

Série dos Seminários de Acompanhamento à Pesquisa

DEI
DEPARTAMENTO
DE ENGENHARIA
INDUSTRIAL

Número 15 | 09 2021

Modelos de Previsão Horária para o Consumo de Energia Elétrica no Brasil

Autora:
Daiane Oliveira



Série dos Seminários de Acompanhamento à Pesquisa

Número 15 | 09 2021

Modelos de Previsão Horária para o Consumo de Energia Elétrica no Brasil

Autora:

Daiane Oliveira

Orientador: Reinaldo Castro Souza

Coorientadora: Soraida Aguilar

CRÉDITOS:

SISTEMA MAXWELL / LAMBDA
<https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/>

Organizadores: Fernanda Baião / Soraida Aguilar

Layout da Capa: Aline Magalhães dos Santos

Sobre mim:

Graduação: Estatística – Universidade Federal Fluminense (UFF)

Especialização: Finanças – Universidade Federal Fluminense (UFF)

Mestrado:

- (Interrompido em 2019): Estatística – Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG);
- (Em andamento): Engenharia de Produção – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio).

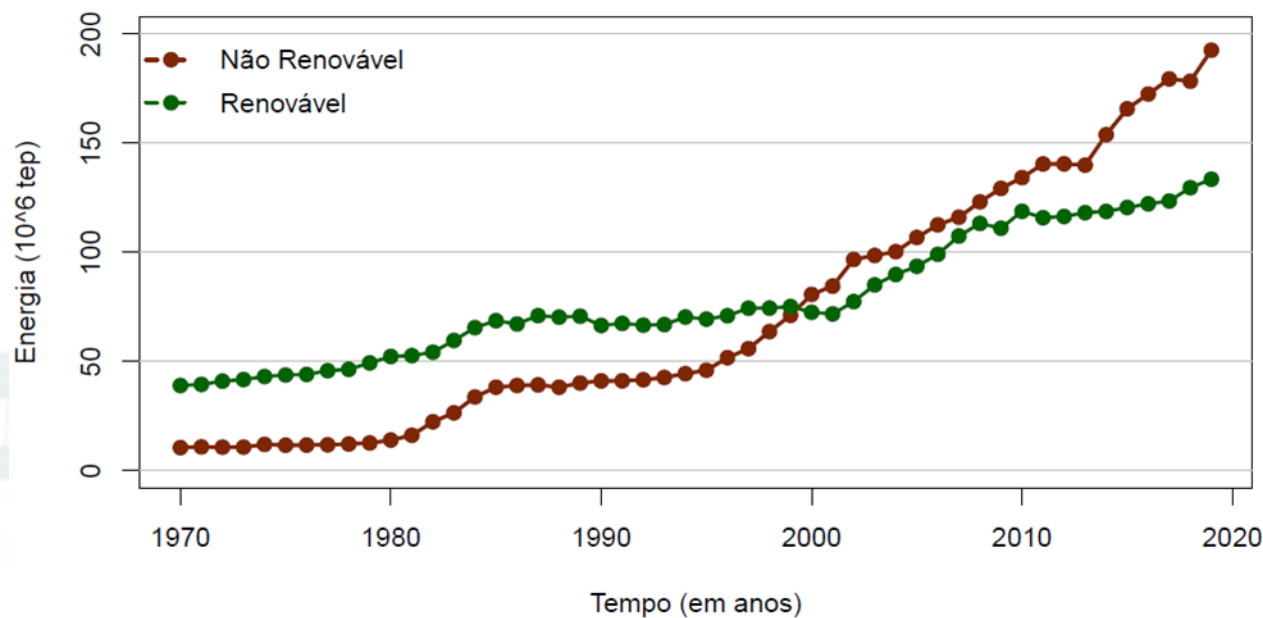
Introdução

As tecnologias são, em sua generalidade, todas as criações concebidas pela humanidade, geradas com o objetivo de ampliar e facilitar a resolução de problemas existentes no cotidiano.



Fontes de Energia

- As fontes de energia são indispensáveis para o desenvolvimento de um país, sendo elas finitas ou esgotáveis;
- Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o mundo possui uma matriz energética composta, essencialmente, por fontes não renováveis, dado que as fontes renováveis representam apenas 14% da matriz energética mundial;
- A matriz energética do Brasil exibe características bem distintas, apresentando um aumento significativo na utilização de fontes renováveis.

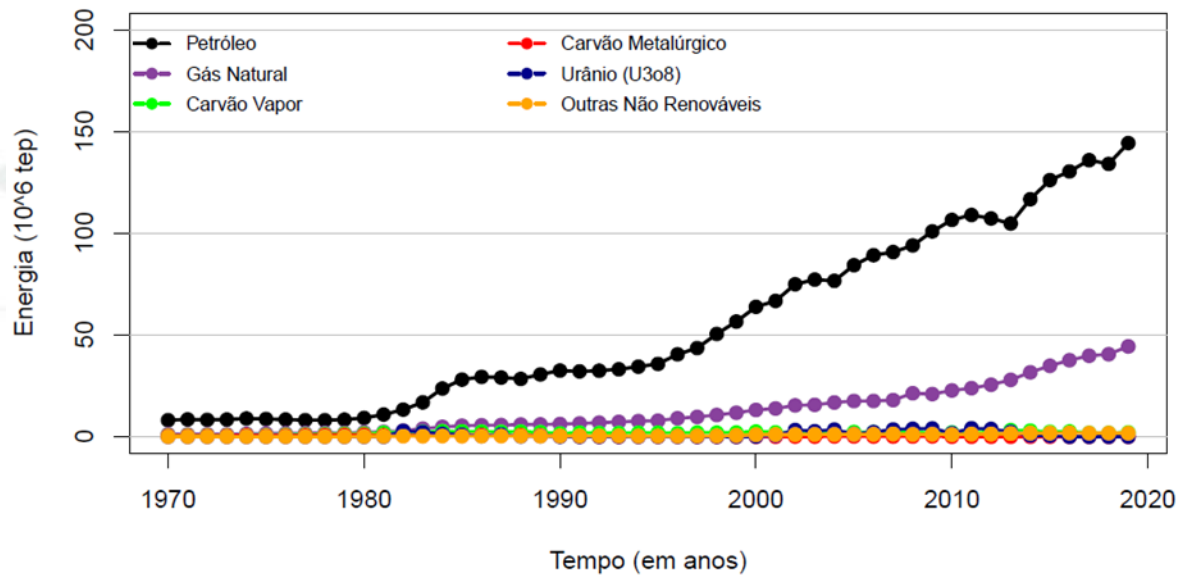


Fonte: Criação Própria

Produção de Energia
Primária (Não
Renovável e Renovável)

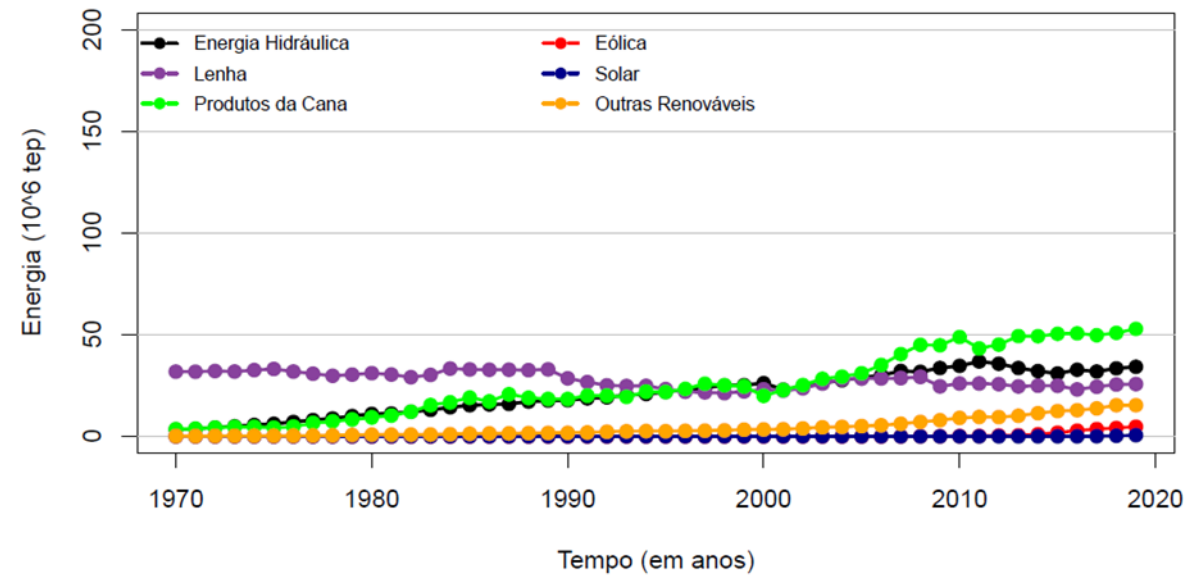
Fontes de Energia

Fontes Não Renováveis



Fonte: Criação Própria

Fontes Renováveis



Fonte: Criação Própria

Geração de Energia Elétrica

- De acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN) de 2020 (ano base 2019), as fontes renováveis caracterizaram 83% da oferta interna de eletricidade no Brasil (considerando a soma dos montantes relativos à produção nacional e importação), sendo 64,9% desta oferta representada pela fonte hídrica;
- Como consequência, a geração elétrica a partir de fontes não renováveis simbolizou apenas 17,7% do total nacional em 2019 e 17,6% em 2018.



Geração de Energia Elétrica

- É visível o crescente aproveitamento de fontes alternativas limpas e sustentáveis, como a eólica e a solar, que já ocupam lugares de destaque na matriz elétrica brasileira;
- Apesar do alto potencial eólico e solar do Brasil, a geração deste tipo de energia é afetada por características intermitentes, como a volatilidade da velocidade do vento e das radiações solares;
- As projeções de demanda no setor elétrico são de extrema importância, pois o consumo de energia é caracterizado não apenas pelas variáveis do próprio sistema de energia, mas também relacionado a fatores socioeconômicos e climáticos.



Objetivo Geral

- A previsão de carga é uma tarefa difícil, porque a série de carga é complexa e exibe vários níveis de sazonalidade;
- O PLD (Preço de Liquidação das Diferenças), elemento que determina os preços do mercado de curto prazo e representa o alicerce para o mercado livre de energia, que antes era calculado com base semanal, mudou, em 2021, para o PLD horário;

Como prosseguir?



Objetivo Geral

- O principal objetivo é prever, através de modelos estatísticos, os novos perfis de carga dos consumidores atentando para a recente dinâmica de precificação e para as novas necessidades que precisam ser atendidas;
- Um dos maiores problemas para a geração deste preço horário está relacionado à necessidade de geração horária e, principalmente, da curva de carga horária;
- Este trabalho se concentrará no perfil da geração de carga horária, visto que a introdução do preço horário requer que as curvas diárias de carga sejam projetadas com precisão (24-horas-à-frente) para que o operador possa designar com erro mínimo, as fontes de geração que irão suprir esta demanda.
- É importante ter informações de micro e minigeração distribuída, trazendo de forma exógena essas informações para determinar como elas afetam as curvas de carga dentro do dia.

- **Participação em Simpósios/Congressos:**

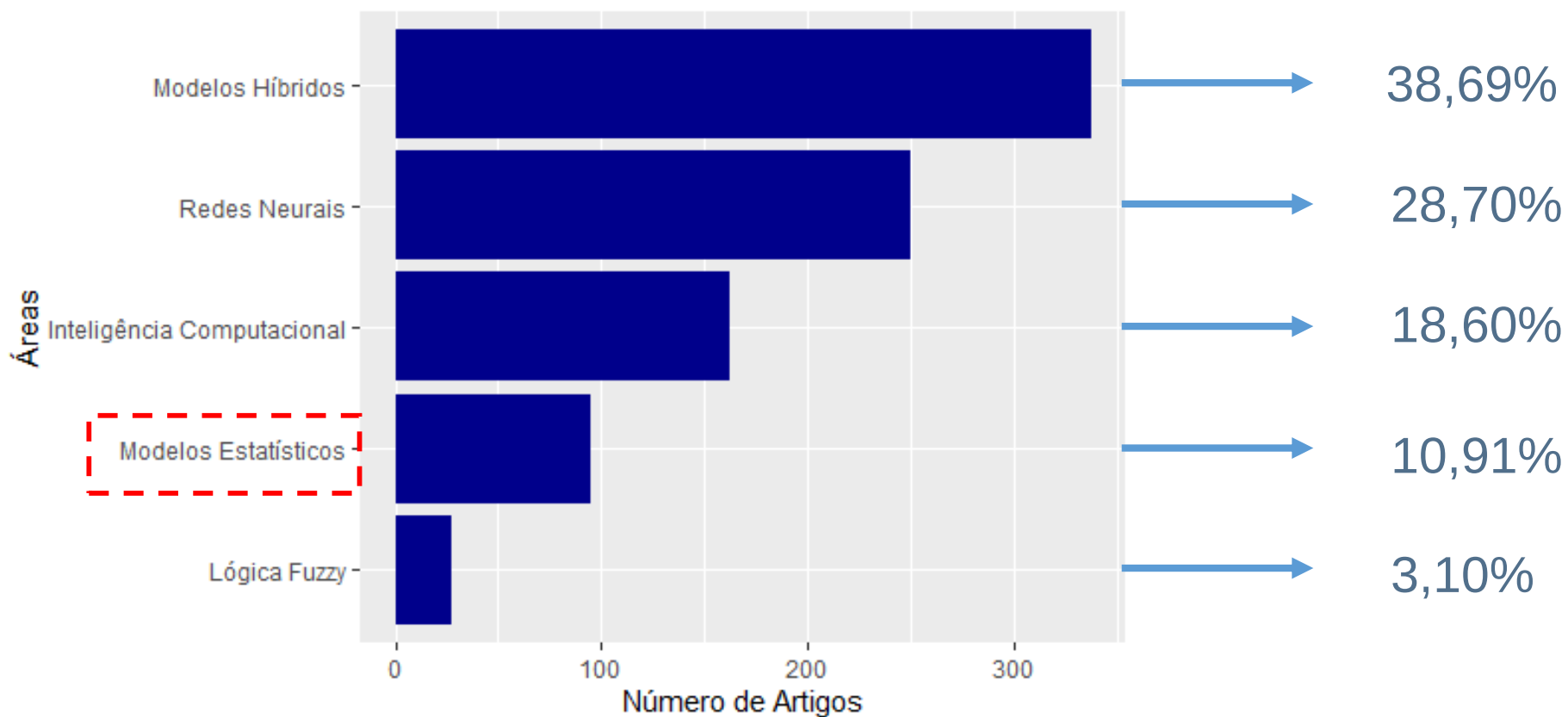
- SBPO – Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (3 a 5 de novembro de 2021);
- SIMEP – Simpósio de Engenharia de Produção (3 a 5 de setembro de 2021);
- SIMPEP (10 a 12 de novembro de 2021).



Revisão Bibliométrica

- *Software* R (Pacote bibliometrix) e Excel;
- Bases: Scopus e Web of Science (total de 1525 artigos);
- Após a leitura do Título e do Resumo: 871 artigos;
- Divisão por áreas de estudo:
 - ✓ Modelos Estatísticos
 - ✓ Inteligência Computacional
 - ✓ Redes Neurais
 - ✓ Modelos Híbridos
 - ✓ Lógica *Fuzzy*

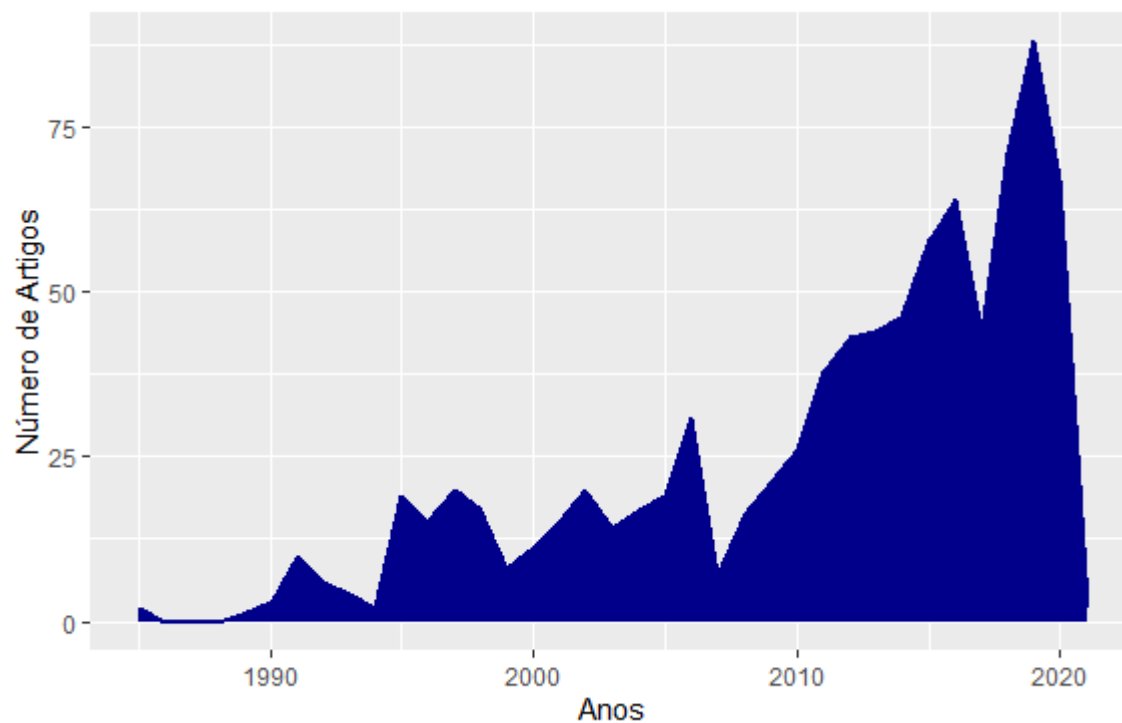
Revisão Bibliométrica



Fonte: Criação Própria

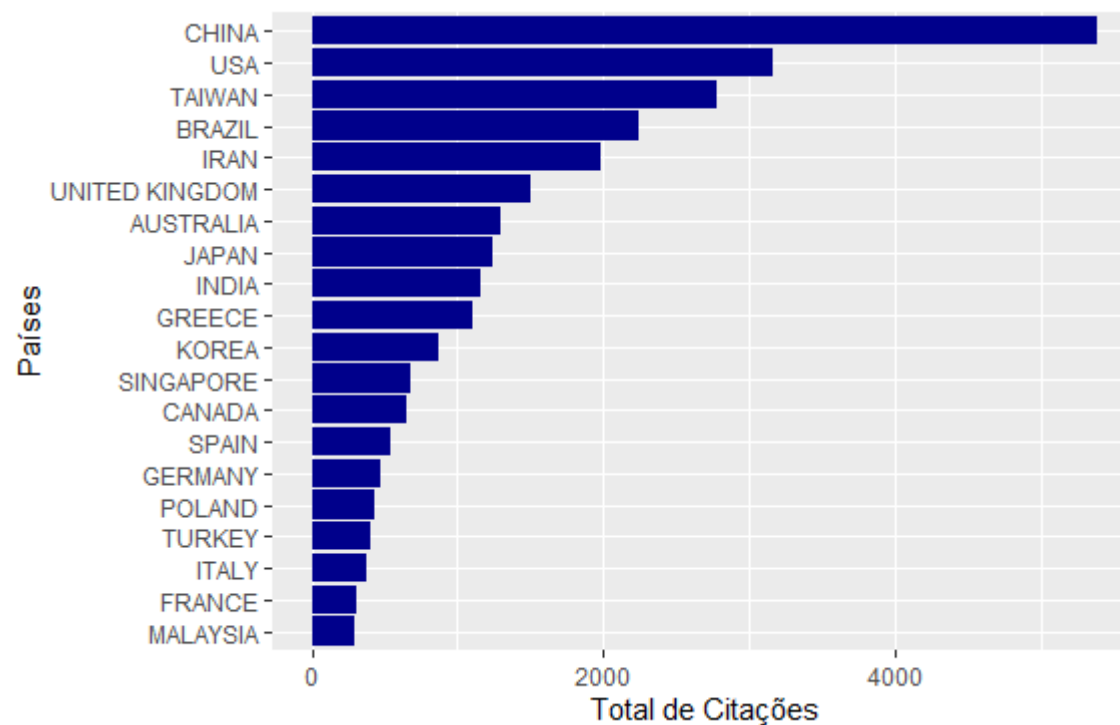
Revisão Bibliométrica

Produção Científica Anual



Fonte: Criação Própria

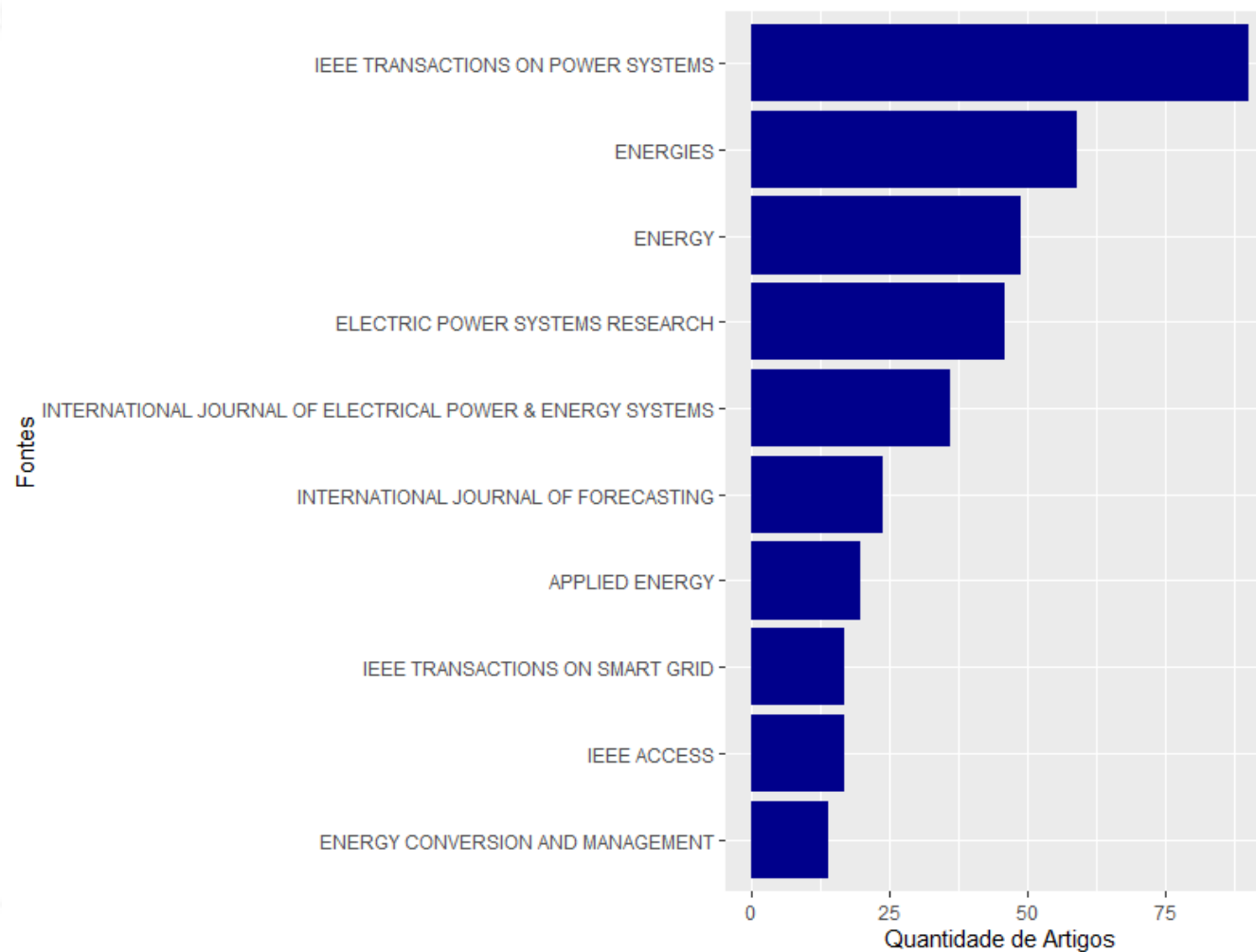
Total de Citações por País



Fonte: Criação Própria

Revisão Bibliométrica

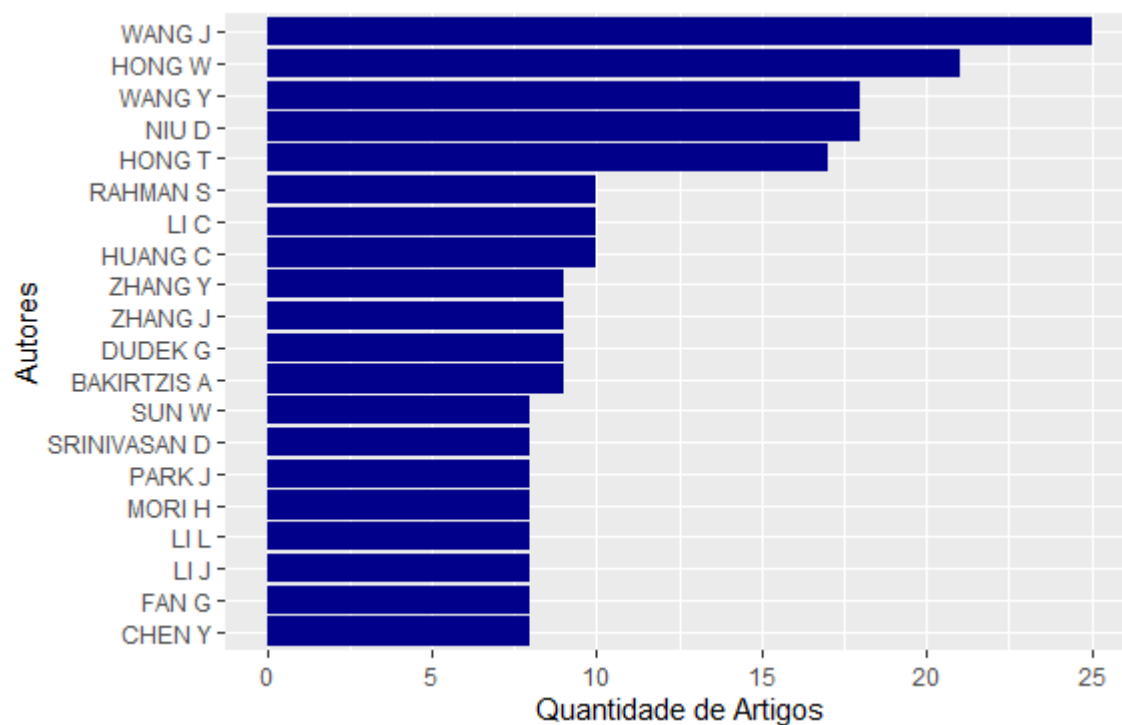
Fontes Mais Relevantes



Fonte: Criação Própria

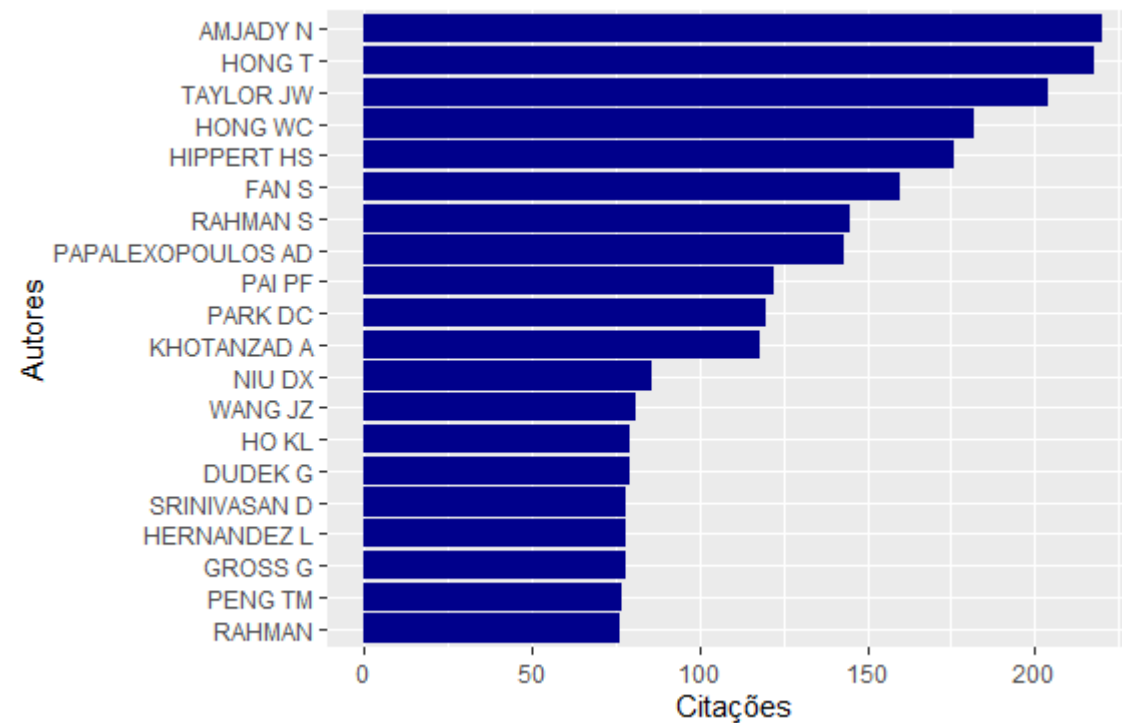
Revisão Bibliométrica

Autores Mais Produtivos



Fonte: Criação Própria

Autores Mais Citados Localmente



Fonte: Criação Própria

Revisão Bibliométrica

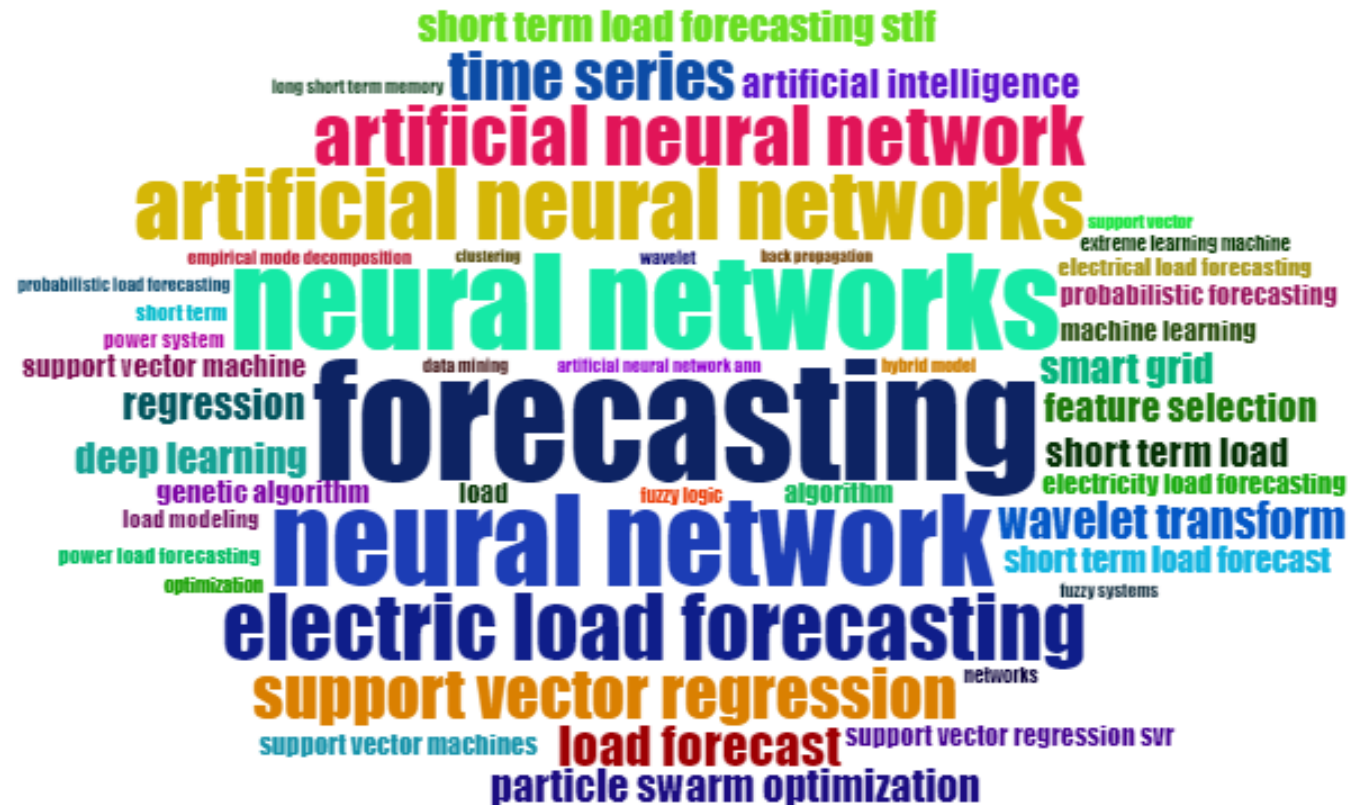
Produção dos principais autores ao longo do tempo



Fonte: Criação Própria

Revisão Bibliométrica

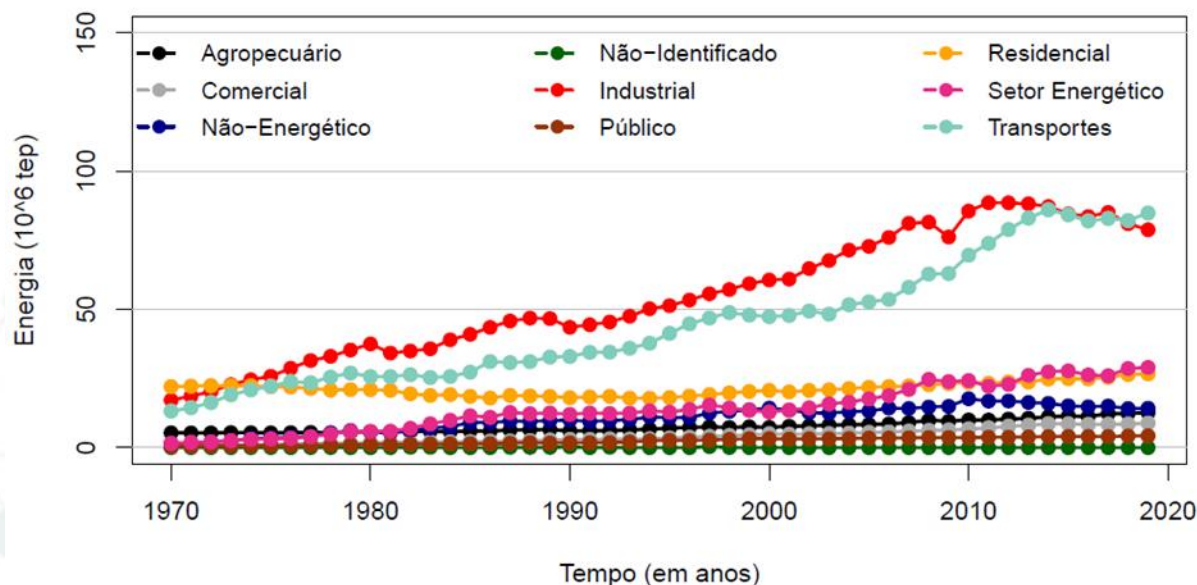
Nuvem de Palavras (Palavra-Chave do Autor):



Fonte: Criação Própria

Perfil da Curva de Carga

- Um perfil de carga é um gráfico da variação da carga elétrica versus o tempo, ou seja, as curvas de cargas demonstram o consumo agregado (de carga elétrica) ao longo do tempo. Este perfil irá variar de acordo com o tipo de cliente, temperatura, dias da semana, feriados...
- Através da curva de carga é possível realizar previsões para a comercialização de energia elétrica;
- Existe a necessidade de modelar as curvas de carga para a obtenção de informações sobre as características de consumo das unidades consumidoras dos diversos segmentos econômicos.

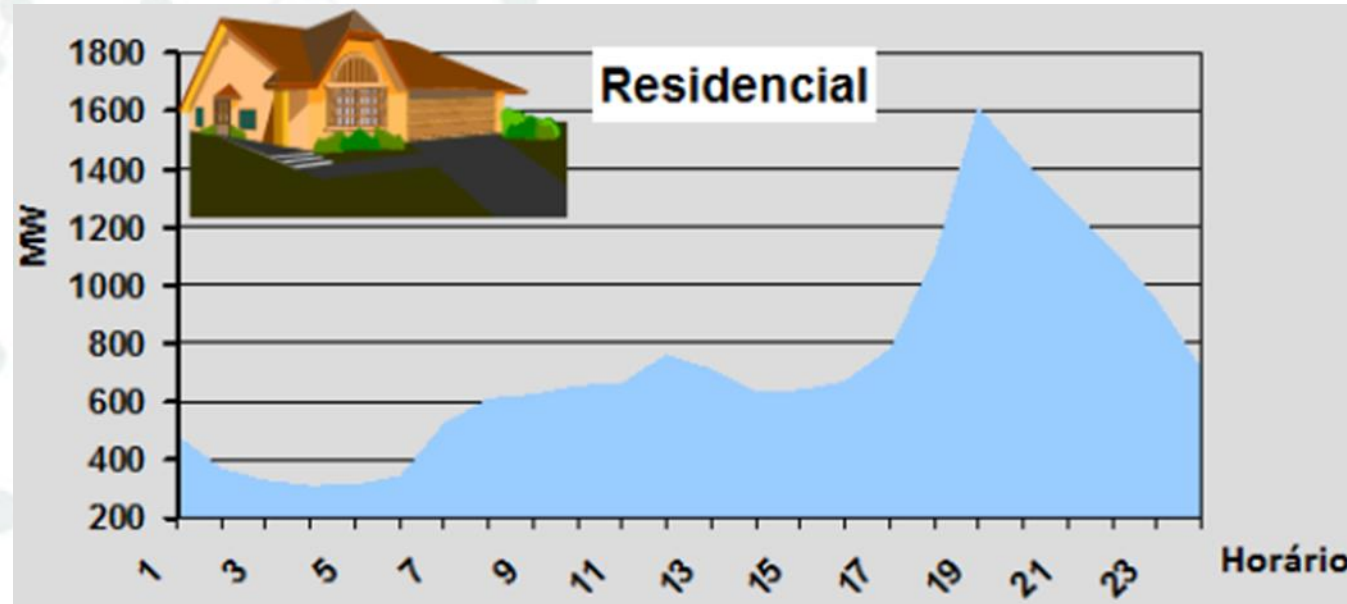


Fonte: Criação Própria

Consumo Final
por Setor

Perfil da Curva de Carga

- Segundo Queiroz (2011), pode-se dizer que o perfil de uma curva de carga residencial é:



Fonte: Queiroz (2011)

Curva de carga típica do SIN (Sistema Interligado Nacional), consumidor residencial.

- Queiroz (2011) destaca que a característica deste tipo de consumidor é de um aumento significativo de consumo entre 18h e 21h, quando começa a diminuir, mantendo-se baixo de madrugada e praticamente constante no decorrer do dia. Isto ocorre devido ao retorno da população às residências após o dia de trabalho.

Modelos Propostos

Modelos Propostos

Análise Espectral Singular –
SSA
(filtrar o sinal)

Método de Amortecimento
para Séries com Múltiplos
Ciclos (Holt-Winters com Dois
Ciclos)

Modelos de Box & Jenkins

Método de Amortecimento Exponencial (Séries Sazonais)

- No caso das observações serem resultantes de uma série temporal que apresenta uma repetição periódica definida (sazonalidade), é de extrema importância incluir essa informação ao nível médio da série estudada;
- **Modelagem via fatores sazonais:** parte periódica modelada por fatores sazonais discretos;
- Basicamente, são incorporados à componente de nível médio $\mu(t)$ (constante, linear e quadrática), os fatores sazonais ρ_t ;
- **Duas classes de modelos:**

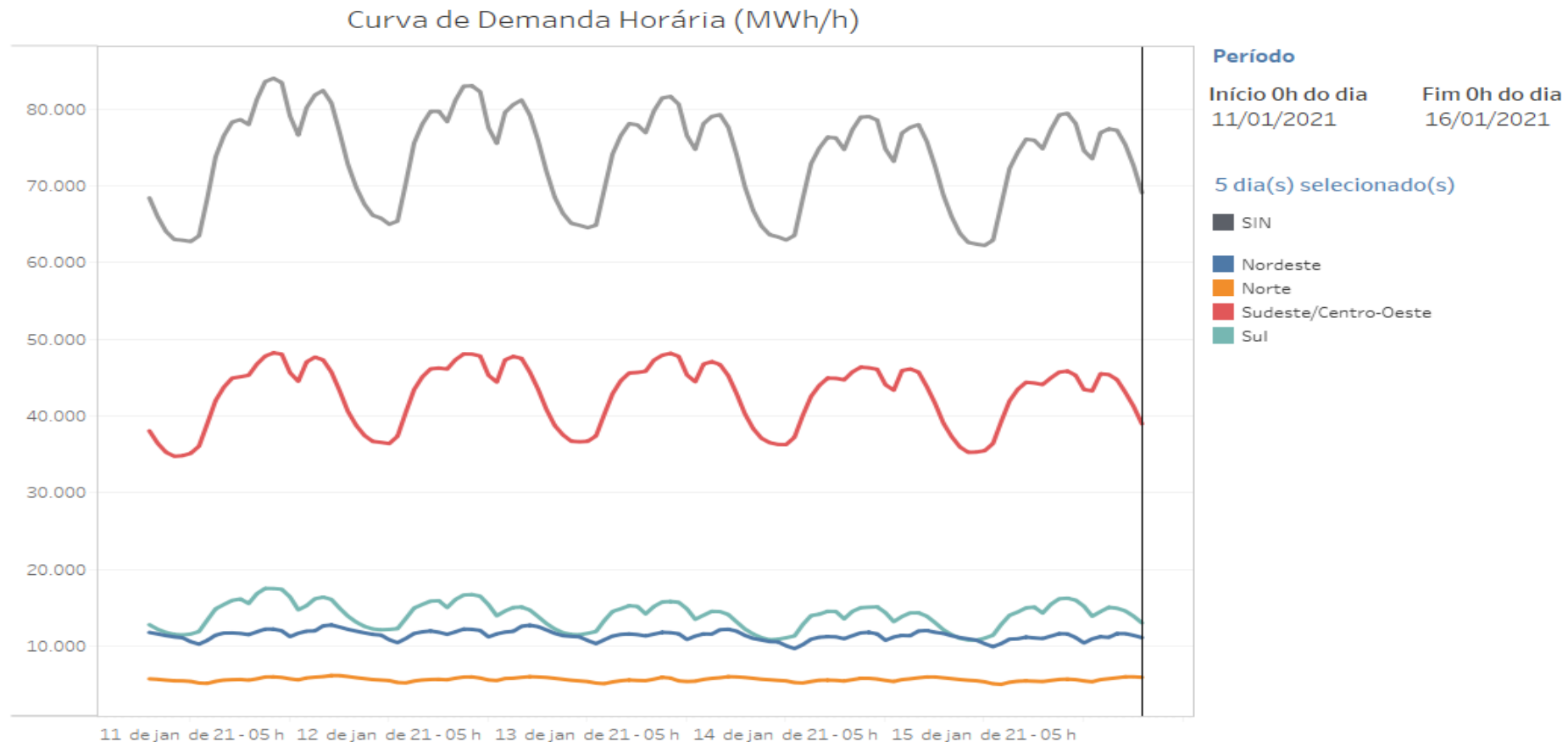
Modelos aditivos: $Z_t = \mu(t) + \rho_t + \varepsilon_t$

Modelos multiplicativos: $Z_t = \mu(t)\rho_t + \varepsilon_t$

Método de Amortecimento Exponencial para Séries com Múltiplos Ciclos

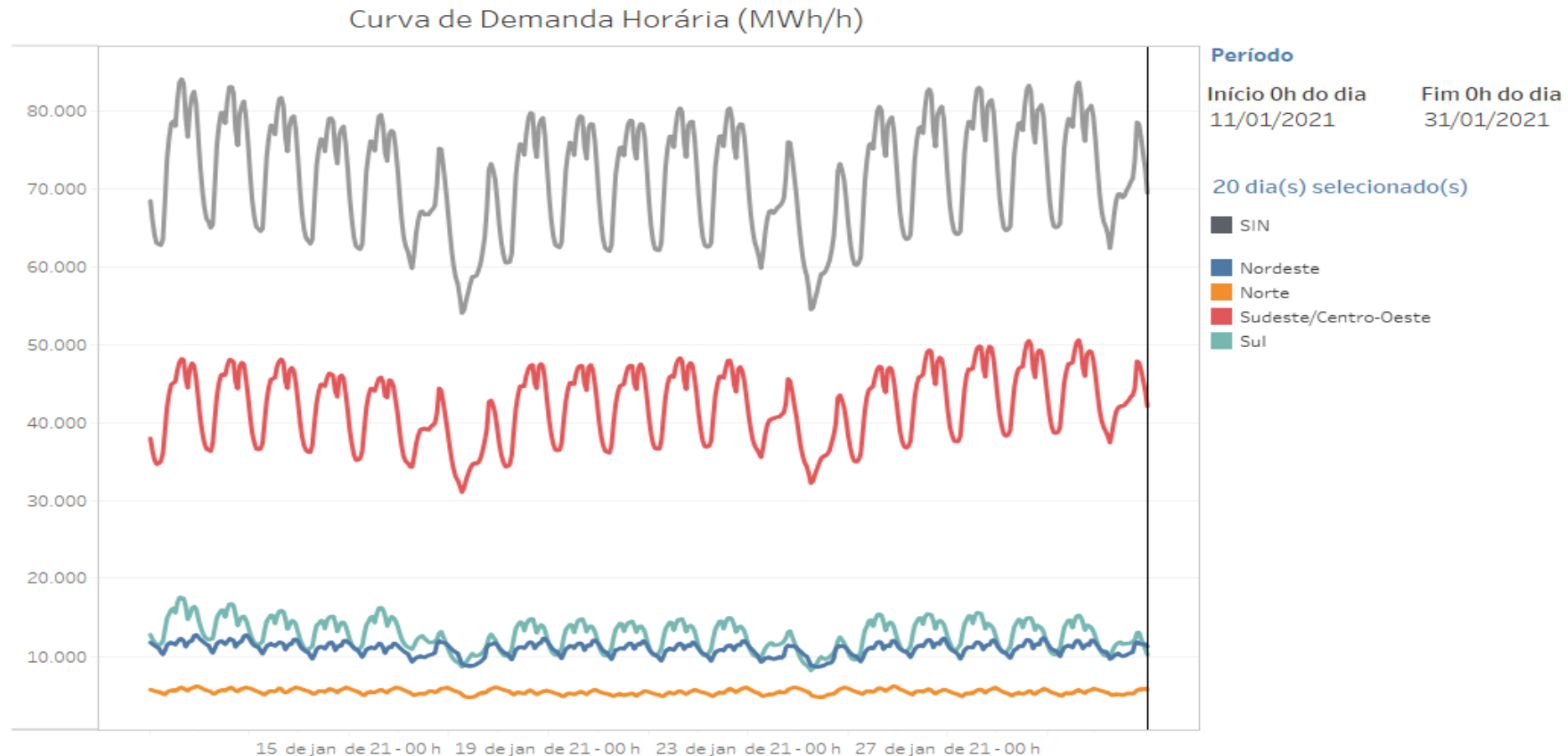
- Em 2008, Taylor publicou um trabalho em que considerava métodos planejados para lidar com os ciclos sazonais intradiários e intra-semanais presentes nos dados;
- Dessa forma, o modelo de Holt-Winters foi adaptado de tal forma que pudesse acomodar mais de um padrão sazonal, ou seja, múltiplos ciclos;
- **Como resultado:**
 - O perfil da demanda de um dia apresenta um comportamento bastante parecido com o perfil da demanda do próximo dia, principalmente ao analisar os dias da semana;
 - Além disso, o ciclo dentro da semana fica bastante evidente ao analisar simultaneamente três semanas.

Método de Amortecimento Exponencial para Séries com Múltiplos Ciclos



Fonte: ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico

Método de Amortecimento Exponencial para Séries com Múltiplos Ciclos



Fonte: ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico

Holt-Winters com Dois Ciclos

- O modelo Holt-Winters com dois ciclos, um diário e outro semanal, pode ser expresso da seguinte forma:

$$Z_t = (a_1 + a_2 t) \rho_{1,t-s_1} \rho_{2,t-s_2} + \varepsilon_t$$

Onde:

- a_1 é o nível;
- a_2 é a tendência;
- ρ_1 é o primeiro ciclo;
- ρ_2 é o segundo ciclo;
- s_1 é o comprimento do primeiro ciclo;
- s_2 é o comprimento do segundo ciclo.

SARIMA com Duplo Ciclo

- Segundo Brockwell e Davis (2002), se d e D são inteiros não negativos, referentes as diferenças, então a série X_t é um $SARIMA(p, d, q) \times (P, D, Q)_S$, processo com S períodos, definida como:

$$\phi(B)\Phi(B^S)\nabla^d\nabla_S^D X_t = \theta(B)\Theta(B^S)\alpha_t$$

- Logo, o SARIMA com duplo ciclo ($SARIMA(p, d, q) \times (P, D, Q)_{s_1} \times (P, D, Q)_{s_2}$), pode ser definido como:

$$\phi(B)\Phi_1(B^{s_1})\Phi_2(B^{s_2})\nabla^d\nabla_{s_1}^D\nabla_{s_2}^D X_t = \theta(B)\Theta_1(B^{s_1})\Theta_2(B^{s_2})\alpha_t$$

Referências

BROCKWELL, P. J. & DAVIS, R. A. Introduction to time series and forecasting. 2ª Edição, 2002.

QUEIROZ, P. Mensuração do consumo de energia elétrica: algoritmo para detecção de potenciais usuários da termoacumulação como alternativa para deslocamento de carga. Dissertação (Mestrado em Metrologia: Área de Metrologia para Qualidade e Inovação. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio). Rio de Janeiro, 2011.

SOUZA, R. C.; OLIVEIRA, F. L. C. Análise de Séries Temporais: Os Modelos de Amortecimento Exponencial, 2015.

TAYLOR, J. W. Short-Term Load Forecasting with Exponentially Weighted Methods. *IEEE Transactions on Power Systems*, 27(1), pp. 458-464, 2012.

TAYLOR, J. W. An evaluation of methods for very short-term load forecasting using minute-by-minute British data. *International Journal of Forecasting*, 24(4), pp. 645-658, 2008.

TAYLOR, J. W. & McSHARRY, P. E. Short-term load forecasting methods: An evaluation based on European data. *IEEE Transactions on Power Systems*, 22(4), pp. 2213-2219, 2007.