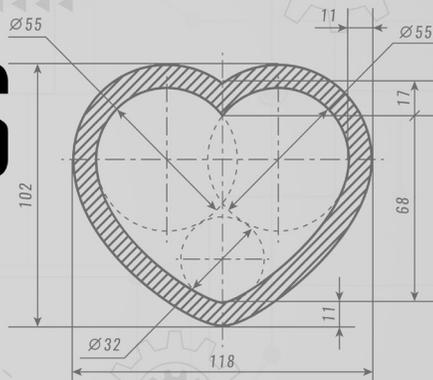


COLEÇÃO

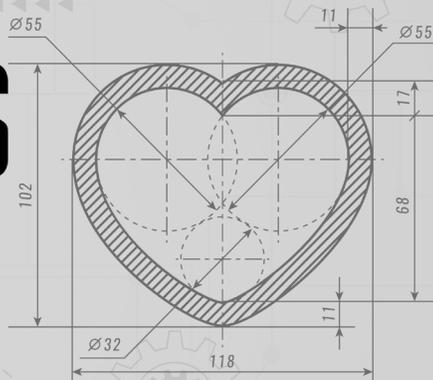
“ENGENHARIAS EU TE AMO”



ENGENHARIA DE **CARLOS EDUARDO SANCHES DE ANDRADE (ORGANIZADOR)** PRODUÇÃO

COLEÇÃO

“ENGENHARIAS EU TE AMO”



ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

CARLOS EDUARDO SANCHES DE ANDRADE
(ORGANIZADOR)


Atena
Editora
Ano 2023

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Fernanda Jasinski

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2023 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2023 Os autores

Copyright da edição © 2023 Atena

Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena

Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof^o Dr^a Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof^o Dr^o Glécilla Colombelli de Souza Nunes – Universidade Estadual de Maringá
Prof^o Dr^a Iara Margolis Ribeiro – Universidade Federal de Pernambuco
Prof^a Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof^o Dr^a Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof^o Dr^a Maria José de Holanda Leite – Universidade Federal de Alagoas
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Prof. Dr. Milson dos Santos Barbosa – Universidade Tiradentes
Prof^o Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^o Dr^a Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Prof. Dr. Nilzo Ivo Ladwig – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Prof^o Dr^a Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof^o Dr Ramiro Picoli Nippes – Universidade Estadual de Maringá
Prof^o Dr^a Regina Célia da Silva Barros Allil – Universidade Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Coleção “Engenharias eu te amo”: Engenharia de produção

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Yaiddy Paola Martinez
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizador: Carlos Eduardo Sanches de Andrade

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)	
C691	<p>Coleção “Engenharias eu te amo”: Engenharia de produção / Organizador Carlos Eduardo Sanches de Andrade. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2023.</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-258-1242-7 DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.427231003</p> <p>1. Engenharia de produção. I. Andrade, Carlos Eduardo Sanches de (Organizador). II. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDD 670</p>
Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166	

Atena Editora
 Ponta Grossa – Paraná – Brasil
 Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

A obra “Engenharias eu te amo: Engenharia de produção” publicada pela Atena Editora apresenta, em seus 6 capítulos, estudos sobre diversos aspectos que mostram como a Engenharia de Produção pode evoluir buscando novas soluções que possam atender, com elevado padrão de qualidade, as diferentes demandas da sociedade.

A gestão da qualidade nas organizações educacionais é um tópico vital para a fidelização dos seus clientes e é abordada no trabalho aqui apresentado.

A formação de um engenheiro de produção requer que o mesmo tenha um perfil de liderança, pois trabalhará com equipes sob sua coordenação. O tópico, portanto, é altamente relevante e compõe essa obra.

Soluções de equipamentos aéreos com tecnologia de vigilância contínua de grandes áreas são necessárias para o monitoramento da segurança. Um estudo de gestão de risco e *compliance* na aquisição desses equipamentos é outro tópico abordado nessa compilação.

A logística interna dentro de uma empresa é um grande desafio para os profissionais que atuam na Engenharia de Produção, que precisam levar em consideração vários fatores, melhor controlados pela criação de um modelo da logística interna, sendo, portanto, um tópico relevante e de grande valor. Esta publicação inclui esse tema.

Outras perspectivas abordadas nesta obra dizem respeito à utilização de modelos de séries temporais para realizar a previsão de consumo de energia elétrica na região Sul do Brasil, além de um estudo que aborda os ganhos ambientais proporcionados pelo uso do transporte de carga na última milha da cadeia de produção.

Agradecemos aos autores dos diversos capítulos apresentados e esperamos que essa compilação seja proveitosa para os leitores.

Carlos Eduardo Sanches de Andrade

CAPÍTULO 1 1**ANÁLISE DA ADEQUAÇÃO DO SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE NORMALIZADO PARA O CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

Leonardo de Sousa Silva

João Batista Turrioni

<https://doi.org/10.22533/at.ed.4272310031>**CAPÍTULO 2 14****ESTUDO DO PERFIL DE LIDERANÇA: ANÁLISE DA PERCEPÇÃO DOS DISCENTES DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO NOS MUNICÍPIOS DE TERESINA-PI E SÃO LUÍS-MA**

Maria Andryllem Aires de Souza Barbosa

Joécio Braga de Sousa

Gesiel Rios Lopes

Ítalo Rodrigo Monte Soares

Thiago Edirsandro Albuquerque Normando

Jandson Vieira Costa

Ana Gláucia Sousa Agostinho

Christiane Carvalho Veloso

Márcio Henrique Yacyszyn Rodrigues

Sávio Torres Melo

Rebeka Manuela Lobo Sousa

Jardes Figuerêdo do Rêgo

<https://doi.org/10.22533/at.ed.4272310032>**CAPÍTULO 330****GESTÃO DE RISCOS E COMPLIANCE NA AQUISIÇÃO DE AERÓSTATO POR UM ÓRGÃO DO GOVERNO FEDERAL BRASILEIRO**

Ewerton Elias de Figueiredo Nunes

Raíssa Silveira de Farias

<https://doi.org/10.22533/at.ed.4272310033>**CAPÍTULO 442****MODELO DE MEDIÇÃO DE LOGÍSTICA INTERNA: UM ESTUDO DE CASO NO PÓLO INDUSTRIAL DE MANAUS**

Orlem Pinheiro de Lima

Sandro Breval Santiago

Manoel Carlos de Oliveira Júnior

Paulo César Diniz de Araújo

Márcia Ribeiro Maduro

<https://doi.org/10.22533/at.ed.4272310034>**CAPÍTULO 554****PREVISÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NA REGIÃO SUL DO BRASIL UTILIZANDO MODELOS DE SÉRIES TEMPORAIS**

Cleber Bisognin

Daniela Regina Klein

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4272310035>

CAPÍTULO 666

ANÁLISE DOS GANHOS AMBIENTAIS DO USO DO TRANSPORTE ATIVO NA ÚLTIMA MILHA DO TRANSPORTE URBANO DE CARGA

Gustavo Henrique Freitas Matinha
Fernando Soares Ribeiro de Oliveira
Carlos Eduardo Sanches de Andrade
Cintia Isabel de Campos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4272310036>

SOBRE O ORGANIZADOR76

ÍNDICE REMISSIVO77

PREVISÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NA REGIÃO SUL DO BRASIL UTILIZANDO MODELOS DE SÉRIES TEMPORAIS

Data de aceite: 03/03/2023

Cleber Bisognin

Universidade Federal de Santa Maria -
UFSM

Daniela Regina Klein

Universidade Federal de Santa Maria -
UFSM

RESUMO: O objetivo deste estudo é avaliar o consumo mensal de energia elétrica na região sul do Brasil e propor previsões utilizando modelos de séries temporais sarima, suavização exponencial e regressão polinomial local. Foram utilizados dados do consumo mensal de energia elétrica em MWh na região sul do Brasil no período de janeiro de 2004 a abril de 2022, para estimação dos modelos e previsão do consumo no período de maio de 2022 a maio de 2023. Os procedimentos e análises foram realizados utilizando o software R. A série temporal analisada é não estacionária e apresenta sazonalidade. Com isso foram ajustados os três modelos: 1) modelo de suavização exponencial – ets (m, a_d, m); 2) modelo regressão polinomial local (local polynomial regression) com o parâmetro $\alpha=0,07$; e 3) modelo regressão polinomial local com o parâmetro $\alpha=0,3$ para a retirada

da tendência e ajuste de um modelo sarima $(2,0,2) \times (0,0,1)_{12}$. A combinação dos modelos foi realizada entre os modelos e também entre a média dos três modelos. A escolha do melhor modelo para a previsão do consumo de energia na região sul, foi com base nas medidas de acurácia (rmse, mae, mape e u de theil), onde o modelo 2 e a média dos três modelos foram os mais acurados. Para comparação, a previsão da combinação dos modelos foi de um consumo de 8.071.870 MWh e o modelo 2 foi de 8.664.206 MWh para o mês de maio de 2022, e a quantidade de energia consumida nesse mês foi de 7.578.374 MWh.

PALAVRAS-CHAVE: Previsão, sarima, suavização exponencial, regressão polinomial local.

ELECTRICITY CONSUMPTION FORECAST FOR THE BRAZILIAN SOUTHERN USING TIME SERIES MODELS

ABSTRACT: The aim of this study was to evaluate the monthly electricity consumption in the southern of Brazil and to propose forecasts using sarima, exponential smoothing and local polynomial regression time series models. The data of monthly

electricity consumption in mwh in brazilian southern from january 2004 to april 2022 was used for estimating the models and forecasting the consumption from may 2022 to may 2023. The procedures and analysis were performed using the r software. The analyzed serie is non-stationary and has seasonality. This way, three models were adjusted: 1) exponential smoothing model - ets (m, a_{d}, m); 2) local polynomial regression model with the parameter $\alpha=0,07$; and 3) local polynomial regression model with the parameter $\alpha=0,3$ for trend removing and adjustment of a sarima model $(2,0,2) \times (0,0,1)_{12}$. The models combination was performed between the models and also between the average of the three models. The best model to forecast energy consumption in brazilian southern was based on accuracy measures (rmse, mae, mape and u of theil), where model 2 and the average of the three models were the most accurate. For comparison, the forecast of models combination was 8,071,870 mwh and of model 2 was 8,664,206 mwh for may 2022, and the amount of consumed energy in this month was 7,578,374 mwh.

KEYWORDS: Exponential smoothing, forecast, local polynomial regression, sarima.

1 | INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o consumo de energia elétrica cresceu no Brasil, e a maior quantidade dessa energia é proveniente de usinas hidrelétricas (55,3%), gás natural (13,2%), e eólica (11%; MME/EPE, 2022a), sendo um dos países que mais utilizam fontes de energia renováveis no mundo. No entanto, entre 2020 e 2021, o país passou por uma crise energética em decorrência da falta de chuvas causada principalmente pelas mudanças climáticas, que levou os reservatórios de usinas hidrelétricas a níveis muito baixos (CNN, 2021). Essa menor produção de energia nas hidrelétricas precisou ser compensada com o acionamento das usinas termelétricas com derivados de petróleo, resultando em aumentos nos preços. O consumo de eletricidade na região Sul corresponde a 18% do que é produzido no Brasil, e produz 18,2% da energia gerada no país, com destaque para o Paraná 10,6% do total (MME/EPE, 2022a).

Dessa forma, a previsão do consumo de energia elétrica no país é muito importante para um planejamento mais eficiente e econômico do sistema energético, facilitando a tomada de decisão e o desenvolvimento da infraestrutura do sistema de energia do país através de previsões acuradas da demanda. Os métodos de previsão utilizando séries temporais, estudam o comportamento de uma variável ao longo do tempo, onde as observações apresentam correlação uma com as outras, e podem ser decompostas pelas componentes: tendência, sazonalidade e o erro aleatório.

Dentre os modelos para séries temporais não estacionárias e sazonais, como o consumo de energia, temos o modelo de suavização exponencial (ETS – erro, tendência e sazonalidade), representa uma alternativa ao modelo autorregressivo com média móvel integrada (ARIMA), e são caracterizados pela simplicidade e facilidade de ajustes, além da boa acurácia (PELLEGRINI e FOGLIATTO, 2000). Os modelos de Regressão Polinomial Local (*Local Polynomial Regression*) desenvolvida por Cleveland (1979), são uma

alternativa menos restritiva para a estimação de uma curva desconhecida, pois permitem maior flexibilidade do modelo subjacente. Os modelos SARIMA $(p;d;q) \times (P;D;Q)_s$ tem origem nos modelos autorregressivos e médias móveis com sazonalidade (BOX e JENKINS, 1976; BOX et al., 2015), e já foram utilizados para previsão do consumo de energia elétrica (SANTOS e CHAUCOSKI, 2020), em regiões do país (STENGHELE et al., 2020) e em estados (BISOGNIN e WERNER, 2020). Sendo assim, o objetivo deste estudo é avaliar o consumo mensal de energia elétrica na região Sul do Brasil e propor previsões utilizando modelos de séries temporais SARIMA, Suavização Exponencial e Regressão Polinomial Local.

2 | REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção são apresentados os modelos utilizados para analisar e prever os futuros valores da série temporal do Consumo Mensal de Energia Elétrica na região Sul do Brasil (RS-SC-PR): Modelos de Suavização Exponencial, Regressão Polinomial Local (*Local Polynomial Regression*), modelos SARIMA $(p,d,q) \times (P,D,Q)_s$, além da combinações de modelos de previsões utilizando a média aritmética, os quais são definidos a seguir.

Considere uma série temporal $\{X_t\}_{t=1}^n$ com período s .

Definição 1: Nos Modelos de Suavização Exponencial – ETS (M,A_g,M) , considera-se que a série é formada por erros multiplicativos, tendência aditiva amortecida e sazonalidade multiplicativa, os quais são definidos a seguir, como apresentado pela equação (1).

$$\hat{X}_t(t) = (\ell_{t-1} + \phi b_{t-1})s_{t-s} \quad (1)$$

As estimativas do nível da série no tempo t , denotado por ℓ_t , da tendência, denotada por b_t e do fator sazonal, denotado por s_t , são dadas, respectivamente pelas equações de (2) a (4).

$$\ell_t = (\ell_{t-1} + \phi b_{t-1})(1 + \alpha \varepsilon_t) \quad (2)$$

$$b_t = \beta(\ell_{t-1} + \phi b_{t-1})\varepsilon_t + \phi b_{t-1} \quad (3)$$

$$s_t = (1 + \gamma \varepsilon_t)s_{t-s}, \quad (4)$$

onde: $\{\varepsilon_t\}_{t=1}^n$ é considerado um erro independente e identicamente distribuído com média zero e variância constante, α é o coeficiente de ponderação exponencial do nível ($0 \leq \alpha \leq 1$), β é o coeficiente de ponderação exponencial da tendência ($0 \leq \beta \leq 1$), γ é o coeficiente de ponderação exponencial do fator sazonal ($0 \leq \gamma \leq 1$) e ϕ é o parâmetro de amortecimento.

As previsões h passos à frente, são dadas conforme a equação (5).

$$\hat{X}_t(h) = (\ell_{t+h-1} + \phi b_{t+h-1})s_{t+h-s} \quad (5)$$

A notação $\hat{X}_t(h)$ indica a previsão de origem t e horizonte $h \geq 1$. Maiores detalhes sobre

a Taxonomia dos Modelos de Modelos de Suavização Exponencial – ETS ver Hyndman et al. (2008).

Definição 2: As ideias básicas do método de Regressão Polinomial Local (*Local Polynomial Regression - Loess*) são observadas ao considerar o mais simples dos modelos de regressão, onde a variável dependente, y , e a independente, x , são relacionadas por (6):

$$Y_t = f(x_t) + \varepsilon_t \quad (6)$$

onde $f(x_t)$ é não conhecida e $\{\varepsilon_t\}_{t=1}^n$ denota o termo de erro independente e identicamente distribuído com média zero e variância constante.

Não são realizadas suposições globais sobre a função $f(x_t)$ mas supomos que localmente pode ser bem aproximado com uma função constante ou reta. Assim, o algoritmo da função *loess* estima a função de forma pontual. Para cada valor de x_t , estimamos o valor de $f(x_t)$ usando seus valores amostrados vizinhos (conhecidos), determinando a suavidade da estimativa resultante. Existem limitações com a estimativa de uma constante localmente, como por exemplo, viés nas regiões de fronteira e no interior se a variável independente não for uniforme e se a função de regressão tiver curvatura. Uma maneira de resolver este problema é através de regressão local linear ponderada, proposta inicialmente por Cleveland (1979) e Stone (1977). Ao estimar (localmente) uma função polinomial ao invés de uma constante, o problema de viés de primeira ordem é eliminado, desta forma, regressão local linear resolve um problema de mínimos quadrados ponderados a cada ponto de interesse, x_0 . Assim, dentro da janela de suavização, $f(x_t)$ é aproximada por uma função polinomial.

A seguir são definidos os processos SARIMA(p,d,q) \times (P,D,Q) $_s$ propostos por Box; Jenkins (1976):

Definição 3: Seja $\{X_t\}_{t \in \mathbb{Z}}$ um processo estocástico satisfazendo a equação (7)

$$\Phi(B^s)\phi(B)(1 - B^s)^D(1 - B)^d(X_t - \mu) = \theta(B)\Theta(B^s)\varepsilon_t, \quad (7)$$

onde: μ é a média do processo, $\{\varepsilon_t\}_{t \in \mathbb{Z}}$ é o processo ruído branco, $s \in \mathbb{N}$ é a sazonalidade, B é o operador defasagem ou retardo, isto é, $B^j(X_t) = X_{t-j}$ e $B^{sj}(X_t) = X_{t-sj}$ para $j \in \mathbb{N}$, $\phi(\cdot)$, $\theta(\cdot)$, $\Phi(\cdot)$ e $\Theta(\cdot)$ são os polinômios de ordem p , q , P e Q , respectivamente, definidos pelas equações (8) e (9).

$$\phi(z) = \sum_{\ell=1}^p (-\phi_\ell)z^\ell, \quad \theta(z) = \sum_{m=1}^q (-\theta_m)z^m, \quad (8)$$

$$\Phi(z) = \sum_{r=1}^P (-\Phi_r)z^r, \quad \Theta(z) = \sum_{l=1}^Q (-\Theta_l)z^l, \quad (9)$$

com $\phi_\ell, 1 \leq \ell \leq p$, $\theta_m, 1 \leq m \leq q$, $\Phi_r, 1 \leq r \leq P$ e $\Theta_l, 1 \leq l \leq Q$, constantes reais e $\phi_0 = \Phi_0 = -1 = \theta_0 = \Theta_0$. Então $\{X_t\}_{t \in \mathbb{Z}}$ é um processo sazonal autorregressivo integrado de média móvel de ordem (p,d,q) \times (P,D,Q) $_s$ com sazonalidade s , denotado por SARIMA(p,d,q) \times (P,D,Q) $_s$, onde

d e D são, respectivamente, o grau de diferenciação e o grau de diferenciação sazonal.

A equação (10) seguir apresenta a previsão de um processo SARIMA $(p,d,q) \times (P,D,Q)_s$ invertível,

$$\hat{X}_t(h) = \sum_{j \geq 1} \pi_j \hat{X}_t(j-h), \quad (10)$$

onde $h \geq 1$ e $\{\pi_j\}_{j \geq 0}$, são os coeficientes da representação autorregressiva infinita do processo. Pode-se perceber que $\hat{X}_t(h)$ pode ser expressa com uma soma ponderada das observações presentes e passadas $\{X_j\}_{j \leq n}$, com n é o tamanho da série temporal.

Além das modelagens individuais, um método comumente utilizado para melhorar a acurácia das previsões é a combinação de previsões. Este método consiste em utilizar um mecanismo para captar os diversos fatores que afetam cada técnica de previsão individual usada como base de obtenção da previsão combinada (COSTANTINI e PAPPALARDO, 2010). A primeira forma de obtenção a ser estudada foi o método de variância mínima que fornece um maior peso a previsão individual que tiver a menor variância dos erros absolutos. Porém, o método mais popular de combinação de previsões individuais é a média aritmética, pois é um dos métodos mais conhecidos e é fácil de calcular, e será aplicado neste trabalho.

Para encontrarmos qual técnica de previsão - individual ou combinação - é a melhor, faz-se necessário obter medidas de acurácia. A acurácia refere-se à habilidade do modelo ou da combinação em reproduzir os dados que já são conhecidos, ou seja, a qualidade do ajuste. Dentre as medidas existentes, as mais utilizadas são: o MAPE (erro percentual absoluto médio) que é uma medida relativa e a RMSE (a raiz quadrada do erro quadrático médio). Também foi utilizado o coeficiente U de Theil que analisa a qualidade das previsões, sendo que, quanto mais próximo de zero significa que o erro de previsão, gerada por determinado modelo ou combinação, é menor que da previsão ingênua.

3 | PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A etapa da obtenção de dados consistiu em resgatar dados históricos do site da EPE - Empresa de Pesquisa Energética (MME/EPE, 2022b). Foram utilizadas as 220 observações mensais do consumo de energia elétrica em MWh na região Sul do Brasil disponíveis, de janeiro de 2004 a abril de 2022, ou seja, $n = 220$.

A análise da série temporal foi realizada utilizando as rotinas dos pacotes *forecast*, *readxl*, *randtests*, *seastests*, *tseries*, *ggplot2*, *mtest*, *nortest*, *zoo* e *stat* do software R (2022).

Foram aplicados os testes de raiz unitária de Dickey-Fuller e de Phillips-Perron utilizando, respectivamente, as rotinas *adf.test* e *pp.test*, do pacote *tseries* do software R (2022). Também foram realizados testes de tendência determinística de Cox-Stuart e de Mann-Kendall utilizando, respectivamente, as rotinas *cox.stuart.test* e *MannKendall*, dos pacotes *randtestes* e *Kendall* do software R (2022).

Definidos os modelos, estimados os seus parâmetros e feita a análise de resíduos, será aplicada a técnica de combinação de previsões por média aritmética utilizando os modelos individuais. A verificação da acurácia da técnica ou modelo a ser escolhido para realizar as predições para o período de maio de 2022 a abril de 2023, se dará por meio das medidas RMSE, MAPE e U de Theil. Tais medidas foram calculadas utilizando-se a rotina *accuracy* do pacote *forecast* do software R (2022).

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Estamos interessados em encontrar um modelo ou uma combinação por média aritmética para o Consumo Mensal de Energia Elétrica da Região Sul do Brasil (RS-SC-PR), de janeiro de 2004 a abril de 2022, visando prever tal consumo para os meses de maio de 2022 a maio de 2023. O gráfico da série temporal (Figura 1(a)) indica que se trata de uma série não estacionária e a função de autocorrelação amostral (Figura 1(b)) também indica que a série temporal é não estacionária e também apresenta sazonalidade.

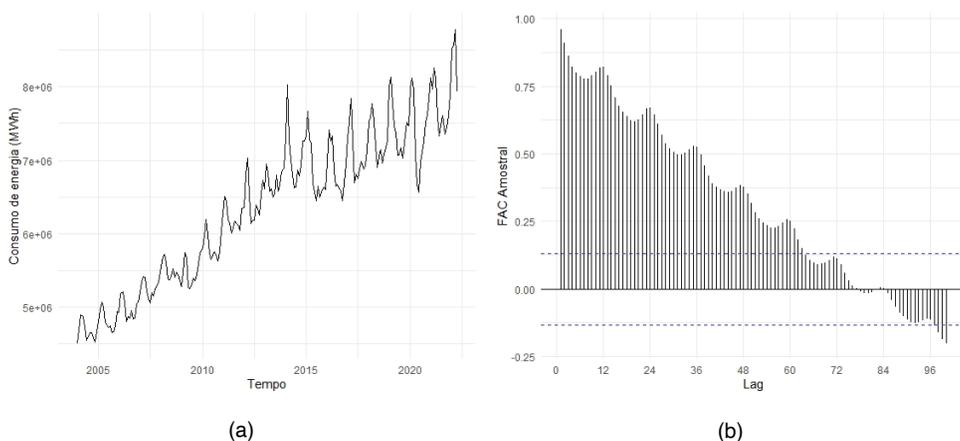


FIGURA 1 – Consumo Mensal de Energia Elétrica da Região Sul do Brasil, de jan/2004 a abr/2022: (a) gráfico da série temporal; (b) função de autocorrelação amostral.

Fonte: Os Autores (2022).

Foram aplicados os testes de raiz unitária de Dickey-Fuller [p -valor $<0,01$] e de Phillips-Perron [p -valor $<0,01$], que indicam a estacionariedade da série temporal. Porém a análise do gráfico da série temporal e sua respectiva função de autocorrelação amostral (Figura 1) indicam que a série temporal é não estacionária (tendência determinística), desta forma, foram realizados os testes de tendência determinística de Cox-Stuart [p -valor $<2.2e-16$] e de Mann-Kendall [p -valor $< 2.2e-16$], que indicam a existência de uma tendência determinística nos dados em estudo.

Assim, primeiramente, será utilizado o Modelo de Suavização Exponencial de erro, tendência e sazonalidade (ETS). O segundo modelo utilizará a Regressão Polinomial Local (*Local Polynomial Regression - Loess*). No terceiro modelo a tendência determinística será retirada através da Regressão Polinomial Local e após será ajustado um modelo SARIMA(p,d,q) (P,D,Q)_s. A seguir serão geradas as previsões utilizando ambos os modelos, suas respectivas combinações e calculadas as medidas de acurácia.

Modelo 1 - Foi ajustado o Modelo de Suavização Exponencial – ETS (M,A_q,M), ou seja, com suavização exponencial, tendência aditiva amortecida e sazonalidade multiplicativa, e a estimativa dos parâmetros do modelo apresentados na Tabela 1. Pelo Teste de Ljung-Box [p-valor=0,2820], o resíduo ($\sigma_e^2= 0,0005329$) do modelo é não correlacionado, sendo assim, o modelo proposto é adequado aos dados.

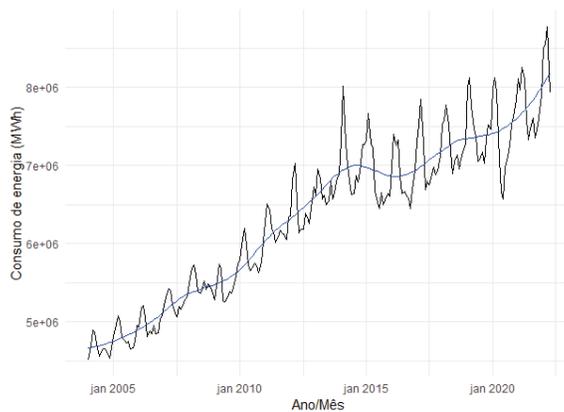
Parâmetro	α	β	γ	ϕ		
Estimativa	0,7881	0,00018	0,0003	0,9799		
l_0	b_0	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5
4564091,1759	19866,5841	1,0003	0,985	0,9702	0,967	0,9809
s_6	s_7	s_8	s_9	s_{10}	s_{11}	s_{12}
0,9665	0,9621	0,9797	1,0268	1,0661	1,0635	1,0318
AIC: 6450,587		BIC: 6511,672		Teste de Ljung-Box: df=3 - p-value = 0,2820		

TABELA 1 - Resultado do ajuste do Modelo ETS (M,A_q,M) a série temporal do Consumo Médio Mensal de Energia Elétrica na Região Sul - Modelo 1.

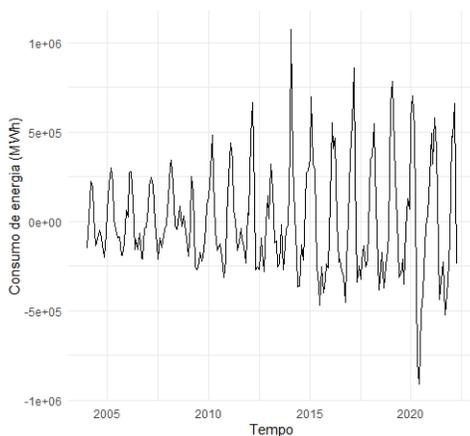
Fonte: Os Autores (2022).

Modelo 2 - Considerando a tendência determinística, foi ajustado o modelo Regressão Polinomial Local (*Local Polynomial Regression*) com o parâmetro $\alpha=0,07$ que controla o grau de suavização.

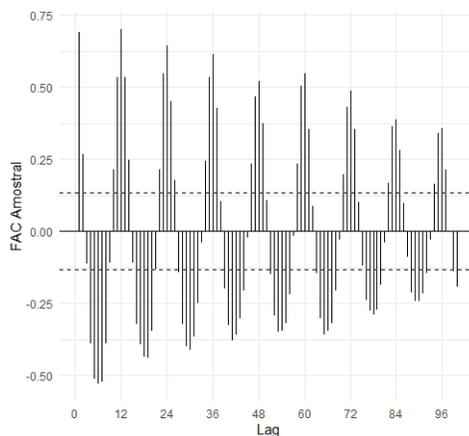
Modelo 3 – Também considerando tendência determinística, foi ajustado o modelo Regressão Polinomial Local (*Local Polynomial Regression*) com o parâmetro $\alpha=0,3$ que controla o grau de suavização, apenas para a retirada da tendência (Figura 2(a)). A Figura 2(b) e (c) apresenta a série temporal sem tendência e sua respectiva função de autocorrelação amostral. Foram aplicados os testes de tendência determinística Cox-Stuart [p-valor=0,2942] e de Mann-Kendall [p-valor=0,0970] e de raiz unitária de Dickey-Fuller [p-valor<0,01] e de Phillips-Perron [p-valor<0,01], ou seja, a série temporal apresentou estacionariedade após retirada a tendência determinística.



(a)



(b)



(c)

FIGURA 3 - Consumo Mensal de Energia Elétrica da Região Sul do Brasil, de jan/2004 a abr/2022 após retirada da tendência determinística: (a) ajuste de tendência determinística utilizando o modelo Regressão Polinomial Local (*Local Polynomial Regression*) com parâmetro $\alpha=0,3$; (b) gráfico da série temporal após retirada da tendência determinística; (c) função de autocorrelação amostral após retirada da tendência.

Fonte: Os Autores (2022).

A seguir, foi ajustado um modelo SARIMA $(2,0,2) \times (0,0,1)_{12}$, cujos coeficientes encontram-se na Tabela 2. Pelo Teste de Ljung-Box [p-valor=0,7372], os resíduos do modelo são não correlacionados, sendo assim, o modelo proposto é adequado aos dados.

Parâmetros	Estimativa	Erro Padrão	Estat. Z	P(> z)
ϕ_1	1.4644	0.0704	20.8000	0.0000
ϕ_2	-0.6561	0.0703	-9.3376	0.0000
θ_1	-0.7572	0.0995	-7.6118	0.0000
θ_2	-0.2148	0.1002	-2.1434	0.0321
Θ_1	0.4081	0.0659	6.1970	0.0000

Log Verossimilhança: -2952,1; AIC = 5916,21
 Teste Resíduos (Box-Pierce): df=10 - p-valor= 0,7372

TABELA 2 - Resultado do ajuste do Modelo SARIMA $(2,0,2) \times (0,0,1)_{12}$ ao Consumo Mensal de Energia Elétrica da Região Sul do Brasil, de jan/2004 a abr/2022 após retirada da tendência determinística.

Fonte: Os Autores (2022).

Estabelecidos os modelos, estimados os seus parâmetros e calculadas as predições e previsões necessárias, calculamos a predição e previsão utilizando o método de combinações de previsão pela média aritmética.

Modelos Combinação	Medidas de Acurácia			
	RMSE	MAE	MAPE	U de Theil
Modelo 1	159543.50	115715.10	1.7570	0.0124
Modelo 2	156649.30	115210.40	1.7515	0.0122
Modelo 3	161065.40	118605.90	1.8018	0.0125
Modelo 1 e Modelo 2	138628.50	101490.40	1.5391	0.0108
Modelo 1 e Modelo 3	145185.30	102988.40	1.5580	0.0113
Modelo 2 e Modelo 3	145562.30	105840.30	1.6014	0.0113
Média (3 Modelos)	137438.90	99187.27	1.4985	0.0107

TABELA 3 - Medidas de acurácia para os Modelos e para as Combinações de Previsão.

Fonte: Os Autores (2022).

De posse dos parâmetros dos modelos individuais foram calculadas todas as predições (que consistem nas estimativas obtidas um passo à frente pelo método utilizado, dentro do período observado), possibilitando a avaliação da acurácia, por meio do RMSE, MAE, MAPE e U de Theil, onde quanto menor o valor maior a acurácia do modelo. O Modelo 2 apresentou as menores medidas de acurácia entre os Modelos 1 a 3 ajustados (Tabela 3). Para as combinações de previsão pela média aritmética, a combinação de previsões utilizando as predições dos três modelos apresentou menores medidas de acurácia (Tabela 3).

A Tabela 4 apresenta as previsões para a série temporal do Consumo Mensal de Energia Elétrica da Região Sul do Brasil, de janeiro de 2004 a abril de 2022, calculada utilizando os modelos e combinações de previsões com melhor acurácia. Após nova

consulta ao site com os dados (MME/EPE, 2022b), o Consumo Mensal de Energia Elétrica da Região Sul em maio de 2022 foi de 7.578.374 MWh. E a combinação de previsões pela média aritmética estimou o valor de 8.071.870 MWh.

Modelo 2							
Período	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Nov	Dez
Previsão	8664206	8774599	8858937	8913970	8937139	8926401	8880104
Período	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai		
Previsão	8796899	8675674	8515503	8315610	8075339		
Combinação dos 3 modelos							
Período	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Nov	Dez
Previsão	8071870	8143397	8263918	8387847	8340674	8356458	8393974
Período	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai		
Previsão	8421778	8531792	8576983	8539645	8246687		

TABELA 4 - Previsões do Consumo Médio Mensal de Energia Elétrica (MWh) na Região Sul do Brasil no período de mai/2022 a abr/2023 dos modelos com melhor acurácia.

Fonte: Os Autores (2022).

A Figura 4 apresenta a predição da série temporal do Consumo Mensal de Energia Elétrica da Região Sul do Brasil, de janeiro de 2004 a abril de 2022 utilizando a combinação de previsão utilizando as predições dos 3 modelos e a previsão da mesma série temporal para o período de maio de 2022 a abril de 2023, utilizando o mesmo modelo e a mesma técnica de previsão. Cabe ressaltar que na legenda onde lê-se Predição/Previsão-Média, refere-se à combinação de previsão utilizando a média aritmética da Predição/Previsão dos três modelos.

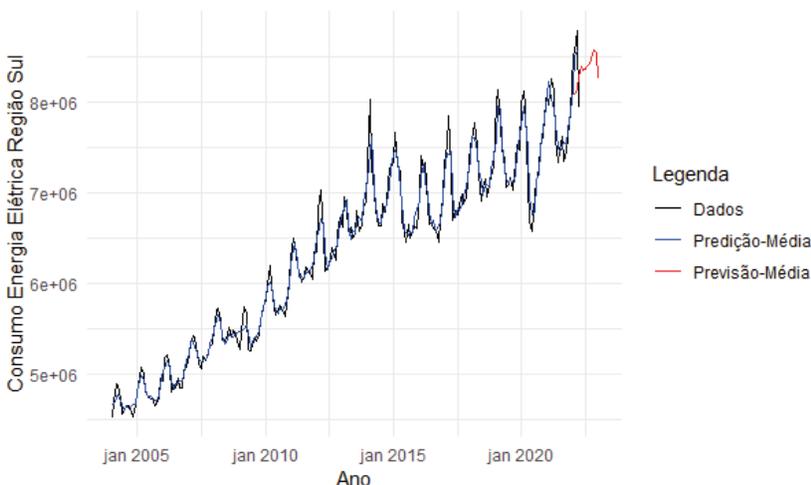


FIGURA 4 - Consumo Mensal de Energia Elétrica da Região Sul do Brasil, de jan/2004 a abr/2022: predição e previsão utilizando a combinação de previsão dos 3 modelos.

Fonte: Os Autores (2022).

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo avaliar o consumo mensal de energia elétrica na região Sul do Brasil no período de janeiro de 2004 a abril de 2022, e propor previsões utilizando modelos de séries temporais SARIMA, Suavização Exponencial e Regressão Polinomial Local.

Após uma análise preliminar verificou-se tendência determinística e sazonalidade na da série temporal. Com isso foram ajustados os modelos Modelo de Suavização Exponencial – ETS (M, A_d, M) - Modelo 1, modelo Regressão Polinomial Local (*Local Polynomial Regression*) com o parâmetro $\alpha=0,07$ (Modelo 2), e modelo Regressão Polinomial Local (*Local Polynomial Regression*) com o parâmetro $\alpha=0,3$ para a retirada da tendência e ajuste de um modelo SARIMA $(2,0,2) \times (0,0,1)_{12}$ (Modelo 3), e realizada a combinação entre esses modelos pela média aritmética. Com os parâmetros dos modelos estimados e predições calculadas, foi realizada a avaliação da acurácia dos modelos e suas combinações por meio das medidas de RMSE, MAE, MAPE e U de Theil. O Modelo 2 e a combinação da média dos três modelos obtiveram a melhor acurácia, sendo que a combinação dos modelos estimou o consumo de energia na região Sul de 8.071.870 MWh para maio de 2022 e o valor real foi de 7.578.374 MWh.

REFERÊNCIAS

BISOGNIN, C.; WERNER, L. **Análise do consumo mensal de energia elétrica no estado de São Paulo**. Revista de Engenharia de Produção, v. 2, n. 1, p. 59-72, 2020.

BOX, G. E. P.; JENKINS, G. M. **Time series analysis forecasting and control**. San Francisco: Holden - Day, 1976.

BOX, G. E. P.; REINSEL, G. C.; JENKINS, G. M. **Time Series Analysis: Forecasting and Control**. John Wiley & Sons, 2015.

CLEVELAND, W. S. **Robust locally weighted regression and smoothing scatterplots**. Journal of the American Statistical Association, 74(368):829–836, 1979.

CNN. **Brasil, Europa e China têm crises energéticas com causas diferentes**; entenda. 2021. Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/business/brasil-europa-e-china-tem-criises-energeticas-com-causas-diferentes-entenda/>>. Acessado em: 09 jul. 2022.

Control. John Wiley & Sons, 2015.

COSTANTINI, M.; PAPPALARDO, C. **A hierarchical procedure for the combination of forecasts**. International Journal of Forecasting, v. 26 n.4, p.725–743, 2010.

HYNDMAN, R.; KOEHLER, A. B.; ORD, J. K.; SNYDER, R. D. **Forecasting with Exponential Smoothing**. Springer Berlin Heidelberg, 2008.

MME/EPE - Ministério de minas e energia/ Empresa de Pesquisa Energética. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2022**, 2022a. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Fact%20Sheet%20%20Anuario%20Estatistico%20de%20Energia%20Elétrica%202022.pdf>>. Acesso em: 09 jul. 2022.

MME/EPE - Ministério de minas e energia/ Empresa de Pesquisa Energética. **Consumo Mensal de Energia Elétrica por Classe (regiões e subsistemas)**, 2022b. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/consumo-de-energia-eletrica>>. Acesso em: 24 jul. 2022.

PELLEGRINI, F.; FOGLIATTO, F. Estudo Comparativo entre os Modelos de Winters e de Box- Jenkins para Previsão de Demanda Sazonal. Produto & Produção. v. 4, n. especial, p. 72-85, abril 2000.

R CORE TEAM. R: **A Language and Environment for Statistical Computing**. R. Foundation for Statistical Computing, Vienna. 2022. Disponível em: <https://www.R-project.org>

SANTOS, J. A. A.; CHAUCOSKI, Y. **Previsão do consumo de energia elétrica na região sudeste: um estudo de caso usando SARIMA e LSTM**. Revista Cereus, v. 12, n. 4, p. 93-104, 2020.

STENGHELE, G.; SANTOS, J. A. A.; MIURA, F. S.; PASA, L. A.; SCHMIDT, C. A. P. **Previsão do consumo de energia elétrica na região sudeste: um estudo de caso usando SARIMA**. FSA, vol. 17, 2020.

STONE, C. J. **Consistent nonparametric regression**. The Annals of Statistics, 5(4):595–620, 1977.

STONE, C. J. **Optimal rates of convergence for nonparametric estimators**. The Annals of Statistics, 8(6):1348–1360, 1980.

A

Alunos 1, 2, 4, 5, 6, 7, 10, 11, 12, 15, 17, 18, 19, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29
AMPGA 30, 31, 32, 33, 38, 39

B

Balões estacionários 30, 38
Bicicletas de carga 66, 71, 72

C

Ciclogística 66, 69

E

Estudo de caso 12, 42, 50, 52, 65, 74, 75

G

Ganhos ambientais 66, 67, 68, 69, 71, 72
Gestão de riscos e compliance 30

H

Habilidades 15, 16, 23, 27, 28

I

IES 2, 3, 5, 12, 18
Indicadores de desempenho 44, 45, 49, 52, 53, 76

J

Jogos Olímpicos 30, 31, 32, 33, 39, 40

L

Liderança transacional 17
Liderança transformacional 17, 28
LOGINT 50
Logística 42, 43, 44, 49, 50, 51, 52, 53, 70, 71, 74
Logística interna 42, 43, 44, 49, 50, 51

M

MAPE 58, 59, 62, 64
Mercado de trabalho 15, 16
Mobilidade sustentável 66, 68
Modelo de medição 42, 44, 49, 50

O

Organizações educacionais 1, 4, 6, 12, 13

P

PDTI 30, 31, 32, 34

Pedestres 66

Percepção dos discentes 14, 16, 17, 27

Perfil de liderança 14, 15, 16, 17, 27, 28, 29

PESI 30, 31, 32, 33, 34

Pesquisa-ação 1, 5, 32

Polo industrial de Manaus 42, 49, 50, 51, 52

Previsão 34, 36, 54, 55, 56, 58, 62, 63, 64, 65

Q

Qualidade para o ensino superior 1

R

Regressão polinomial local 54, 55, 56, 57, 60, 61, 64

Rio 2016 30, 31, 32, 33, 34, 38, 39, 40

RMSE 58, 59, 62, 64

S

São Luís-MA 14, 15, 16, 17, 18, 27

SARIMA 54, 55, 56, 57, 58, 60, 61, 62, 64, 65

Satisfação dos clientes 1, 2, 45

Série temporal 54, 56, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64

SGOE 4, 7, 10, 12

Sistema de gestão da qualidade 1, 3, 9, 11, 12

Suavização exponencial 54, 55, 56, 57, 60, 64

T

Teresina-PI 14, 15, 16, 17, 18, 27

Transporte ativo 66, 67, 68, 69, 71, 72, 73, 74, 75

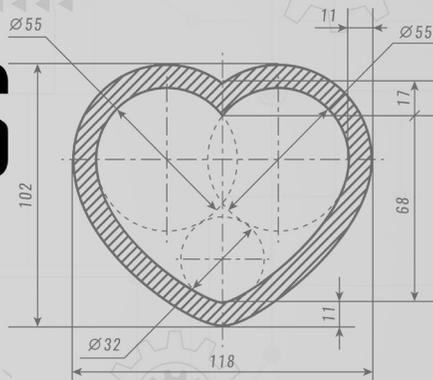
Transporte de carga 66, 70, 74

U

Última milha 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74

COLEÇÃO

“ENGENHARIAS EU TE AMO”



ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

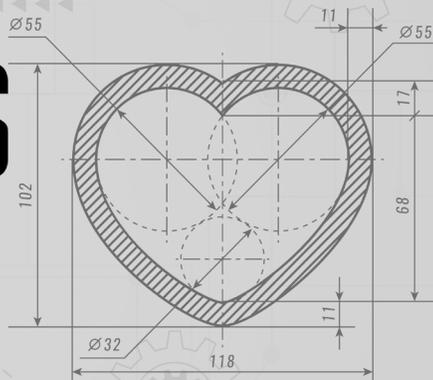
[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 


Atena
Editora
Ano 2023

COLEÇÃO

“ENGENHARIAS EU TE AMO”



ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

@atenaeditora 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 


Atena
Editora
Ano 2023