

ANÁLISE DA PREVISÃO DE SÉRIES TEMPORAIS ATRAVÉS DA MODELAGEM HOLT WINTERS PARA O PREÇO DE LIQUIDAÇÃO DAS DIFERENÇAS (PLD)

ANALYSIS OF THE TIME SERIES FORECAST THROUGH HOLT WINTERS MODELING FOR THE SETTLEMENT PRICE OF DIFFERENCES (PLD)

Anny Key de Souza Mendonça

Doutora em Engenharia de Produção na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Pós-doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (UFSC)

Professora do Departamento de Engenharia de Produção (UNISUL), Balneário Camboriú

anny.mendonca@posgrad.ufsc.br

Silvio Aparecido da Silva

Doutor em Engenharia de Produção na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Santa Catarina (IFSC)

silvioest@gmail.com

Antonio Cezar Bornia

Doutor em Engenharia de Produção na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Professor do Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas e do Programa de Pós-

Graduação em Engenharia de Produção (UFSC)

cezar.bornia@ufsc.br

Resumo:

O Setor Elétrico Brasileiro alterou a tradicional estrutura verticalizada, onde uma empresa era responsável pelas atividades de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica aos consumidores finais, e introduziu a competição no mercado de energia elétrica. Este mercado têm sido estimulado para se desenvolver, de modo a proporcionar eficiência e crescimento econômico por meio da competição e da sustentabilidade, com garantia de fornecimento de energia, com qualidade, confiabilidade e preço justo aos consumidores. A comercialização de energia no ambiente de contratação livre, é realizada com base no mercado de curto prazo, determinado pelo preço da liquidação de diferenças (PLD). Este estudo analisa a evolução do PLD e utiliza o método de previsão para prever o PLD através dos métodos de *Holt Winters* utilizando o pacote *Forecast*.

Para isso, foi manipulada uma série temporal do PLD do mercado de energia elétrica disponível no site da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica para o período entre maio de 2003 e outubro de 2020. Como resultado, os indicadores de desempenho do erro percentual absoluto médio (MAPE) e a raiz do erro quadrático médio (RMSE) indicaram que o modelo multiplicativo de *Holt-Winters* com erros multiplicativo apresentou o melhor modelo.

Palavras-chave: Mercado livre de energia. Estratégias de comercialização. PLD. Previsão. Holt Winters.

Abstract:

The Brazilian Electricity Sector changed the traditional vertical structure, where a company was responsible for the activities of generation, transmission and distribution of electric energy to final consumers, and introduced competition in the electric energy market. This market has been stimulated to develop, in order to provide efficiency and economic growth through competition and sustainability, with guaranteed energy supply, with quality, reliability and fair price to consumers. The commercialization of energy in the free contracting environment is carried out based on the short-term market, determined by the settlement price of differences (PLD). This study analyzes the evolution of the PLD and uses the forecasting method to predict the PLD using Holt Winters' methods using the Forecast package. For this, a time series of the PLD of the electric energy market available on the website of the Electric Energy Commercialization Chamber for the period between May 2003 and October 2020 was manipulated. As a result, the performance indicators of the average absolute percentage error (MAPE) and root mean square error (RMSE) indicated that the Holt-Winters multiplicative model with multiplicative errors presented the best model.

Keywords: Free Energy Market. Marketing Strategies. PLD. Forecast. Holt Winters.

1 INTRODUÇÃO

O Sistema Elétrico Brasileiro (SEB) era formado por empresas verticalizadas, estatais, detentoras das atividades de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, com aporte de recursos públicos para financiar as melhorias do sistema, como a construção de usinas, linhas de transmissão e os sistemas de distribuição (CCEE, 2010). Desde a década de 1990, o SEB vem se modificando e estas modificações foram indispensáveis para viabilizar a expansão da capacidade de geração de energia elétrica decorrente do aumento da demanda.

Diversas são as leis, decretos, portarias e resoluções definindo os limites e formas de atuação dos agentes no Setor Elétrico Brasileiro. As principais leis que regem as atividades do setor são apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Principais leis que regem as atividades do setor elétrico brasileiro

Lei	Descrição
8.987/95	Dispõe sobre o regime de concessão e permissão de serviço público prevista no art, 175 da Constituição Federal.
9.074/95	Apresenta quais serviços são objetos de concessão.
9.427/96	Criou a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), disciplinando o regime das concessões de serviço público de energia elétrica.
10.847/2004	Autorizou a criação da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), visando introduzir competição no mercado, permitir a diversificação das tecnologias de geração de energia e garantir a segurança do suprimento.
10.848/2004	Coordena a Comercialização de Energia Elétrica (Brasil, 2002).
12.783/13	Dispõe sobre as concessões de geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica, bem como, sobre a redução dos encargos setoriais e sobre a modicidade tarifária.
13.203/15	Trata da repactuação do risco hidrológico de geração de energia elétrica.
13.280/2016	Disciplina a aplicação dos recursos destinados a programas de eficiência energética, estimulando as concessionárias e permissionárias de distribuição de energia elétrica aplicarem até 80% dos recursos de seus programas de eficiência energética em unidades consumidoras beneficiadas pela Tarifa Social de Energia Elétrica.
13.299/2016	Altera a Lei nº 9.074 e a nº 9.427
13.360/2016	Trouxe mudanças ao Ambiente de Contratação Livre (ACL), permitindo a venda de energia excedente das distribuidoras e o fim da restrição de tensão para os Consumidores Livres no ACL.

Fonte: Elaborado pelos autores, (2021).

O início da reforma institucional foi marcada pela promulgação da Lei nº 9.074/95, que incentiva a iniciativa privada a participar no setor de geração de energia elétrica, criando a figura do Produtor Independente de Energia (PIE) e estabelecendo a possibilidade de uma empresa privada produzir e comercializar energia elétrica, o que antes era prerrogativa exclusiva de concessionárias estatais de geração (BRASIL, 1995).

A reestruturação do modelo institucional do SEB foi concebida sob um ideal de equilíbrio entre os agentes do governo (TOLMASQUIM, 2011). Entre os principais agentes institucionais do SEB que apoiam e/ou coordenam atividades setoriais, a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) é responsável por viabilizar e gerenciar a comercialização de energia elétrica no país, bem como promover leilões de compra e venda de energia elétrica para as distribuidoras (CCEE, 2019).

Hoje o parque gerador brasileiro é formado em sua maior parte por grandes centrais hidrelétricas, cujo despacho centralizado objetiva o pleno atendimento à carga, utilizando a capacidade de produção de forma ótima, isto é, ao menor custo global (RIBEIRO, 2015).

De acordo com Ribeiro (2015) além dos custos de produção, a capacidade de atendimento à demanda futura deve ser considerada. As usinas térmicas por exemplo, representam um papel fundamental em sistemas com grande participação de fontes cuja disponibilidade é sazonal, complementando a produção de energia em situações adversas (RIBEIRO, 2015).

Com um parque gerador diversificado, os agentes geradores, buscam estabelecer contratos de longo prazo, como mecanismo de defesa para os períodos de preços baixos, no entanto, acreditam que estar com sua capacidade de produção descontratada nos momentos em que o preço de curto prazo (PLD) aumenta, seria benéfico, pois permitiria obter ganhos com a venda de energia a preços elevados (RIBEIRO, 2015), já os consumidores buscam reduzir custos com a possibilidade de contratação de energia no ambiente livre.

Esta pesquisa tem como objetivo construir modelos de previsão de séries temporais para o preço de liquidação das diferenças (PLD), que é o preço de curto prazo da energia elétrica comercializada no Brasil, pelo qual são liquidadas as diferenças entre energia contratada e gerada, e selecionar aquele com melhor desempenho, ou seja, menores erros.

2 O MERCADO BRASILEIRO DE ENERGIA ELÉTRICA

2.1 AMBIENTE DE COMERCIALIZAÇÃO

As relações comerciais entre os agentes participantes do processo de comercialização de energia elétrica no Brasil são estabelecidas por contratos de compra e venda de energia negociados por dois ambientes: o Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e o Ambiente de Contratação

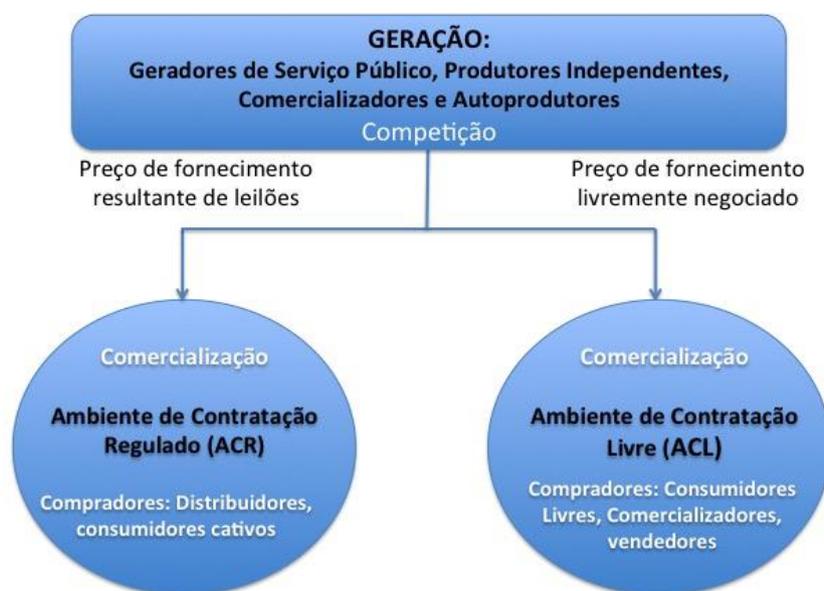
Livre (ACL). Os agentes são classificados como:

- **Geração:** Exerce uma atividade competitiva, são categorizados pelos Agentes Geradores, Produtores Independentes e Autoprodutores. Os Geradores produzem e vendem energia por sua conta e risco, os preços são praticados como resultado da venda através de leilões com distribuidoras ou livremente negociados com comercializadoras;
- **Distribuição:** Exerce uma atividade regulada, são categorizados pelos Agentes Distribuidores, são prestadores de serviços público de venda de energia aos consumidores com tarifa e condições de fornecimento reguladas pela ANEEL (Consumidores Cativos). Os distribuidores têm participação obrigatória no ACR, celebrando contratos de energia com preços resultantes de leilões;
- **Transmissão:** Exerce uma atividade regulada, desempenhando suas atividades como prestadora de serviço público. Têm a obrigação legal de atender todos os usuários por meio de contrato de uso do sistema de transmissão (CUST) e contrato de conexão do sistema de transmissão (CCT);
- **Comercialização:** Exerce uma atividade competitiva, são categorizados pelos Agentes Comercializadores que compram energia por meio de contratos bilaterais celebrados no ACL, e podem vender energia aos consumidores livres no próprio ACL, e/ou aos distribuidores pelos leilões do ACR. Os consumidores livres podem escolher seu fornecedor de energia elétrica por meio de livre negociação.

Com a finalidade de garantir a expansão da oferta de energia elétrica, o SEB estabeleceu a contratação obrigatória, prévia e integral da demanda de energia projetada pelas distribuidoras. Os agentes de geração e de comercialização podem vender energia elétrica nos dois ambientes, mantendo o caráter competitivo da geração.

A Figura 1 apresenta os dois modelos de comercialização de energia elétrica em vigor no Brasil.

Figura 1- Modelo de Comercialização de Energia Elétrica



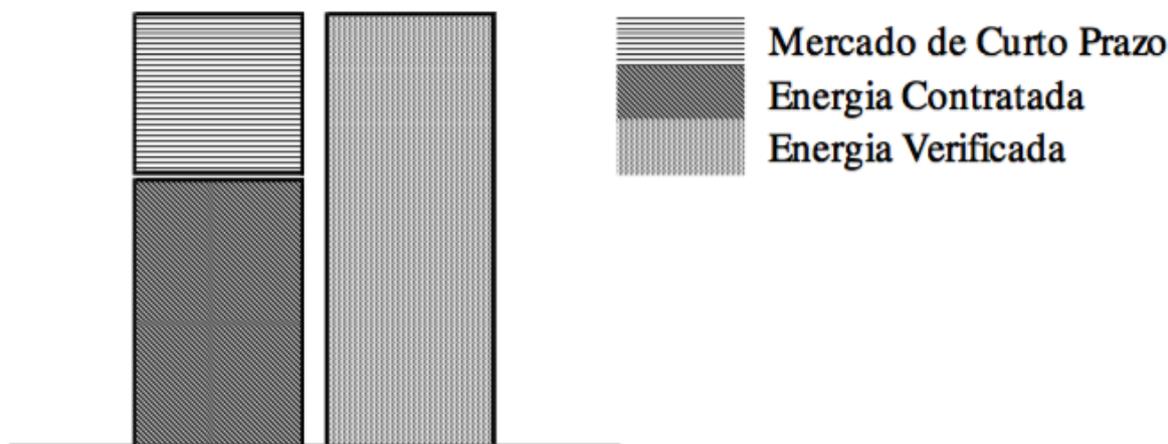
Fonte: Adaptado de (MME, 2003).

Os leilões de compra de energia no ACR são unilaterais, ou seja, somente os produtores de energia podem fazer lances e há um único comprador, sendo uma empresa estatal. Os vencedores são os produtores de energia que ofertam a eletricidade pela menor tarifa.

2.2 PREÇO DE LIQUIDAÇÃO DAS DIFERENÇAS (PLD)

O PLD é utilizado para valorar a compra e venda de energia no mercado de curto prazo. A CCEE considerando os contratos e os dados de medição registrados pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), contabiliza as diferenças entre a energia verificada e a energia contratada e valoriza essas diferenças através do PLD no mercado de curto prazo, representada pela Figura 2.

Figura 2 - Contabilização do mercado



Fonte: Coral (2013).

Esta diferença é comprada ou vendida. Se a carga verificada supera o total de contratos, a distribuidora é compradora da diferença neste mercado, caso contrário, ela passa a ser vendedora (CORAL, 2013).

De acordo com Coral (2013), o PLD no Sistema Interligado Nacional (SIN) é calculado através de modelos computacionais de otimização estocástica, tendo como objetivo minimizar o custo total esperado da operação do sistema através da combinação ótima entre geração.

Com base nas condições hidrológicas, na demanda de energia, nos preços de combustível, no custo de déficit, na entrada de novos projetos e na disponibilidade de geração e transmissão, o modelo obtém o despacho de geração ótimo para cada período, definindo a quantidade de geração hidráulica e a geração térmica para cada submercado (Sul, Sudeste/Centro-Oeste, Norte e Nordeste) (FONTOURA, 2011). Para o cálculo do PLD são considerados 3 Patamares de Carga (Leve, Média e Pesada) pelo ONS, que é o agente responsável pela coordenação e controle da operação do SIN.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa se caracteriza como de natureza quantitativa, uma vez que utiliza uma grande quantidade de dados em um período correspondente a maio de 2003 e outubro de 2020. Quanto aos seus procedimentos técnicos, enquadra-se como um estudo quantitativo e exploratório. Do ponto de vista dos objetivos, classifica-se como exploratória e descritiva, pois buscará informações

específicas e características do que está sendo estudado (GIL, 2008).

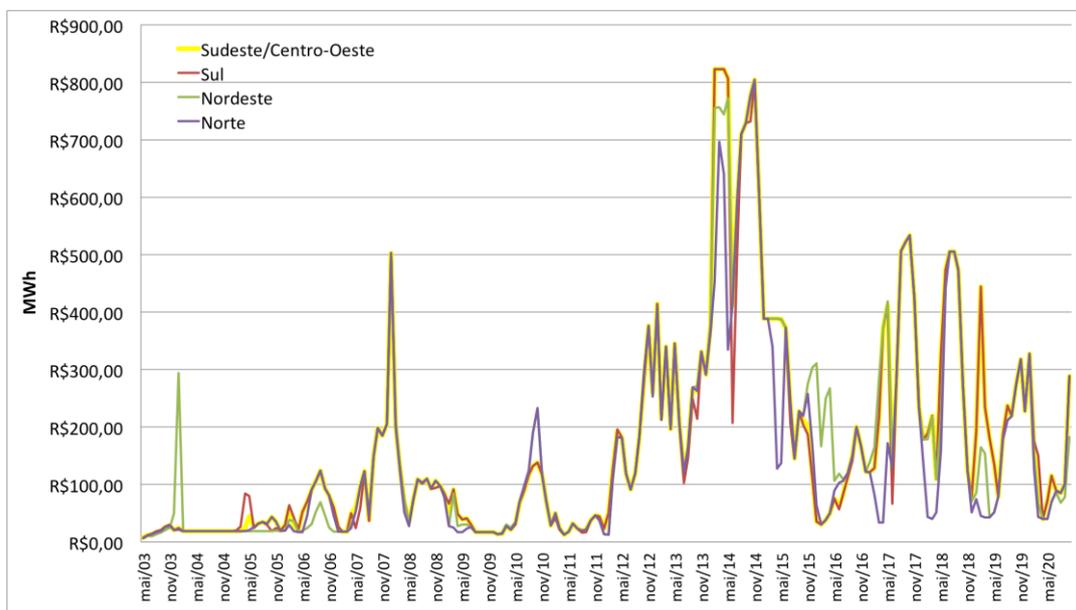
Para realizar as análises e as previsões da variação do preço de liquidação das diferenças (PDL) foi utilizado o software R, com auxílio do pacote Forecast. Para isso, foi manipulada uma série temporal do PLD do mercado de energia elétrica disponível no site da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE). Os dados são referentes a maio de 2003 a outubro de 2020, totalizando 210 observações para cada submercado analisado (Sudeste/Centro-Oeste, Sul, Nordeste e Norte).

Para a análise descritiva, foram calculados a média, a mediana, o desvio-padrão e o valor mínimo e máximo da variação do PLD. Além disso, foi empregando a metodologia de seleção automática de métodos sugerida por (SAMOHYL *et al.*, 2008) para realizar a previsão da média do PLD da energia elétrica. A seleção do melhor modelo ocorre de acordo com o critério do AIC e as previsões apontam o melhor modelo, com parâmetros otimizados, tantos passos a frente, conforme necessário (HYNDMAN e KHANDAKAR, 2007).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A formação de preço de liquidação das diferenças - PLD é apurado pela CCEE, por submercado, conforme determina o Decreto 5.163/2004. A evolução dos PLDs médios mensais no período entre 2003 a 2020 nos quatro submercados (Sudeste/Centro-Oeste, Sul, Nordeste e Norte) que compõem o Sistema Interligado Nacional são apresentados na Figura 3.

Figura 3 - Evolução histórica dos PLDs no mercado de curto prazo



Fonte: Elaborado pelos autores, com base em dados da CCEE (2020).

Esses valores determinam os preços no mercado de curto prazo (MCP), que é o mercado onde são contabilizadas as diferenças entre energia contratada e o que foi gerado e consumido, sendo a base para o preço médio no mercado livre de energia. Note uma elevação nos preços no submercado Nordeste em 2004 e um forte aumento entre 2007 e 2008 em todos os quatro submercados (Sudeste/Centro-Oeste, Sul, Nordeste e Norte). A partir de janeiro de 2012 os preços do PLD voltaram a aumentar, alcançando os maiores preços entre janeiro e dezembro de 2014, reduzindo um pouco, mas permanecendo alto a partir desse ano. Perceba que quem contratou energia em 2014 para consumir em 2015 ou 2016, pagou mais caro do que aqueles que contrataram esta mesma energia alguns meses depois quando o PLD caiu consideravelmente.

A análise descritiva do PLD apresentada na Tabela 1, mostra que os menores valores do PLD registrado no país foi verificado no submercado Norte com o preço de R\$ 6,23 MWh da energia elétrica no ano de 2003. Já os maiores valores foram registrados nos submercados Sudeste/Centro-Oeste e Sul nos meses de fevereiro a abril de 2014 com um PLD igual a R\$ 822,83 MWh da energia elétrica, permanecendo alto no mês de novembro nos quatro submercados com o preço de R\$ 804,54 MWh.

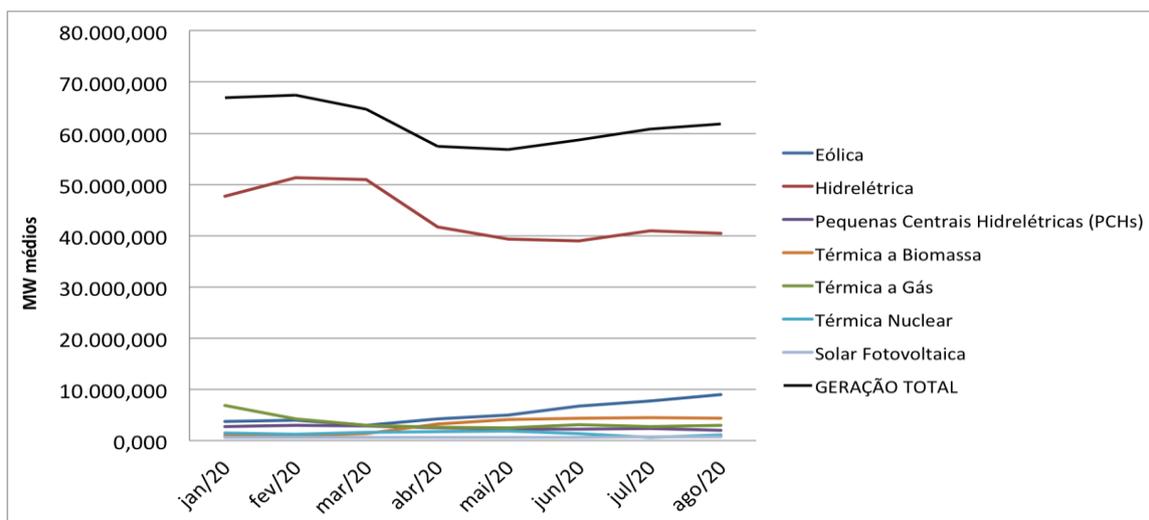
Tabela 1 - Análise descritiva da média do PLD de energia elétrica nos submercados de maio de 2003 a outubro de 2020

Análise descritiva	Sudeste/Centro-Oeste	Sul	Nordeste	Norte
Média	R\$168,54	R\$166,20	R\$167,30	R\$147,76
Mediana	R\$103,89	R\$101,03	R\$107,28	R\$88,90
Desvio padrão	R\$185,61	R\$183,15	R\$182,54	R\$168,91
Mínimo	R\$7,30	R\$7,30	R\$6,34	R\$6,23
Máximo	R\$822,83	R\$822,83	R\$804,54	R\$804,54

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

A geração de energia alcançou o montante de 494.581,81 MW médio/ano entre janeiro a agosto de 2020. Note na Figura 4, que as principais fontes de geração no mês de janeiro foram as hidrelétricas, a térmica movida a Gás e a energia eólica, em agosto as principais fontes foram as hidrelétricas, a eólica e as térmicas movidas a biomassa. A geração de energia em agosto registrou um aumento de 1,1% em relação ao mesmo mês do ano anterior.

Figura 4 - Histórico de geração de energia por fonte em MW médios



Fonte: Elaborado pelos autores com dados da (Ccee, 2020) .

O consumo de energia em 2020 registrou a marca de 495.048,03 MW médios/ano, sendo inferior ao consumo de energia no mesmo período do ano anterior e maior que a geração no

período. Essa queda no consumo de energia se deu em virtude da crise econômica causada pela doença do novo coronavírus (COVID-19). A indústria brasileira recuou 8,6% no acumulado do ano em relação ao ano anterior. A Tabela 2 apresenta a evolução do consumo e o total de consumo por ambiente de contratação. Perceba a retomada do consumo de energia nos meses de julho e agosto no ambiente de contratação livre - ACL.

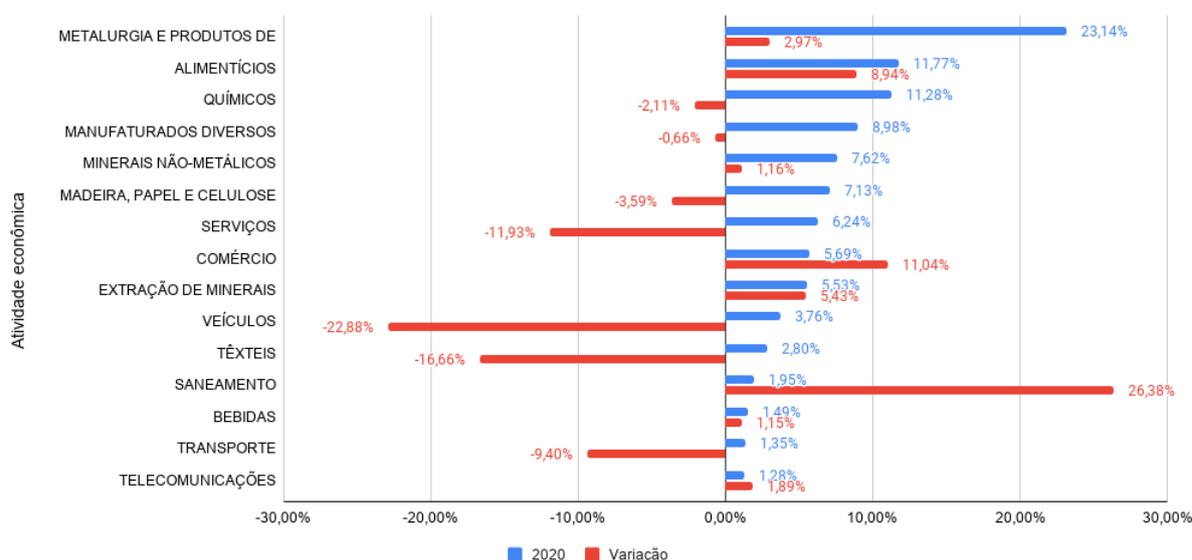
Tabela 2 - Evolução do consumo e o total do ambiente de contratação MW médios

Ambiente	jan/20	fev/20	mar/20	abr/20	mai/20	jun/20	jul/20	ago/20	Total/Ano
ACR	47.038,65	46.558,79	44.912,16	40.473,04	39.135,49	40.325,74	40.847,57	41.289,61	340.581,05
ACL	19.937,52	20.887,93	20.076,83	16.969,22	17.641,88	18.390,83	19.999,55	20.563,22	154.466,98
TOTAL	66.976,18	67.446,72	64.988,99	57.442,26	56.777,36	58.716,57	60.847,12	61.852,83	495.048,03
Ambiente	jan/19	fev/19	mar/19	abr/19	mai/19	jun/19	jul/19	ago/19	Total/Ano
ACR	49.781,27	48.246,88	46.085,31	45.626,65	44.101,59	41.788,51	41.116,84	41.785,79	358.532,84
ACL	19.722,36	20.021,17	19.414,65	19.559,16	19.508,43	19.229,81	19.257,40	19.399,35	156.112,34
TOTAL	69.503,63	68.268,05	65.499,96	65.185,80	63.610,02	61.018,32	60.374,24	61.185,15	514.645,17

Fonte: Elaborado pelos autores com dados da (CCEE, 2020).

O consumo de energia no ambiente de contratação regulado (ACR) apresentou uma queda maior em relação ao consumo no ambiente de contratação livre (ACL). Esta queda maior no ACR reflete a migração dos clientes do ambiente ACR para o ACL. A retomada do consumo de energia do ACL se dá pelo aumento no consumo em 8 dos 15 setores de atividades econômicas. A Figura 5 apresenta a variação do aumento do ACL por setor econômico. O setor que mais cresceu foi o de saneamento (26,4%) seguido pelo setor de comércio (11,0%) e alimentos (8,9%). Já os setores que apresentaram maiores retração foram o de veículos (-22,9%), o têxtil (-16,7%) e o setor de serviços (-11,9%).

Figura 5 - Evolução do consumo anual no ACL por setor de atividade econômica



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Com o auxílio do software R e empregando a metodologia de seleção automática de métodos sugerida por (SAMOHYL *et al.*, 2008) foi possível realizar a previsão da média do preço de liquidação das diferenças (PLD). Os modelos de suavização exponencial elaborados nesta pesquisa foram, ETS(M,A,N) Método de Holt-Winters com tendência multiplicativa, ETS(M,Ad,M) Método de Holt-Winters com tendência amortecida com erros multiplicativo, e o ETS(M,N,M) Método multiplicativo de Holt-Winters com erros multiplicativo. A Tabela 3 indica os parâmetros de suavização de cada um dos modelos e a Tabela 4 demonstra os critérios de informação AIC, AICs e BIC obtidos.

Tabela 3 - Parâmetros de suavização

Submercado	Modelo	Parâmetros de suavização				Sigma
		alpha	Sigma	gamma	phi	
Sudeste/Centro-oeste	ETS(M,A,N)	0,8798	0,0128			0,4432
Sul	ETS(M,Ad,M)	0,756	1E-04	1E-04	0,9795	0,4924
Norteste	ETS(M,Ad,M)	0,7147	0,0187	1E-04	0,9259	0,6543
Norte	ETS(M,N,M)	0,9999	1E-04			0,5059

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Tabela 4 - Critério de Informação

Submercado	Modelo	Critério de informação		
		AIC	AICc	BIC
Sudeste/Centro-oeste	ETS(M,A,N)	2.739,574	2.739,868	2.756,310
Sul	ETS(M,Ad,M)	2.775,175	2.778,756	2.835,423
Nordeste	ETS(M,Ad,M)	2.855,688	2.859,269	2.915,936
Norte	ETS(M,N,M)	2.685,646	2.688,120	2.735,852

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Considerando as características de tendência e sazonalidade da série temporal, o modelo de suavização exponencial mais adequado é o *Holt Winters*. Este método multiplicativo calcula valores exponencialmente suavizados para o nível, a tendência e o ajuste sazonal da previsão. O método multiplica a previsão de tendência pela sazonalidade, sendo adequado para dados com tendência e sazonalidade que aumentam com o tempo. Resultando em uma previsão com curvas, que reproduz as alterações sazonais nos dados.

A análise do critérios de seleção por erros (Tabela 5) confirmou que o modelo ETS(M,N,M) apresentou os menores erros para todos os indicadores de desempenho calculados, quando comparados com o ETS(M,A,N) e o ETS(M,Ad,M). Portanto, o modelo multiplicativo de *Holt-Winters* com erros multiplicativo apresentou-se como o melhor modelo.

Tabela 5 - Erros médios

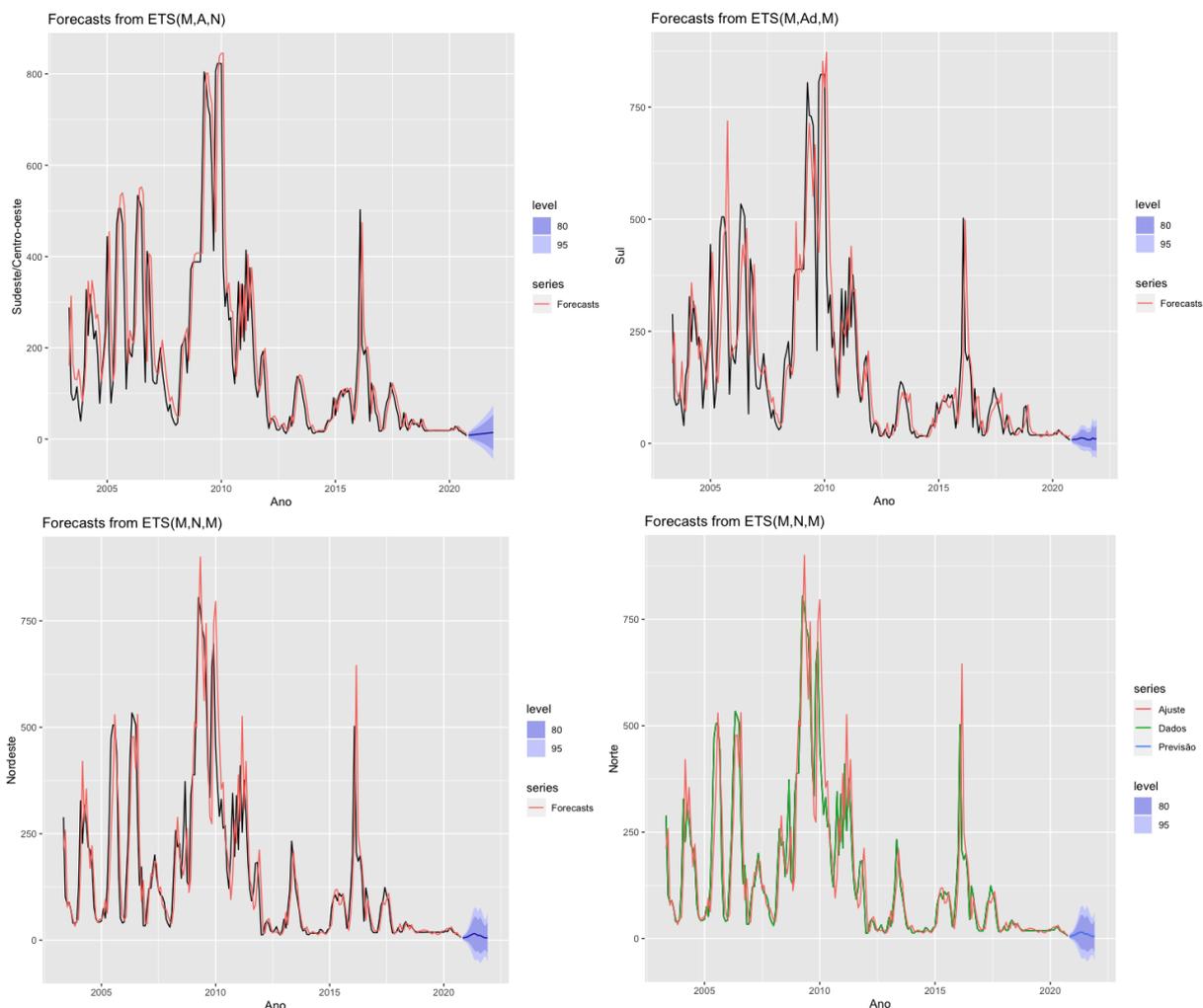
Submercado	Modelo	Critério de informação				
		ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE
Sudeste/Centro-oeste	ETS(M,A,N)	-14,21064	91,54162	55,77171	-26,07642	44,25921
Sul	ETS(M,Ad,M)	-5,224849	101,0586	61,12167	-25,32376	49,81763
Nordeste	ETS(M,Ad,M)	-23,65635	220,0990	82,65730	-33,99983	64,90667
Norte	ETS(M,N,M)	-1,53722	84,91006	49,07647	-13,78820	39,04000

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

A Figura 5 mostra os dezoito últimos anos de dados (2003-2020) e a previsão do PLD com

cada método de *Holt-Winters* selecionado pelo modelo de suavização exponencial para quatorze meses a frente.

Figura 5 - Previsão dos modelos para os próximos quatorze meses



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

A Tabela 6 apresenta as previsões para os valores de PLD para o período de novembro de 2020 a dezembro de 2021 para os quatro submercados, de acordo com os modelos selecionados, além dos valores para os critérios considerados para avaliar a qualidade das previsões.

Tabela 6: Previsão para quatorze meses a frente do PLD da energia

SUBMERCADOS							
Sudeste/Centro-oeste		SUL		Nordeste		Norte	
Forecast							
nov/20	8,37	nov/20	7,77	nov/20	5,40	nov/20	5,09
dez/20	8,85	dez/20	8,92	dez/20	6,52	dez/20	5,90
jan/21	9,33	jan/21	8,68	jan/21	5,63	jan/21	6,74
fev/21	9,82	fev/21	9,43	fev/21	20,68	fev/21	8,88
mar/21	10,30	mar/21	11,21	mar/21	8,99	mar/21	11,40
abr/21	10,79	abr/21	12,59	abr/21	11,34	abr/21	13,90
mai/21	11,27	mai/21	11,93	mai/21	13,95	mai/21	15,55
jun/21	11,76	jun/21	10,69	jun/21	11,16	jun/21	13,94
jul/21	12,24	jul/21	8,41	jul/21	8,05	jul/21	10,76
ago/21	12,73	ago/21	8,45	ago/21	7,32	ago/21	11,28
set/21	13,21	set/21	8,15	set/21	5,68	set/21	8,86
out/21	13,70	out/21	12,36	out/21	4,61	out/21	6,23
nov/21	14,18	nov/21	9,59	nov/21	3,73	nov/21	5,09
dez/21	14,67	dez/21	10,91	dez/21	4,58	dez/21	5,90
MAPE	44,25		49,81		64,90		39,04
RMSE	91,54		101,05		220,09		84,91

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A migração dos clientes do ambiente de contratação regulado (ACR) para o ambiente de contratação livre (ACL) está ligado as tarifas de energia das distribuidoras e o preço da energia praticado no mercado de curto prazo. No ambiente de contratação livre, os consumidores podem negociar condições de compra e venda de energia elétrica

Para isso, existe a necessidade de mecanismos de apoio a tomada de decisão para o planejamento e a comercialização de energia, este artigo teve como objetivo analisar a evolução dos preços de liquidação das diferenças (PLD) que determinam os preços do mercado de curto prazo e

que é a base para o mercado livre de energia, e de prever o PDL através dos métodos de *Holt Winters* com erros multiplicativo alguns passos a frente.

O critério de escolha dos modelos considerou o erro percentual absoluto médio (MAPE) e a raiz do erro quadrático médio (RMSE), indicadores adequados para comparar o desempenho de modelos. O modelo ETS(M,N,M) apresentou os menores erros para todos os indicadores de desempenho calculados, quando comparados com o ETS(M,A,N) e o ETS(M,Ad,M). Dessa forma, o modelo multiplicativo de *Holt-Winters* com erros multiplicativo, apresentou-se como o melhor modelo, sendo o mais adequado para realizar as previsões.

A previsão para o PLD para alguns passos a frente, estão apresentados na Tabela 6 e apresentam uma redução no preço, estimulando ainda mais os clientes do ambiente regulado a migrarem para o ambiente livre.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Lei n. 10.438, de 26 de abril de 2002. Presidência da República Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/2002/L10438.htm, acesso em outubro de 2020. Presidência da República Casa Civil. , 2002.

BRASIL, C. C. Lei no 9.074 de 7 de julho de 1996. Estabelece normas para outorga e prorrogações das concessões e permissões de serviços públicos e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 1995.

CCEE. **Visão geral das operações na CÂMARA, DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**: Versão 2010.

_____. **Razão de Ser**. Câmara de Comercialização de Energia Elétrica, 2019.

_____. Média mensal do Preço de Liquidação das Diferenças (PLD): Preços em formato XLS. Disponível em: https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/o-que-fazemos/como_ccee_atua/precos/precos_medios?_afLoop=530316616216204&_adf.ctrl-state=88y47ozez_93 - !%40%40%3F_afLoop%3D530316616216204%26_adf.ctrl-state%3D88y47ozez_97, acesso em outubro de 2021. 2020.

CORAL, A. M. Planejamento da compra de energia no setor de distribuição. 2013.

FONTOURA, C. **Avaliação de projeto de investimento em usina termelétrica à capim-elefante: uma abordagem pela teoria de opções reais.** 2011. Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social.** 6. ed. Editora Atlas SA, 2008. ISBN 8522451427.

HYNDMAN, R. J.; KHANDAKAR, Y. **Automatic time series for forecasting: the forecast package for R.** Monash University, Department of Econometrics and Business Statistics, 2007.

MENDONÇA, A. K. D. S. et al. Comparing patent and scientific literature in airborne wind energy. **Sustainability**, v. 9, n. 6, p. 915, 2017.

MME. Modelo Institucional do Setor Elétrico. Disponível em: https://www.google.com/search?q=MME++Modelo++de+Comercialização+de+Energia+Elétrica&client=safari&rls=en&source=lnms&sa=X&ved=0ahUKEwijosmF5b7iAhVzFLkGHQLmAbYQ_AUICSgA&biw=765&bih=852&dpr=1, acesso em outubro de 2021.: Ministério de Minas e Energia, Brasília., 2003.

RIBEIRO, L. H. M. **Risco de mercado na comercialização de energia elétrica: uma análise estruturada com foco no ambiente de contratação livre-ACL.** 2015. Universidade de São Paulo

SAMOHYL, R. W.; SOUZA, G. P.; DE MIRANDA, R. G. **Métodos simplificados de previsão empresarial.** Ciência Moderna, 2008. ISBN 8573936665.

TOLMASQUIM, M. T. **Novo modelo do setor elétrico brasileiro.** Synergia, 2011. ISBN 8561325593.