custo Médio da Energia para a Indústria Nacional sobre 48% no início do ano de 2015. EBC: *Empresa Brasil de Comunicação*. Mar, 2015. Acesso em: 20 dez 2015. Disponível em: <https://shorturl.at/czEW2>.
- GODOY, M.V. *Análise de Sistemas de Potência*. Recife – PE, 2000. CD-ROM.
- GOMES, A. C. S.; ABARCA, C. D. G.; FARIA, E. A. S. T.; FERNANDES, H. H. O. *BNDES 50 Anos – Histórias Setoriais: O Setor Elétrico*, BNDES, dez/2002. Acesso em: 1 mar 2016. Disponível em: [http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes\\_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/livro\\_setorial/setorial14.pdf](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/livro_setorial/setorial14.pdf).
- GUJARATI, D.N. *Basic Econometrics*. 4ª ed., New York: McGraw-Hill, 2004. 1003 p.
- LAWRENCE, K. D.; KLIMBERG, R. K.; LAWRENCE, S. M. *Fundamentals of Forecasting Using Excel*. New York: Industrial Press Inc., 2009. 196 p.
- MARTINS, J. R.; CELESCUEKCI, H. *O novo Modelo do Setor Elétrico Brasileiro – Lei 10.848/04*. Relatório Trench, Rossi, Wantabe e Mackenzie Advogados Associados. São Paulo, 2004. 120p.
- MELO, A.C.G. Competitive Generation Agreements in Latin American Systems with Significant Hydro Generation – The Brazilian Case. *IEEE Power Engineering Review*, p.12-14, 1999.
- MME, Ministério de Minas e Energia. *Resenha Energética Brasileira: resumo 2014*. Acesso em: 10 dez 2015. Disponível em: <https://shorturl.at/mtuTY>.

- MORCH, R.B., CORREIA., A.B, LEITE., A. L.S, BUENO, C. R. e COGAN, S. A estratégia de mercado das geradoras hidrelétricas: uma análise à luz da teoria das restrições, *Revista Eletrônica de Gestão Organizacional*, v. 7, 2010.
- MOREIRA, D. A. *Administração da produção e operações*. 2. Ed. São Paulo: Cengage Learning, 2011. 624 p.
- MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. *Análise de Séries Temporais*. São Paulo: Edgard Blucher LTDA, 2004, 535 p.
- MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. *Previsão de Séries Temporais*. 2º edição, São Paulo: Editora Atual Editora LTDA, 1987, 436p.
- MORETTIN, P.A.; TOLOI, C.M.C. *Análise de séries temporais*. São Paulo: Edgard Blücher, 2006. 544 p.
- MUN, J. *Modeling Risk: Applying Monte Carlo Simulation, Real Options Analysis, Stochastic Forecasting and Portfolio Optimization*. 1. ed., New Jersey: John Wiley & Sons, 2006.
- ONS, OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. *Atuação do ONS*. Fevereiro de 2016. Disponível em: <http://www.ons.org.br>. Acesso em: 30 ago 2016.
- PELLEGRINI, F.R.; FOGLIATTO, F. Estudo comparativo entre modelos de Winters e de Box-Jenkins para a previsão de demanda sazonal. *Revista Produto & Produção*. Vol. 4, número especial, p.72-85, 2000.
- PRECHEL, H. Corporate power and US economic and environmental policy, 1978-2008. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*. 2012.
- RITZMAN, L. P.; KRAJEWSKI, L. J. *Administração da Produção e operações*. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2004.
- SANCHEZ, J.C.M. *Estudo da negociação de contratos bilaterais de energia em sistemas predominantemente hidráulicos*. 2008. 45 f Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Brasília, Brasília, 2011.
- AGGARWAL, S.K.; SAINI, L.M.; KUMAR, A. *Eletricidade. Previsão em mercados desregulamentados: Uma Revisão e Avaliação*. Int'l J. Energia Elétrica e Sistemas de Energia, v. 31, 2009.
- SLACK, N.; et al. *Administração da produção*. Tradução de Maria Teresa Corrêa de Oliveira. São Paulo: Atlas, 2009.
- SNYDER, R. D.; SHAMI, R. G. Exponential Smoothing of Seasonal Data: A Comparison. *Journal of Forecasting*. v. 20, p. 197-202, 2001.
- TOLMASQUIM, M.T. *Novo Modelo do Setor Elétrico Brasileiro*. Rio de Janeiro: Synergia; EPE: Brasília, 2011.
- VARGAS, B. et al. *Modeling extended lactations of dairy cows*. *Journal of Dairy Science*, Champaign, v. 83, n. 3, p. 1371-1380, Mar. 2000.
- WINTERS, P. R. Forecasting sales by exponentially weighted moving averages. *Management Science*, v. 6, n 3, p. 324-342, 1960.