UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRAÇÃO LATINO-AMERICANA
INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E TERRITÓRIO (ILATIT)
ENGENHARIA DE ENERGIA

EXPLORANDO O FUTURO ENERGÉTICO DO PARAGUAI COM UMA ABORDAGEM ESTATÍSTICA

NICOLAS KRUGER ECHTERHOFF

FOZ DO IGUAÇU-PR
2024

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

NICOLAS KRUGER ECHTERHOFF

EXPLORANDO O FUTURO ENERGÉTICO DO PARAGUAI COM UMA ABORDAGEM ESTATÍSTICA

Trabalho de conclusão de curso de Engenharia de Energia da Universidade Federal da Integração Latino-Americana como requisito parcial para a obtenção do grau de engenheiro de energia

Orientador: Prof. Dr. Maicon Coelho Evaldt

FOZ DO IGUAÇU-PR

2024

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço imensamente aos meus pais, Julio e Letícia, por toda a minha construção como pessoa. Desde a motivação pela curiosidade, o incentivo à pesquisa e à leitura, até o desenvolvimento do meu interesse pelas ciências e pela matemática, sendo literalmente meus professores durante toda a infância e adolescência. Agradeço também pelo apoio nos momentos mais complicados desta jornada, como os melhores pais que eu poderia pedir.

À minha amada companheira, Karely Saudi Garcia Escobar, que esteve ao meu lado nos momentos mais delicados, me mantendo dentro dos limites da sanidade, com carinho e amor, tornando este percurso mais leve, risonho e colorido.

Ao meu professor orientador, Maicon Coelho Evaldt, por todo o suporte necessário para lapidar uma ideia em um trabalho, mostrando o caminho das pedras na construção de um novo pesquisador.

A todos os amigos que fiz nesta longa jornada, especialmente os da Energy Crew, com um agradecimento especial ao Ronald Perez, pelo auxílio na construção do panorama atual, e ao Felipe Augusto Ortolan, pelo apoio na fase inicial do projeto de iniciação científica que culminou na definição deste tema.

A todos os professores que tive na graduação, serei eternamente grato. Suas aulas mudaram minha visão de mundo, tanto nos temas das disciplinas quanto na minha formação como engenheiro e cidadão.

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

RESUMO

Este trabalho representa o projeto de conclusão de curso do autor na graduação em Engenharia de energia. Desenvolveu-se neste trabalho dois métodos de criação de cenários prospectivos de consumo de energia elétrica foi utilizado como base, a técnica de Monte Carlo de desvio padrão reduzido e códigos na linguagem de programação Pyton, e tendo a regressão linear ponderada por intervalos estatísticos como forma de ajuste de tendência, apresentou-se na sequência um estudo de caso do Paraguai, analisando os planos diretores nacionais relacionados ao sistema elétrico de potência e desenvolvendo um critério para definir o nível de compatibilidade com os pontos destacados no panorama energético atual.
Palavras-chave: Consumo de energia; Cenários prospectivos; Monte Carlo híbrido; Paraguai; Regressão linear ponderada.

ABSTRACT

This paper represents the author’s final undergraduate project in Energy Engineering. This work developed two methods for creating prospective scenarios of electricity consumption. It utilized the Monte Carlo technique with reduced standard deviation as the base, along with Python programming language to implement the models. Additionally, weighted linear regression by statistical intervals was employed to adjust the trend of the forecast. The study then presented a case study on Paraguay, analyzing the national master plans related to the power system. A criterion was developed to assess the level of compatibility with the key aspects identified in the current energy landscape, addressing the country's energy challenges and planning needs.

Keywords: Energy consumption; Prospective scenarios; Hybrid Monte Carlo; Paraguay; Weighted linear regression.

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Método MC-DPR para o Paraguai.....61
Gráfico 2 - Histograma das simulações de MC-DPR do Paraguai no ano de 2050 ..62
Gráfico 3 - Método MC-DPR-RLP para o Paraguai.....62
Gráfico 4 - Q-Q plot com N.S. 100 74
Gráfico 5 - Q-Q plot com N.S. 250 75
Gráfico 6 - Q-Q plot com N.S. 500 75
Gráfico 7 - Q-Q plot com N.S. 1000 76
Gráfico 8 - Q-Q plot com N.S. 2500 76
Gráfico 9 - Q-Q plot com N.S. 5000 77
Gráfico 10 - Q-Q plot com N.S. 10000 77
Gráfico 11 - Q-Q plot com N.S. 25000.....78

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Fontes dos planejamentos e as técnicas aplicadas 16
Tabela 2 - Comparação de Geração por Consumo de Energia Elétrica no Paraguai (2010-2021) 31
Tabela 3 – Comparações entre os indicadores do SEP paraguaio entre 2012 e 2022 33
Tabela 4 - Pesos dos intervalos estatísticos 41
Tabela 5 - Valores de restrição para DPR 43
Tabela 6 - Resumo do Panorama atual do Paraguai 51
Tabela 7 - Resumo das Obras de Transmissão no Paraguai 2021-2030 53
Tabela 8 - Resumo dos Investimentos na Transmissão no Paraguai 2021-2030 55
Tabela 9- Cenários de Demanda Máxima de Potência em 2030 (MW) 56
Tabela 10 - Resumo dos planos diretores do Paraguai 57
Tabela 11 – Critério de Compatibilidade 58
Tabela 12 – Compatibilidade dos Problemas atuais com o plano decenal 59
Tabela 13 - Variáveis de entrada da simulação 60
Tabela 14 - Regressões lineares dos dados do Paraguai 60
Tabela 15 - Resultados dos Cenários Simulados do Paraguai para 2030 63
Tabela 16 - Resultados dos Cenários Simulados do Paraguai para 2050 65

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Desvio padrão de Monte Carlo 18
Equação 2 – Sistema de equações de regressão linear 19
Equação 3 – Coeficiente de correlação linear 19
Equação 4 – $S2$ em Shapiro-Wilk 20
Equação 5 – b par de Shapiro-Wilk 20
Equação 6 – b ímpar de Shapiro-Wilk 20
Equação 7 – W_{calc} de Shapiro-Wilk 20
Equação 8 – W_n de Anderson-Darling 21
Equação 9 – K_n de Anderson-Darling 21
Equação 10 - Correção dos pesos da RLP 41
Equação 11 - Diferença média de MC-DPR-RLP 46
Equação 12 – Máximo ajustado MC-DPR-RLP 46
Equação 13 – Mínimo ajustado MC-DPR-RLP 46
Equação 14 – Conversão de GWh para MW 64
Equação 15 – Cálculo do fator de carga 64

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Subdivisões dos Departamentos do Paraguai 22
Figura 2 - Mapa do sistema de transmissão paraguaio de 2021.....26
Figura 3 - Mapa do sistema elétrico paraguaio. 27
Figura 4 – Fluxograma estrutural da metodologia 36
Figura 5 - Fluxograma geral da metodologia.....37
Figura 6 - Mapa do sistema de transmissão paraguaio em 2030.....54

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

SUMÁRIO

1 **INTRODUÇÃO** 13
1.1 PROBLEMA 13
1.2 JUSTIFICATIVA 13
1.3 HIPÓTESE 14
1.4 OBJETIVO GERAL 14
1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 14
2 **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA** 16
2.1 CENÁRIOS PROSPECTIVOS DE CONSUMO ENERGIA ELÉTRICA 16
2.1.1 **Técnicas Usuais nesta aplicação** 16
2.2 ESTUDOS PREVIOS DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO 17
2.3 SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO 17
2.3.1 **Áreas de aplicação** 18
2.4 MÉTODOS DE REGRESSÃO LINEAR 18
2.4.1 **Áreas de aplicação** 19
2.5 TÉCNICAS DE CÁLCULO DE APROXIMAÇÃO NORMAL 20
2.5.1 **Teste de Shapiro-Wilk** 20
2.5.2 **Teste de Anderson-Darling** 21
2.5.3 **Gráfico Q-Q plot (quantile-quantile plot)** 21
2.6 ESTUDO HISTÓRICO DO PARAGUAI 22
2.6.1 **Histórico Energético do Paraguai** 22
2.6.1.1 *Período pré-Stroessner (1947 até 1954)* 23
2.6.1.2 *Período de Stroessner (1954 até 1989)* 23
2.6.1.3 *Período pós-Stroessner (após 1989)* 24
2.6.1.4 *Fechamento das Refinarias (2005)* 24
2.6.2 **Formação da matriz energética** 25
2.6.3 **Apresentação da estrutura institucional do SEP** 25
2.6.3.1 *Estrutura de Geração* 25
2.6.3.2 *Estrutura de Transmissão* 26
2.6.3.3 *Estrutura de Distribuição* 27
2.6.4 **Apresentação dos Procedimentos do SEP** 28
2.6.4.1 *Procedimentos de Distribuição* 28
2.6.4.2 *Procedimentos de Rede* 29
2.6.4.3 *Procedimentos de Comercialização* 29

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

2.6.5 **Exposição do Panorama atual**.....30
2.6.5.1 *Panorama de Geração* 31
2.6.5.2 *Panorama de Infraestrutura*.....32
2.6.5.3 *Panorama de Comercialização* 35
3 **METODOLOGIA** 36
3.1 DEFINIÇÃO DA VARIÁVEL A SER ESTUDADA 38
3.2 ÁREA GEOGRAFICA ANALISADA 38
3.2.1 **Coleta de informação**.....38
3.2.2 **Criação do banco de dados**.....39
3.3 TÉCNICA DE REGRESSÃO LINEAR PONDERADA (RLP).....39
3.3.1 **Motivação para utilização de RLP**.....39
3.3.1.1 *Comparação da RLP com RL simples*.....39
3.3.2 **Definição dos intervalos estatísticos** 40
3.3.3 **Cálculo da regressão linear ponderada** 41
3.4 TÉCNICA DE MONTE CARLO (MC).....41
3.4.1 **Linguagem de programação usada** 42
3.4.2 **Motivação da escolha de MC por Desvio Padrão Reduzido (DPR)** 42
3.4.3 **Variáveis de entrada para técnica de MC** 42
3.4.3.1 *Valor de restrição (V.R) para o DPR*.....42
3.4.3.2 *Escolha do ano a ser iniciada a simulação(A.In.)* 43
3.4.3.3 *Anos Simulados (A.S.)* 43
3.4.3.4 *Números de simulações (N.S.)*.....44
3.4.3.4.1 Definição para o valor de N.S.....44
3.4.3.4.2 Observações quanto ao valor de N.S.....44
3.4.3.5 *Limitação de variação anual*.....45
3.4.4 **Simulações em Monte Carlo (MC-DPR)**.....45
3.4.5 **Extração dos valores anuais simulados (máximos, médias e mínimos)** 45
3.4.6 **Gráficos para visualização do método MC-DPR**.....45
3.5 MÉTODO MC-DPR-RLP 46
3.5.1 **Cálculo dos valores anuais ajustados**.....46
3.5.2 **Gráfico para visualização do método MC-DPR-RLP** 46
3.6 CRIAÇÃO DOS CENÁRIOS DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NACIONAL.....47

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

3.7 CÁLCULO DE CONFIABILIDADE DOS MÉTODOS APLICADOS 47
3.7.1 **Método de adiantamento do A.In. da simulação** 47
3.7.2 **Outros métodos de confiabilidade existentes para MC** 48
3.8 AVALIAÇÃO TÉCNICA DA APLICABILIDADE DAS METODOLOGIAS DESENVOLVIDAS 48
3.8.1 **Casos de tendência** 48
3.8.2 **Casos extremos** 48
3.8.2.1 *Importância da análise dos casos extremos* 49
3.9 MODELO DE ESTUDO 49
3.9.1 **Estrutura do estudo de caso** 49
3.9.1.1 *Panorama atual* 49
3.9.1.2 *Planos decenais* 50
3.9.1.3 *Apresentação de cenários resultantes* 50
3.9.1.4 *Análise dos cenários e planejamentos a longo prazo* 50
4 **ESTUDO DE CASO** 51
4.1 RESUMO DO PANORAMA ATUAL 51
4.2 ANÁLISE DO PLANO DECENAL 52
4.2.1 **Resumo do plano decenal** 52
4.2.1.1 *Plano diretor de Geração* 52
4.2.1.2 *Plano diretor de Transmissão* 53
4.2.1.3 *Plano diretor de Distribuição* 55
4.2.1.4 *Tabela de Resumo dos planos diretores* 56
4.2.1.5 *Compatibilidade dos problemas com o plano decenal* 57
4.3 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DA METODOLOGIA 59
4.3.1 **Entradas da simulação realizada** 59
4.3.2 **Equações de regressão** 60
4.3.3 **Gráficos obtidos pelo método** 61
4.4 ANÁLISE DE RESULTADOS DA METODOLOGIA 63
4.4.1 **Análise comparativa entre o plano decenal e as metodologias apresentadas** 63
4.4.2 **Apresentação dos resultados para 2050 e indicações de planejamento** 64
4.5 PRÓXIMOS PASSOS PARA A PESQUISA 66
5 **CONCLUSÕES** 68

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....69
Apêndice 1 – Testes de N.s. 74
Teste 1 – N.S. = 100.....74
Teste 2 – N.S. = 250.....74
Teste 3 – N.S. = 500.....75
Teste 4 – N.S. = 1000.....75
Teste 5 – N.S. = 2500.....76
Teste 6 – N.S. = 5000.....77
Teste 7 – N.S. = 10000.....77
Teste 8 – N.S. = 25000.....78

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica desempenha um papel crucial no desenvolvimento econômico e social de qualquer nação, influenciando diretamente o bem-estar de sua população e a capacidade produtiva do país. A eficiência na gestão e no consumo de energia é fundamental para garantir que os recursos energéticos sejam utilizados de forma sustentável, promovendo o crescimento contínuo e equilibrado. No contexto geral do Mercosul, bloco econômico que o Paraguai é um dos estados fundadores, onde a integração energética entre os países-membros é vital para o desenvolvimento regional, a previsão de consumo de energia ganha ainda mais importância para pensar na cooperação entre os países nos recursos energéticos (FERRAZ; VIEGAS, 2021).

Este trabalho propõe explorar uma área ainda pouco abordada no campo de previsões energéticas, conforme observado em DEBNATH; MOURSHED, 2018: o uso de métodos baseados no algoritmo de Monte Carlo para a criação de cenários preditivos de consumo de energia elétrica. A aplicação desse método estatístico oferece uma maneira robusta de simular diferentes condições e variáveis em contextos regionais ou nacionais.

1.1 PROBLEMA

O desenvolvimento de previsões de consumo de energia elétrica tanto a nível nacional e regional, é crucial para decisões de curto prazo, auxiliando operadoras do sistema elétrico, e para planejamentos energéticos de longo prazo no país ou região. A importância da energia elétrica na sociedade moderna não apenas reforça a relevância dessas predições, mas também destaca a necessidade de um alto nível de confiança nos resultados.

1.2 JUSTIFICATIVA

As metodologias mais comuns aplicadas na previsão de cenários de consumo energético apresentadas por DEBNATH; MOURSHED, 2018 estão principalmente ligados a análise regressiva, métodos de séries temporais de uma variável, métodos de inteligência computacional e algoritmos de aprendizado de máquina.

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

Porém grande parte destas metodologias não instigam a criação de cenários puramente baseados nos dados, e aproximam-se de criar cenários únicos e muito próximos de uma linha de tendência simples, dificultando muito a criação de modelos predição de impactos de crises, tal qual desenvolvido por LI *et al.*, 2022 no caso na pandemia global de Covid-19. Analisando os impactos da crise energética gerada pela pandemia, evidenciando a falta de estudo e preparo para o desenvolvimento de cenários de crise com os métodos atuais, e sugerindo a pesquisa de novas técnicas que tenham esta capacidade de análise de maneira confiável.

Nesse contexto, surgem os métodos ligados a Monte Carlo, que são métodos puramente matemáticos que possibilitam a criação de cenários de predição, usou-se como base os dados históricos disponíveis, porém como é possível observar no levantamento realizado por DEBNATH; MOURSHED, 2018, esta é uma área ainda pouco explorada.

1.3 HIPÓTESE

A aplicação de técnicas de predição que usam como base o método de Monte Carlo, podem ser usadas em âmbitos da criação de cenários nacionais de consumo de energia elétrica? E por disporem da característica de serem métodos intrinsicamente aleatórios possuem a capacidade de criar cenários sem sofrer a interferência de agentes externos?

1.4 OBJETIVO GERAL

Apresentar uma alternativa na previsão de consumo de energia elétrica através de um método desenvolvido com o uso do método de Monte Carlo, considerando dados históricos e demográficos do Paraguai.

1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evidenciar a aplicabilidade da metodologia em âmbito da política energética nacional do Paraguai.
- Apresentar os métodos existentes, bem como, os critérios para a escolha do método de Monte Carlo como método base.

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

- Apresentar a viabilidade técnica da metodologia de Monte Carlo na aplicação de simulação de consumo de energia elétrica.
- Desenvolver um estudo de caso do Paraguai apresentando as análises comparativas com os planos diretores.

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo realizou-se a revisão bibliográfica para embasar o desenvolvimento do método, visou-se também fortalecer os argumentos quanto a situação atual do consumo de energia do Paraguai, em conjunto a isso apresentou-se o desenvolvimento matemático dos métodos de Monte Carlo, regressão linear, e testes de normalidade de dados.

2.1 CENÁRIOS PROSPECTIVOS DE CONSUMO ENERGIA ELÉTRICA

Frente aos cenários prospectivos de energia elétrica, como principais bases são os planejamentos energéticos nacionais, sobretudo dos Estados parte do Mercosul, dos quais o Paraguai é um deles, apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Fontes dos planejamentos e as técnicas aplicadas

Pais	Fonte	Método
Argentina	SECRETARÍA DE ENERGÍA, 2023, p. 38-39	Previsão das medidas políticas implementadas e o crescimento do PIB
Brasil	EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2021	Crescimento previsto do PIB
Paraguai	ANDE, 2019	Número de clientes, energia faturada e Crescimento previsto do PIB
Uruguai	ALVAREZ *et al.*, 2023, p. 14	UTE-Distribuidor (curto prazo) e direção nacional de energia (longo prazo)

Fonte: Autoria Própria

É possível observar que, em grande parte, as organizações utilizam como base principal a evolução do PIB para a análise de cenários de consumo de energia.

2.1.1 Técnicas Usuais nesta aplicação

Dentre as técnicas usadas ao redor do mundo para previsão de consumo energético, são citados os métodos apresentados por DEBNATH; MOURSHED, 2018. Que podem ser divididas em três grandes grupos:

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

1) Análise regressiva. Aplicadas por metodologias como *Linear Regression* (LR) e *Logistic Regression* (LoR).
2) Métodos de séries temporais de uma variável. Aplicadas por métodos como *Autoregressive Integrated Moving Average* (ARIMA) e *Seasonal autoregressive integrated moving average* (SARIMA).
3) Algoritmos de aprendizado de máquina. Aplicadas por métodos como *Artificial Neural Networks* (ANN) e *Support vector machine* (SVM).

2.2 ESTUDOS PREVIOS DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO

Atualmente em relação aos planejamentos de integração energética do Mercosul são principalmente ligados a SIESUR (OLADE, 2020) e as reuniões entre ministros de energia dos estados parte do Mercosul, dentro destas é possível citar a ocorrida de maneira online no dia 7 de dezembro de 2021, descrita por MERCOSUR, 2021. Além dos estudos governamentais, vale citar também a análise dos desafios e oportunidades do ponto de vista de Relações Internacionais, desenvolvida por SANTOS, 2015

Ainda não existe como é possível observar na Tabela 1, uma metodologia única compartilhada por todos os Estados parte assim, neste trabalho propõe-se uma metodologia, aplicada ao Paraguai neste trabalho, baseada nas técnicas de Monte Carlo para estudo do planejamento energético.

2.3 SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO

O método de Monte Carlo é descrito por RUBINSTEIN; KROESE, 2017 como um método de simulação computacional estocástica e sua estrutura simples pode ser descrita pelos seguintes passos lógicos, apresentados por GLASSERMAN, 2003.

- Determinar a variável a ser simulada;
- Determinar o intervalo que será simulado;
- Determinação do número de simulações que alcançam a distribuição normal;
- Cálculo do desvio padrão dos dados;

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

Equação 1 – Desvio padrão de Monte Carlo

$$S_f = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(f(U_i) - \hat{a}_n)^2} \quad sendo \ \hat{a}_n = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} f(U_i)$$

Sendo f a função que está sendo simulada, U_i o um dos dados do intervalo que sera aplicada a simulação e por fim $\hat{a}_n$ sendo a média do conjunto de dados simulados.

- Simulação por um valor aleatório dentro do intervalo determinado por S_f;
- Repetição do método pelo número de simulações definido.

2.3.1 Áreas de aplicação

Segundo LIU, 2004 as primeiras aplicações de Monte Carlo foram realizadas no desenvolvimento do código do primeiro supercomputador o MANIAC (*Mathematical Analyzer, Numerical Integrator and Computer*), porém conforme o tempo passou, as aplicações se tornaram muito diversas, ainda segundo LIU, 2004 é possível citar aplicações de técnicas ligadas a Monte Carlo nas seguintes áreas: Biologia; Química; Ciência computacional; Economia e finanças; Engenharia; Ciência de materiais, tendo como alguns exemplos de aplicação: Simulação de fluidos; Modelos de Spin Glass; Modelo físico de cristais harmônicos; Modelo de polímeros; Otimização combinatória; Interferência estatística não paramétrica; Análise genética estatística; Modelagem e cálculos bayesianos; Previsão de mercado de ações.

Estas inúmeras áreas de aplicação são segundo LIU, 2004 resultado da extrema flexibilidade e força do método de Monte Carlo. Já outro método clássico para as aplicações de análise de tendencia de variáveis, que se pode utilizar para a criação cenários de energia elétrica é o método de Regressão Linear.

2.4 MÉTODOS DE REGRESSÃO LINEAR

O método de regressão linear, apresentado por YAN; SU, 2009, foi inicialmente desenvolvido por Legendre em 1805 e por Gauss em 1809 a partir do método de mínimos quadrados, usados na época para realizar análises de observações astronômicas e estudo de orbitas, já em 1821 Gauss desenvolveu a versão conhecida atualmente da teoria de mínimos quadrados, conhecida como teorema de Gauss-Markov, sendo essa a base atual do desenvolvimento de modelos lineares gerais.

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

Este método tem como principais objetivos, ainda segundo YAN; SU, 2009.

- Estabelecer uma relação entre as variáveis;
- Prever valores da variável dependente conforme os valores da variável independente;
- Definir o tipo e nível de dependência entre as variáveis.

Este método de regressão linear simples pode ser desenvolvido conforme apresentado por YAN; SU, 2009, usando como base uma determinada lista de dados em x_i e y_i ajustados a seguinte equação da reta de regressão $\hat{y}_i = \beta_0 + \beta_1 x_i$, encontrando a solução para o sistema de equações abaixo.

Equação 2 – Sistema de equações de regressão linear

$$\frac{\partial}{\partial \beta_0} \sum_{i=1}^{n} [y_i - (\beta_0 + \beta_1 x_i)]^2 = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial \beta_1} \sum_{i=1}^{n} [y_i - (\beta_0 + \beta_1 x_i)]^2 = 0$$

Equação 3 – Coeficiente de correlação linear

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^{n} (y_i - \bar{y})^2} \quad sendo\ \bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^{n} y_i}{n}$$

Sendo que $\hat{y}_i$ representa os valores do conjunto y_i ajustado pela curva, β_0 e β_1 respectivamente representando os coeficientes linear e angular da reta e por fim $\bar{y}$ representando a média dos valores que compõem o conjunto y_i.

O coeficiente de regressão linear representa a aproximação do conjunto de dados analisados e a reta de regressão determinada pelo sistema de equações.

2.4.1 Áreas de aplicação

Como apresentado a regressão linear é uma técnica simples e antiga, portando suas aplicações são extremamente diversas. Assim as suas áreas de aplicação se limitam a qualquer conjunto de dados contendo 2 variáveis, desde a orbitas de planetas desenvolvida por Gauss, como apresentado por YAN; SU, 2009, até temas mais atuais como a previsão de produção de petróleo, discorrido por ALHARBI *et al.*, 2022.

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

2.5 TÉCNICAS DE CÁLCULO DE APROXIMAÇÃO NORMAL

Para a definição da variável de número de simulações de Monte Carlo, apresentadas na subsecção 3.4.3.4.1 foram utilizados três métodos diferentes de aproximação normal, são eles: Teste de Shapiro-Wilk (1965), teste de Anderson-Darling (1952), método gráfico de Quantile-Quantile Plot(1968). Estão eles listados e explicados, nesta sequência nas próximas subsecções.

2.5.1 Teste de Shapiro-Wilk

Este teste foi apresentado incialmente por SHAPIRO; WILK, 1965. Este teste busca desenvolver uma nova metodologia para testar a normalidade de um conjunto de dados, verificando a existência de *outliers* ou erros de amostra, e é baseada em resumo nos seguintes passos.

- Determinação do conjunto de dados a serem testados;
- Ordenamento das amostras do conjunto;
- Cálculo de S^2 (desvio padrão);

Equação 4 – S^2 em Shapiro-Wilk

$$S^2 = \sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2$$

- Cálculo de b (normalização da inclinação da reta da regressão esperada do conjunto x_i);

Equação 5 – b par de Shapiro-Wilk

$$b = \sum_{i=1}^{n/2} a_{n-i+1}(x_{n-i+1} - x_i)\,, se\ n = par$$

Equação 6 – b ímpar de Shapiro-Wilk

$$b = \sum_{i=1}^{(n+1)/2} a_{n-i+1}(x_{n-i+1} - x_i)\,, se\ n = ímpar$$

- Cálculo de $W_{calc;}$ (Fator estatístico de Shapiro-wilk, hoje chamado de p-valor).

Equação 7 – W_{calc} de Shapiro-Wilk

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

$$W_{calc} = \frac{b^2}{S^2}$$

- Verificação do p-valor pelas tabelas de Shapiro-Wilk. (SHAPIRO; WILK, 1965, p. 603-605).

Porém atualmente, existem bibliotecas de programação que possuem o teste de Shapiro-Wilk, facilitando sua aplicação

2.5.2 Teste de Anderson-Darling

Já o teste de Anderson-Darling foi apresentado incialmente por ANDERSON; DARLING, 1952, e consiste, em maneira resumida, nos seguintes passos.

- Definição do grupo de dados a serem analisados;
- Escolha da distribuição a ser testada, no caso deste trabalho a distribuição normal, por conta da estrutura do algoritmo de Monte Carlo;
- Cálculo da estatística de Anderson-Darling;

Equação 8 – W_n de Anderson-Darling

$$W_n^2 = \int_{-\infty}^{\infty} [F_n(x) - F(x)]^2 * \psi[F(x)] dF$$

- Cálculo do fator de ajuste (K_n).

Equação 9 – K_n de Anderson-Darling

$$K_n = \max_{-\infty<x<\infty} \sqrt{n *} \, |F_n(x) - F(x)| * \sqrt{\psi[F(x)]}$$

Sendo $F(x)$ o conjunto de dados simulados, e ψ sendo uma função que transforma em 0 todos os valores fora do valor de significância da análise do fator de ajuste

Contudo semelhante ao teste apresentado anteriormente existem bibliotecas de programação que possuem o teste de Anderson-Darling, facilitando sua aplicação

2.5.3 Gráfico Q-Q plot (quantile-quantile plot)

O método gráfico de Quantile-Quantile Plot foi apresentado por primeira vez por WILK; GNANADESIKAN, 1968. Este método representa graficamente, usando escala de LOG-LOG a interação entre um grupo de dados e uma distribuição pré-determinada, comparando por uma linha diagonal a aproximação entre o grupo de dados a serem testados e a distribuição que está sendo testada.

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

2.6 ESTUDO HISTÓRICO DO PARAGUAI

Esta subsecção busca apresentar os principais dados do histórico energético do Paraguai, assim como sua construção institucional e estrutural do SEP, para a construção de um panorama energético atual do país.

2.6.1 Histórico Energético do Paraguai

O Paraguai, ou República do Paraguai, é um país localizado no centro da América do Sul, a república é segregada em 17 departamentos (STATOIDS, 2015), e possuía aproximadamente 6.780.000 habitantes, em 2015. O país faz fronteira com o Brasil, a Leste, Bolívia, ao norte, e Argentina, a oeste e a sul, sendo um dos países da América do Sul que não possui acesso ao mar.

Figura 1 - Subdivisões dos Departamentos do Paraguai

Fonte. WIKIPEDIA, 2024

Um estudo mais aprofundado em relação a estrutura possibilita a construção de uma base geral para o entendimento do momento energético atual do país, visando a construção mais embasada de cenários de planejamento energético para o Paraguai.

Para a construção desta análise histórica inicial serão utilizados os dados disponibilizados pelo *Viceministerio de Minas y Energia* (VMME) do Paraguay através

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

do *Sistema de Información Energética Nacional* (SIEN, 2011), o intervalo analisado será a partir do ano de 1970, sendo este o mesmo período analisado na metodologia.

2.6.1.1 Período pré-Stroessner (1947 até 1954)

Levando em conta a história o Paraguai até anos 60, o país tinha como principal oferta energética a lenha, que compunha 66,73% da oferta total de 10,939 Mbep espelhando a situação do país na época que se recuperava da guerra civil em 1947, e períodos de ditaduras, sendo majoritariamente um país pouco industrializado, com a economia baseada no setor agrícola, até o início da ditadura de Alfredo Stroessner.

2.6.1.2 Período de Stroessner (1954 até 1989)

O Paraguay passou pelo processo de industrialização tardia, alavancado principalmente pela construção da Usina Hidroelétrica (UHE) de Itaipu, dada a necessidade de insumos para o empreendimento e posteriormente, com a oferta de energia que a UHE disponibilizou no país e a ampliação de recursos provenientes da usina com a comercialização de energia excedente.

Em 1973, com a assinatura do tratado de Itaipu e início das obras ocorreu um ponto de inflexão no cenário energético e econômico; com um incremento no PIB de 577,4% entre 1971 e 1984 que foi de USD 0,664 bilhões para 4,502 bilhões, no mesmo período a oferta energética sofreu um incremento de 58% passando de 10,939 Mbep para 18,772 Mbep, principalmente com o aumento na demanda de combustíveis fosseis na construção da usina.

Após a início da operação da Itaipu em 1984 e com o incremento sucessivo das turbinas, a oferta de energia alcançou 70,559Mbep em 1997, onde neste período ocorreu a eletrificação do país com a hidroenergia, redução na oferta de lenha e normalização na oferta de combustíveis. Mesmo com essa tendência, a lenha ainda manteve sua participação em 20,77% na oferta total em 1997 atrás somente da hidroenergia que passou de 4,09% em 1984 a 50,13% em 1997; o PIB se manteve com crescimento vegetativo nesta época devido ao baixo índice de industrialização e com o país passando por adequações na sua infraestrutura para o escoamento deste montante de energia provido por Itaipu, mesmo que maior parte fosse comercializada com o Brasil.

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

2.6.1.3 Período pós-Stroessner (após 1989)

Somente no final dos anos 90 e início dos anos 2000, após mudanças no cenário político com o fim da ditadura, retorno de investimento externo e com o superciclo das comodities o país passou por um crescimento exponencial com o PIB saltando de USD 8,837 bi (1999) para USD 24,62 bi (2008), onde mesmo abalado pela crise em 2008, manteve o crescimento nos anos subsequentes e alcançou a máxima de USD 40,38 bi em 2014. Energeticamente, este crescimento no PIB foi acompanhado linearmente pelo crescimento na oferta de energia, principalmente no aumento na demanda de combustíveis fósseis (diesel), para a operação logística de escoamento da produção agrícola.

2.6.1.4 Fechamento das Refinarias (2005)

O pais encerrou sua importação de petróleo junto a Argentina em 2005 e sem reservas nacionais encerrou suas operações na única refinaria do pais, deixando assim toda a cadeia de refino e consequente toda a oferta de energia de óleo diesel e gasolina provinda de importações, mas com o fortalecimento da do setor agrícola e da agroindústria no pais por conta do superciclo das comodities o pais vem observando um crescimento na oferta de energia proveniente da cana de açúcar que em 2004 representava apenas 0,03% em 2004 e chegou a 9,10% em 2021.

Na última década o Paraguai a oferta energética vem sofrendo um crescimento na área de hidrocarbonetos e uma redução na oferta de hidroenergia, principalmente atrelado ao fator climático onde fortes secas vem afetando a bacia do rio Paraná e com as principais UHE (Itaipu e Yacyretá) contidas na mesma, a oferta de energia de hidroenergia vem reduzindo sua participação ao longo dos anos e vem sendo compensada pelo crescimento na participação da lenha, hidrocarbonetos, outras fontes primarias, como solar e eólica, e outras secundarias, hidrogênio e biocombustíveis, porém estas últimas quatro fontes citadas com baixo impacto se for considerado o consumo total.

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

2.6.2 Formação da matriz energética

O Paraguai não detém reservas de petróleo, e possuía uma refinaria até o ano de 2005, porém atualmente somente importa todos os hidrocarbonetos usados no país, estas importações em 2019 totalizam 19,5MBep (SIEN, 2011).

Um ponto a se destacar é que o Paraguai, é o único país do mundo a ter alcançado a geração de energia elétrica completamente renovável, composta principalmente pela energia hidroelétrica, o grande destaque do país. (ENERGY, 2022), sendo que em 2019 esta fonte gerou um total de 32,3MBep.

Para a matriz energética do país outro ponto muito relevante é a queima de lenha, que no ano de 2019 chegou a aproximadamente 17MBep, usadas principalmente nas termoelétricas e para uso doméstico.

2.6.3 Apresentação da estrutura institucional do SEP

Referente às Organizações governamentais e empresariais, o Paraguai possui uma organização integralmente estatal, formado pelo Vice Ministério de Minas e Energia e pela Administração Nacional de Eletricidade (ANDE).

Sendo o Vice Ministério é responsável pelo estudo, identificação e utilização de energias alternativas, bem como, licenciamento e regulamentação de projetos de energia, já a ANDE é responsável por suprir as necessidades relacionadas a energia elétrica, ligadas as três etapas do Sistema Elétrico de Potência (SEP). (ENERGY, 2022)

O SEP do Paraguai é composto em quase sua integridade por mecanismos estatais e é controlado por uma única instituição, a ANDE.

2.6.3.1 Estrutura de Geração

Atualmente, a demanda elétrica paraguaia é suprida por energia de fontes limpas e renováveis, localizadas principalmente ao longo da bacia do rio Paraná. Onde existem três hidrelétricas que atendem a demanda elétrica paraguaia, sendo elas: Acaray, com 400 MW, Itaipu, binacional com o Brasil, com 7.000 MW, e Yacyretá,

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

binacional com Argentina, com 1600 MW. Além de ter seu consumo elétrico atendido por energia limpa, o Paraguai possui excedente na geração, comercializando este excedente com países vizinhos.

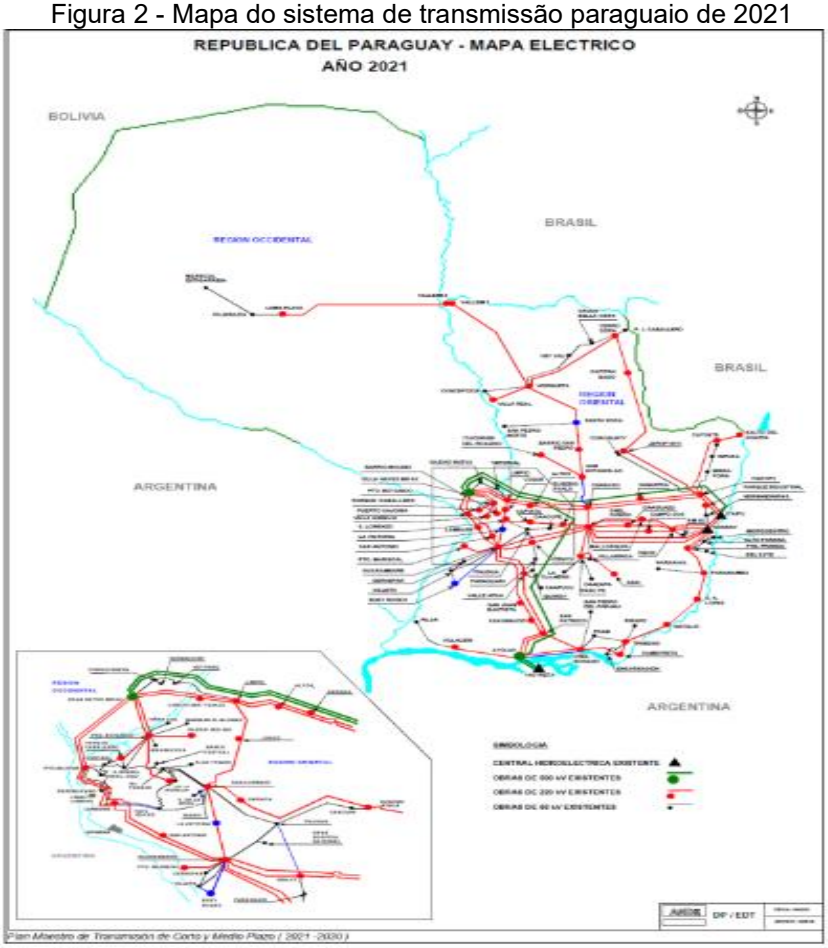
Apesar de uma matriz elétrica 100% renovável, a dependência de uma única fonte de energia como a hidrelétrica representa um alto risco para o SEP, uma vez que as secas ocorridas na última década na região geram uma crise energética para as operações das usinas dependentes dos rios Paraná e Paraguai.

2.6.3.2 Estrutura de Transmissão

O Sistema Interligado Nacional do Paraguai (SINP) opera em alta tensão com níveis de 66, 220 e 500 kV em 50 Hz.

Na Figura 2 é possível ver o mapa ilustrado de todas as linhas existentes no SINP. As linhas de 220 kV são mostradas em vermelho e as linhas de 500 kV em verde.

Figura 2 - Mapa do sistema de transmissão paraguaio de 2021



Fonte: (ANDE, 2021)

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

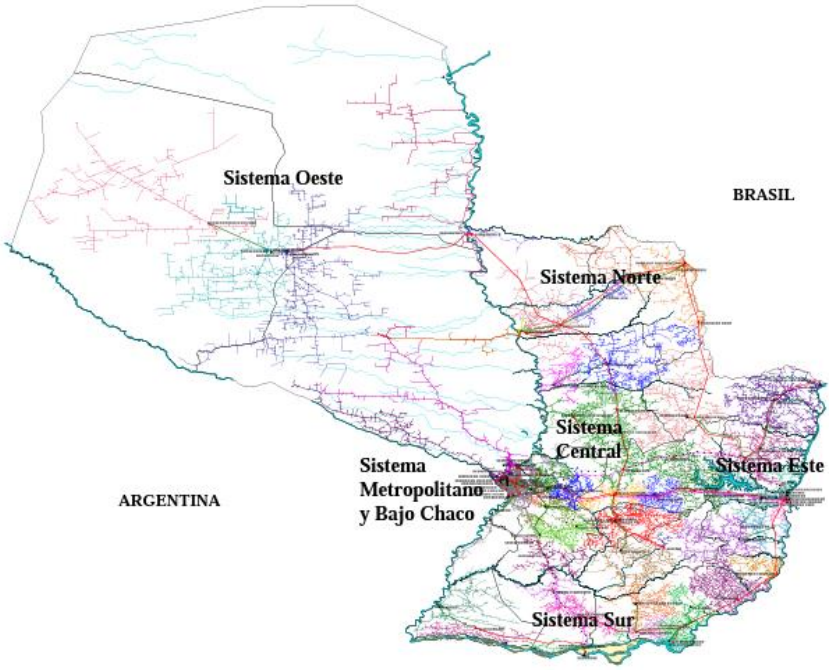
O SINP opera baseado em uma rede principal de 4.727 km de linhas de transmissão de 220 kV, complementada por 1.355 km de linhas de transmissão de 66 kV, 95 subestações de transmissão, e 727 km de linhas de transmissão de 500 kV (SACHS *et al.*, 2021). está dividido em 6 sistemas: Sistema Norte, Sistema Sul, Sistema Leste, Sistema Oeste, Sistema Central e Sistema Metropolitano.

É importante destacar que a transmissão de energia elétrica no Paraguai é realizada por meio de dois subsistemas. Atualmente, esses subsistemas não estão operando em sincronismo porque não é tecnicamente viável a operação das usinas de Itaipu e Yacyretá, pois causaria problemas de estabilidade para o SINP. A operação do SINP com ambos os subsistemas interligados é esperada no curto prazo, proporcionando aumento na robustez do sistema (ENCISO,2019).

2.6.3.3 Estrutura de Distribuição

A maior parte da demanda total do SINP, 54,6%, está conectada na região Metropolitana (SACHS *et al.*, 2021), como é possivel identificar na Figura 3. O número de clientes da ANDE, que detém o monopólio do setor, conta com aproximadamente 1.717.413 usuários em 2020 (LUCANTONIO; SOSA; AIELLO, 2022). Historicamente, 35% a 45% do faturamento da ANDE vem do setor Residencial.

Figura 3 - Mapa do sistema elétrico paraguaio.



Fonte: (ANDE, 2021)

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

Além da ANDE, participam do SINP duas entidades privadas (Compañía de Luz y Fuerza de Villarrica - CLYFSA) e da Associação de Colônias Menonitas. Ambas as entidades compram energia da ANDE e a comercializam em seus respectivos segmentos de serviços. Os preços de comercialização destas entidades estão sujeitos às Especificações Tarifárias da ANDE.

A cobertura aumentou de 98,2% em 2011 em nível nacional para 99,96% em 2020 (LUCANTONIO; SOSA; AIELLO, 2022). Na região do Chaco Ocidental, existem áreas não conectadas à rede, com populações pequenas e amplamente dispersas.

2.6.4 Apresentação dos Procedimentos do SEP

Nesta subsecção serão apresentados os principais procedimentos ligados ao sistema elétrico de potência do Paraguai, onde estes podem ser encontrados nas abas *Licitaciones* e *Informaciones Útiles* (ANDE, 2024).

2.6.4.1 Procedimentos de Distribuição

Segundo dados da Administração Nacional de Eletricidade (ANDE, 2023), no ano de 2018 cerca de 1.631.602 pessoas estavam interligadas ao sistema elétrico nacional; que para a instituição representa principalmente uma expansão na complexidade do sistema interligado do país.

Assim, para estabelecer procedimentos que atendam essa demanda da parte mais acessível ao consumidor são elaborados e disponibilizados através do site da ANDE instruções normativas que forneçam os procedimentos para a implantação e normas que devem ser seguidas para caso de fiscalização e alteração de parte do deste sistema e, destacam-se a Instrução Técnica de Distribuição (I.T.D) N° 01 de novembro de 2019, que regulamenta o posicionamento do sistema de distribuição primário e secundário em relação aos cabos de telefonia privada; que no Brasil as mesmas informações são obtidas através da NBR 15688(ABNT, 2013).

As principais subdivisões que estão contidos nesta normativa, podem ser simplificados pelos tópicos abaixo.

- Obras com contribuições compartilhadas ANDE – CANDIDATO;
- Sistema integral de manutenção em média tensão;

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

- Sistema integral de manutenção em baixa tensão;
- Gestão de atenção de sinistros no sistema elétrico de distribuição;
- Operação e supervisão e controle do sistema elétrico de distribuição;
- Recepção de transformadores de distribuição.

2.6.4.2 Procedimentos de Rede

Atualmente nesta área ANDE implantou um Plano operativo anual, no qual busca realizar a modernização e digitalização de parte do sistema elétrico nacional, iniciativas que buscam ser implantadas a longo prazo, para melhorar as condições de operação e segurança do sistema (ANDE, 2022).

A ANDE busca parcerias para automatizar todo o processo para chaves comandadas de forma que está desenvolvendo equipamentos em parceria com a General Eletric, o desenvolvimento de um sistema de gerenciamento e Transmissão de energia e a construção de um Centro nacional de operação e Data Center (ANDE, 2022).

2.6.4.3 Procedimentos de Comercialização

A Ande regulamenta todo o processo de comercialização interna da energia elétrica em território paraguaio; desta forma a mesma atende todos os consumidores, tanto os de BT, MT e AT. Onde principalmente nos últimos anos com o advento de políticas sociais por conta da pandemia, ocorreu um decréscimo no valor do de comercialização para os consumidores de BT.

Alterações em margens de consumo para MT ocorreram a fim de reduzir os custos e fomentar a indústria local.

Para realizar uma conexão através do sistema interligado teremos 2 principais regramentos que regulamentam o processo se tratando de consumidores, respectivamente vigentes desde 1975 e 1971:

- Reglamento para Instalaciones eléctricas de Media Tensión de la Ande;
- Reglamento para Instalaciones eléctricas de Baja Tensión de la Ande.

Assim, as principais discussões tratadas atualmente no país são a respeito da comercialização de energia elétrica com países estrangeiros como Brasil, Argentina e Uruguai. Discussões a respeito da migração do comércio cativo de energia para o

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

mercado livre não estão em pauta, dado o superávit de energia e comercialização do excedente no caso de Itaipu, onde uma parcela deste valor da exportação de energia elétrica acaba subsidiando o custo para os consumidores.

2.6.5 Exposição do Panorama atual

Esta secção tem como objetivo apresentar as bases de análise do panorama atual do SEP Paraguai bem como os principais desafios de cada área, além de comparar estes desafios futuros com os planos decenais apresentados pela ANDE em dada uma das áreas.

Antes de apresentar os principais desafios do futuro energético da República do Paraguai é necessário apresentar um dos principais divisores de água: A construção da Usina Hidroelétrica de Itaipu, como foi descrito anteriormente na secção de histórico, esta UHE ainda possui um impacto extremo em toda a organização do SEP desta nação.

Como é desenvolvido por GWYNN, 2023, é possível identificar que os impactos do Itaipú e da relação quando aos rios internacionais aplicada pelas nações ribeirinhas ligadas ao rio Paraná, vão muito além da geração de energia elétrica e seus sistemas adjacentes, que serão discorridos durante esta secção, é possível listar tambem os impactos socioeconômicos, ambientais e políticos.

Levando em conta a socioeconomia é possível identificar principalmente trabalhos desenvolvidos desde 1970 até os dias de hoje como por exemplo os projetos educacionais apresentados por SBARDELOTTO, 2022, sendo que alguns dos resultados destes desenvolvimentos são apresentados por CHAMORRO, 2008 e DI TORE, 1991.

Considerando a questão ambiental são apresentados, também por GWYNN, 2023, projetos de preservação, proteção, reflorestamento, restauração e desenvolvimento de aproximadamente 100.000 hectares de mata nativa.

Por fim, ligados a política é possível ligar a importância do desenvolvimentos dos tratado de utilização das aguas e a manutenção de conselhos diversos ligados a utilização das aguas, alguns destes tratados são o decreto no 72.707(BARBOZA, 1973), DECRETO N° 67.084 (BARBOZA, 1970) e outros tratados relacionados a este ponto podem ser vistos nos anexos do trabalho de FAJARDO, 2004.

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

2.6.5.1 Panorama de Geração

Primeiramente para falar sobre a geração de energia no Paraguai, é relevante reforçar que por mais que esta seja 100% renovável, e como já apresentado neste trabalho, sendo um dos primeiros países a alcançar tal feito, ela ainda sim possui problemas que podem ser identificados.

O problema mais visível e destacado nas pesquisas de energias é, o impacto da mudança climática na geração de energias renováveis, e no caso do Paraguai sobretudo a hidroelétrica, que segundo (GWYNN, 2023) a américa do sul, tal como o mundo todo, vem sofrendo com condições de clima extremo, como grandes períodos de secas e queimadas de grandes escalas, e mesmo com todas as tentativas de aumentar a produtividade na geração das hidroelétricas, com um aumento de 5,13% entre 2018 e 2021, a queda brutal no fluxo de agua do Rio Paraná, o principal na nação, a geração que alcançou 96.585.596 MWh no ano de 2018, caiu para 66.369.253 MWh em 2021, o que equivale a uma queda de 31,28%.

Além dos impactos mais diretos das mudanças climáticas, é interessante destacar também que a geração de energia do Paraguai tem uma fonte única, o que agrava ainda mais os problemas decorrentes das secas, além de não existir estruturas possíveis de garantir o suprimento de energia dos consumidores, como é destacado no trabalho de GIELEN *et al.*, 2019, o que pode diminuir muito a resiliência do país nesta questão.

Por fim em questão de geração é fundamental discutir sobre a necessidade de ser expandida a capacidade de geração do país, para isso podemos observar os valores de consumo e geração desde 2010 na Tabela 2:

Tabela 2 - Comparação de Geração por Consumo de Energia Elétrica no Paraguai (2010-2021)

Ano	Geração GWh	Consumo GWh	Taxa de Geração consumida (%)
2010	119389	111172	93,11746
2011	122620	113585	92,63171
2012	128544	117711	91,57254
2013	132159	117677	89,04199
2014	131558	123612	93,96008
2015	137559	128650	93,52351

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

2016	139367	128457	92,17175
2017	138362	125839	90,9491
2018	139519	125405	89,88382
2019	132975	122800	92,34819
2020	138562	122535	88,43334
2021	146566	126736	86,47026

Fonte: OLADE, 2023 (Adaptado)

Assim é possível identificar que no intervalo estudado o país possui ainda com uma certa margem, além disso ainda possui uma grande quantidade que é vendida ao Brasil, que poderá, a partir da atualização do Anexo C do Tratado de Itaipu, ser utilizada caso o consumo continue crescendo. Porém como para a construção de geradores de energia em grande porte são necessários muitos anos desde o início do projeto até a finalização da implantação, é importante o país ter projetos contínuos em desenvolvimento nesta área.

2.6.5.2 Panorama de Infraestrutura

Agora depois de garantir a geração para suprir a demanda dos consumidores é necessário levar a energia elétrica até os centros de consumo, que no caso do Paraguai está, na região metropolitana de Assunção, já a geração está localizada ao longo do rio Paraná, na região leste e sul do país, é necessária uma grande infraestrutura para levar a energia de um lado a outro do país.

É possível identificar segundo os pontos levantados por TOLEDANO; MAENNLING, 2013, que no período analisado a infraestrutura o Paraguai tinha os seguintes principais problemas, listados abaixo:

a. Falta de linhas de transmissão de alta tensão. Possuindo a menor relação de linha de transmissão [km/GWh] dentre os outros participantes do Mercosul, assim ficando muito vulnerável a falhas na transmissão.
b. Perdas de transmissão. Um valor muito alto de perdas tanto de transmissão como na distribuição, ultrapassando no total o patamar de 30%, gerando 266 milhões de dólares de prejuízos para a ANDE sendo no ano de 2012, o segundo maior em perdas da América Latina e Caribe.
c. Interrupções de abastecimento. Considerando as interrupções de abastecimento e flutuações de tensão no sistema, os valores do Paraguai

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

são altos, com o FEP e o DEP apresentados na Tabela 3, estando acima do esperado para um sistema confiável. Isto se deve aos sistemas de transmissão trabalhando em seus limites térmicos para transportar estas grandes quantidades de energia, estando muito acima dos seus valores nominais, o mesmo acontece com os transformadores de distribuição que apresentam uma situação crítica.

É possível, com os dados dos resumos estatísticos disponibilizados pela ANDE, realizar uma ponte comparativa das análises de TOLEDANO; MAENNLING, 2013, e o momento atual do Paraguai.

Tabela 3 – Comparações entre os indicadores do SEP paraguaio entre 2012 e 2022

Variável	2012	2022	Diferença
Demanda máxima [MW]	2254	4270	+98.97%
Perdas na transmissão [%]	6,5	5,14	-20,92%
Perdas na distribuição [%]	25,2	21,29	-15,52%
Perdas Totais [%]	31,7	26,44	-16,59%
Capacidade de transmissão geral [MVA]	10171	15873	+56,06%
Capacidade de transmissão do tronco principal [MVA]	2845	5350	+88,05%
Capacidade de distribuição [MVA]	2598	8149	+213,66%
Frequência equivalente de interrupção por potência (FEP) [nº/KVA.ano]	19,8	19,91	+3,48%
Duração equivalente de interrupção por potência (DEP) [nº/KVA.ano]	16,5	32,42	+96,48%
Consumo de energia [MWh]	11283484	18611884	+64,95%
Fator de uso do Tronco principal	79,23	79,81	+0,73%
Fator de uso dos transformadores de distribuição	86,76	52,40	-39,6%

Fonte. ANDE, 2023; ANDE, 2014

Levando em conta os três pontos listados anteriormente neste subcapítulo, e os avanços nos últimos 10 anos, podem ser identificadas as seguintes atualizações:

a. Ocorreram avanços em questão das linhas de transmissão de alta tensão alcançando um total de 727Km (ANDE, 2023), suprindo a necessidade

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

estrutural dos grandes centros consumidores, ficando menos vulnerável a falhas na transmissão.

b. Os valores de perdas tanto de transmissão como distribuição ainda continuam sendo altos, ultrapassando no total o patamar de 25%, ainda gerando grandes prejuízos para a ANDE sendo com estes valores, comparados com os percentuais de 2005 apresentados por TOLEDANO; MAENNLING, 2013, sendo ainda o terceiro maior em perdas da América Latina e Caribe.
c. Os valores de interrupções de abastecimento e flutuações de tensão no sistema do Paraguai pioraram neste período, com o FEP e o DEP aumentando 3,48% e 96,48% respectivamente, estando em um caminho contrário de outros países, a exemplo do Brasil, que este mesmo período diminuiu o FEP em 52,8% (de 11,1 para 5,24) e o DEP em 43,3% (de 18,4 para 10,43), levando em conta os dados apresentados por BECK; FARIELLO, 2013 e ANEEL, 2023.

Além destes três pontos é possível com a Tabela 3 inferir alguns outros pontos em relação a infraestrutura do SEP paraguaio, tais como.

a. A capacidade de transformação foi significativamente aumentada, porém ainda se encontra com riscos de voltar a sofrer com sobrecargas em médio prazo, devido ao grande aumento de consumo de energia do país, se for mantido o nível de crescimento os problemas na distribuição voltar a ocorrer em menos de 10 anos, então a melhoria neste sistema deve estar alocada no plano decenal do país.
b. As construções e atualizações do sistema de transmissão, sobretudo do tronco central, somente acompanharam o aumento da demanda máxima, portanto o fator de uso do sistema de transmissão está estável próximo dos 80%, ainda está acima do ideal para manter a continuidade do sistema, e isto é refletido nos fatores de interrupção, o FEP e o DEP.

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

2.6.5.3 Panorama de Comercialização

Levando em conta a tarifa média da energia elétrica do Paraguai, pode-se observar que este valor, segundo TOLEDANO; MAENNLING, 2013, está desatualizado desde 2011, quando o valor era de 318,2 ₲/kWh, e já se observavam problemas no incentivo a inovações e modernizações no sistema.

Porém, se observado o documento atual da ANDE, 2023, apresenta que no ano de 2022 esta tarifa era 372,2 ₲/kWh. Levando em conta a inflação acumulada no período de 2011 até 2022 de 53.37% (DADOSMUNDIAIS, 2024), o valor de tarifa deveria ser 488,1 ₲/kWh, equivalendo a uma defasagem de 36,4% em relação a inflação da tarifa atual, portanto os problemas de falta de orçamento somente se agravaram neste período.

Além da defasagem, é possível levar em conta os clientes beneficiados, que ainda segundo a ANDE, 2023, são 253.341 no ano de 2022, com um valor aproximado de 54,2 Bilhões de Guaranis que a ANDE subsidia nas contas de luz, o equivalente a uma queda de 6,42% no lucro líquido da ANDE no ano referido.

A defasagem na tarifa, gerando falta de investimentos, não é o único problema ligado a comercialização de energia elétrica no Paraguai. Também são visíveis os impactos das mudanças ligados à revisão do Tratado de Itaipu, que segundo CNNBRASIL, 2024, foram definidas no início de maio de 2024 e possibilitam o Paraguai a vender energia elétrica no mercado livre brasileiro, com valores próprios para cada contrato, diferentes dos praticados antes da revisão. Porém, existe uma questão que ainda não é discutida, a produção e exportação de hidrogênio verde a partir deste excedente.

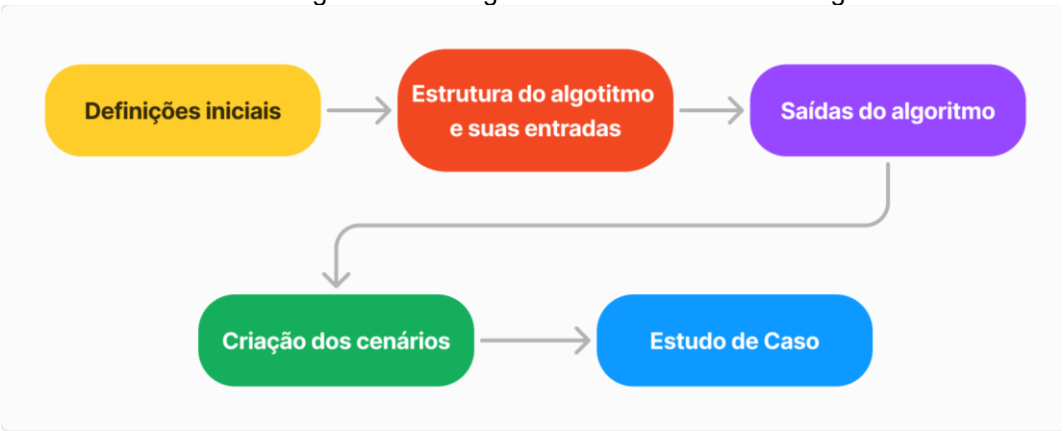
Levando em conta o apresentado por POSSO *et al.*, 2022, é possível citar que o Paraguai possui, considerando tão somente a área da comercialização, a possibilidade de produzir um total de 22,5Mton/ano de hidrogênio verde, considerando a geração hidroelétrica excedente já existente, e as capacidades de geração eólica e solar no país. Possibilitando, além da exportação, uma substituição de outros combustíveis usados no país, como o diesel e a lenha, sobretudo nas regiões mais remotas.

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

3 METODOLOGIA

A base do método desenvolvido neste trabalho está composta pela seguinte estrutura apresentada por 5 grandes etapas, apresentadas na Figura 4, e brevemente descritas em ordem lógica após o fluxograma estrutural.

Figura 4 – Fluxograma estrutural da metodologia



Fonte: Autoria própria

Definições Iniciais. Na primeira etapa, são definidas a área geográfica e a forma de coleta de dados, que alimentam o banco de dados criado para organizar as informações, seguido pela escolha do método estatístico para análise.

Estrutura do algoritmo e suas entradas. Aqui são escolhidas as entradas necessárias para obter uma previsão conforme os parâmetros solicitados pela técnica de simulação utilizada, assim como a construção e aplicação do algoritmo de simulação elaborado.

Saídas do algoritmo. Nesta etapa são definidas as principais saídas do procedimento se simulação realizado, sendo estas, formadas por tabelas de dados e gráficos.

Criação dos cenários. Neste estágio são elaborados os cenários por meio dos dados extraídos do algoritmo.

Estudo de caso. Na etapa final, os estudos históricos do país são alinhados aos dados oficiais das instituições responsáveis, compondo um panorama atual do setor energético. Com base nesse panorama, os cenários gerados pelo algoritmo desenvolvido são analisados comparativamente, permitindo uma avaliação detalhada das perspectivas energéticas.

Para facilitar a visualização de se dará o passo a passo desta metodologia de maneira mais detalhada, um fluxograma completo é apresentado na Figura 5.

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

Figura 5 - Fluxograma geral da metodologia

Fonte: Autoria própria

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

3.1 DEFINIÇÃO DA VARIÁVEL A SER ESTUDADA

No presente trabalho, utiliza-se o consumo de energia elétrica, como variável de análise principal, para a aplicação dos métodos desenvolvidos, podendo ser utilizadas outras variáveis sociais, ambientais ou econômicas do país estudado, sem se limitar a utilização do consumo de energia elétrica como variável principal a ser usada pelos métodos.

A única restrição para que a variável seja usada como principal para simulação, é que existam dados de longo prazo. Sendo que, segundo PRASAD; BANSAL; RATURI, 2014 são considerados dados de longo prazo, dados de pelo menos 15 anos.

3.2 ÁREA GEOGRAFICA ANALISADA

Este trabalho estuda a República do Paraguai. A motivação para a decisão da área geográfica a ser estudada foram realizadas por meio de duas principais frentes:

1. A localização do desenvolvimento este trabalho. Sendo este localizado na cidade de Foz do Iguaçu, no estado do Paraná, onde existe a tríplice fronteira entre o Brasil, Paraguai e Argentina.
2. A Possibilidade de protagonismo paraguaio na Integração energética regional. Partindo da situação que os estados-parte do Mercosul possuem características de matrizes energéticas complementares, portanto existe a possibilidade de uma maior integração e promover possibilidades de desenvolvimentos socioeconômicos dos países FERRAZ; VIEGAS, 2021.

3.2.1 Coleta de informação

A coleta de Informações de consumo de energia elétrica, foram realizadas por meio do Sistema de Informação Energética da América Latina e do Caribe (SIELAC) disponibilizado por meio da Organização Latino-Americana de Energias (OLADE), onde estão dispostos os dados das séries históricas dos anos de 1970 até 2022 de cada um dos países, que podem ser acessados por meio do site oficial da organização (OLADE, 2023).

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

3.2.2 Criação do banco de dados

O banco de dados, depois de extraídos da SIELAC foram dispostos em um documento do Excel, utilizou-se uma aba dedicada ao país, com o foco em otimizar posteriores adições de novas variáveis e novos países de cálculo no método e para facilitar a aplicação e desenvolvimento do código de programação dos métodos, que serão apresentadas e detalhados posteriormente no trabalho.

3.3 TÉCNICA DE REGRESSÃO LINEAR PONDERADA (RLP)

Existem diversas formas de aplicar regressões de dados, tanto os métodos lineares, como os não lineares, porém para este trabalho foi utilizado a regressão linear ponderada por intervalos estatísticos, o método inspirado no apresentado por STEPHEN ; STEVENSON, 2001, que sera desenvolvido com mais detalhes posteriormente.

3.3.1 Motivação para utilização de RLP

A principal motivação para a utilização de uma regressão linear ponderada está ligada a diferença da relevância dos dados mais recentes, em relação aos dados mais antigos, pois segundo HOESLY; SMITH, 2018, dados mais antigos são revisados mais esporadicamente, e dados mais recentes estão mais propensos a revisões e publicações menores para posteriores correções. Também é citado que, quanto mais recentes são os dados mais fácil de encontrar o método que foi utilizado para sua coleta, o que torna os dados mais recentes mais confiáveis.

Ainda segundo HOESLY; SMITH, 2018 o consumo de energia não evolui em um só padrão, e sim, cada momento histórico segue um padrão tendência diferente. Portanto como serão analisados cenários futuros de energia, quanto mais próximos os dados estão do momento de análise, maior o peso.

3.3.1.1 Comparação da RLP com RL simples

Segundo BOSTON UNIVERSITY SCHOOL OF PUBLIC HEALTH, 2016 os principais problemas das aplicações de uma regressão linear simples são divididos em três partes principais, são eles: valores discrepantes (*Outliers*); pontos de

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

alavancagem (*Leverage points*); observações influentes (*Influential observations*), além destes problemas são citados também as restrições para a aplicação do RL simples, são estas: linearidade, independência, normalidade e homocedasticidade.

O principal impacto da utilização da ponderação no conjunto de dados em relação com a aplicação da regressão linear, primeiramente deixa mais claro as tendencias de cada período analisado e consegue exprimir melhor um cenário prospectivo mais plausível nas simulações evitando ocorrências dos três problemas supracitados.

Em conjunto a isso, possibilita uma posterior análise de momentos e situações relevantes em cada país e o impacto no consumo de energia elétrica nacional, detalhes que ficariam mascarados se fossem analisadas somente a regressão linear do intervalo completo de dados.

E por fim, levou-se em conta as restrições listadas para a aplicação do método de regressão linear de maneira geral apresentada por BOSTON UNIVERSITY SCHOOL OF PUBLIC HEALTH, 2016, a utilização de intervalos menores previne suposições muito absurdas sobre linearidade ou independência dos fatos, tornando as regressões mais próximas a realidade.

3.3.2 Definição dos intervalos estatísticos

Como já apresentado, o banco de dados é formado por dados dos anos de 1970 até 2022, porém para especificamente a variável de consumo de energia elétrica, que será utilizado para o estudo estão disponíveis apenas os dados a partir do ano de 1990.

Já os dados de 2020 a 2022 serão desconsiderados para os cálculos das regressões por conta da pandemia global de Covid-19, que segundo LI *et al.*, 2022 teve um impacto global tanto no consumo se energia como também na estrutura de consumo, o que atrapalharia na criação dos cenários

Portando o intervalo total utilizado nesta pesquisa, compreende os dados de 1990 até 2019. Já os intervalos estatísticos para os cálculos são definidos de maneira arbitraria em períodos de 10 anos, considerou-se os momentos políticos e econômicos dos países estudados, assim temos os seguintes intervalos estudados.

- Primeiro intervalo: 1990 até 1999
- Segundo intervalo: 2000 até 2009

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

- Terceiro intervalo: 2010 até 2019

3.3.3 Cálculo da regressão linear ponderada

Assim com os intervalos estatísticos definidos temos que determinar os pesos de cada um dos intervalos, e estes foram calculados a partir do método de meia-vida apresentado por STEPHEN ; STEVENSON, 2001, assim como foram definidos 3 intervalos temos os seguintes pesos iniciais 50%, 25% e 12,5%, aplicados do intervalo mais novo até o mais antigo, ou seja 3º, 2º e 1º, respectivamente.

Porém como pode ser observado a soma de todos os pesos não é igual a um, portanto é necessário fazer uma correção, realizada utilizou-se uma regra de 3 simples.

Equação 10 - Correção dos pesos da RLP

$$\frac{peso\ inicial\ do\ intervalo}{peso\ ajustado\ do\ intervalo} = \frac{peso\ somado\ de\ todos\ os\ intervalos}{1}$$

Realizou-se o ajuste desta maneira e obteve-se os seguintes pesos ajustados para os intervalos, apresentados na Tabela 4

Tabela 4 - Pesos dos intervalos estatísticos

Intervalos	Peso inicial	Pesos ajustados
1990 – 1999	12,5%	14,2857%
2000 – 2009	25%	28,5714%
2010 – 2019	50%	57,1429%

Fonte: Autoria Própria

Assim com as definições da regressão linear ponderada será apresentado em detalhes, na subseção seguinte, a técnica principal usada para realizar as simulações de Monte Carlo, e a sub técnica de desvio padrão reduzido.

3.4 TÉCNICA DE MONTE CARLO (MC)

Como já descrito anteriormente, existem diversas aplicações e as mais variadas formas de se aplicar as técnicas de Monte Carlo, porém para este trabalho foi utilizado Monte Carlo com desvio padrão reduzido, utilizou-se como base o apresentado por (BOOTH, 1994, p. 40), que o valor de restrição, pode ser

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

determinado de maneira arbitrária por quem está aplicando o método, levando em conta referencias plausíveis, pois quanto mais complexo o código de MC fica, mais complicado é de determinar este valor de restrição.

3.4.1 Linguagem de programação usada

Utilizou-se a linguagem programação Pyton no desenvolvimento do código dos métodos elaborados, levou-se em conta a proficiência do autor com este tipo de linguagem, porém a aplicação deste método pode ser aplicada em outras linguagens como MATLAB, C++ entre outras.

3.4.2 Motivação da escolha de MC por Desvio Padrão Reduzido (DPR)

A motivação para a utilização do método de Monte Carlo por Desvio Padrão Reduzido (MC-DRP) é apresentada por BOOTH, 1994, em todo seu trabalho, porém em resumo é argumentado que este tipo de método, tem grande sucesso nas aplicações mais usuais de MC, pois evita variações muito discrepantes e irreais, em um pequeno intervalo, sendo esta, uma característica problemática do método MC puro.

3.4.3 Variáveis de entrada para técnica de MC

Esta subsecção tem o objetivo de apresentar as variáveis de entrada necessárias para que o método MC-DPR seja aplicado de maneira correta, bem como as fontes principais para a coleta destas informações e as motivações para tais definições.

3.4.3.1 Valor de restrição (V.R) para o DPR

O valor de restrição do desvio padrão foi limitado pelo dobro pelos valores previstos de crescimento médio de cargas, por cada um dos países, apresentadas na Tabela 5.

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

Tabela 5 - Valores de restrição para DPR

Pais	Crescimento médio	Valor de restrição (V.R.)	Fonte
Argentina	1,5%	3%	SECRETARÍA DE ENERGÍA, 2023, p. 36
Brasil	3,4%	6,8%	EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2021
Paraguai	6,6%	13,2%	ANDE, 2019, p. 13
Uruguai	3,3%	6,6%	ALVAREZ *et al.*, 2023, p. 14

Fonte: Autoria Própria

Este valor de restrição é o dobro do crescimento médio de consumo energético do país ocorre, pois é formado pelo intervalo do crescimento médio e do seu equivalente negativo, pois em métodos de Monte Carlo devem ser formados possibilidades de os valores crescerem ou diminuírem, neste caso de consumo.

É possível identificar que o Paraguai possuí o maior valor de restrição o que representa que ele tem o maior aumento percentual do consumo nos últimos anos, dentre todos os países do Mercosul.

3.4.3.2 Escolha do ano a ser iniciada a simulação(A.In.)

A definição do ano a escolha do ano a ser iniciada a simulação foi definido como 2015, ou seja, 5 anos antes do último dado utilizado para criação do intervalo, esta escolha se deve a uma das maneiras de verificar se a simulação está seguindo os dados reais observados, sendo essa uma das formas de demonstrar a aplicabilidade do modelo, proposto neste trabalho.

3.4.3.3 Anos Simulados (A.S.)

O total de anos simulados com o método é de 35 anos, tendo em vista os horizontes mais comuns dos planejamentos energéticos nacionais até o ano de 2050. Porém este não é um limitante para o método, este é simplesmente uma escolha tendo em vista os objetivos principais do trabalho.

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

3.4.3.4 Números de simulações (N.S.)

Para a definição do número de simulações realizadas para o teste usou-se três abordagens distintas:

1) Teste de Shapiro-Wilk (SHAPIRO; WILK, 1965), utilizadas nos testes com menos de 5000 simulações.
2) Já para um número de simulações igual ou acima deste valor de N.S. foi utilizado o teste de Anderson-Darling (ANDERSON; DARLING, 1952),
3) e para questões de segurança, em todos os testes foram aplicados o método gráfico *quantile-quantile plot*(Q-Q plot) (WILK; GNANADESIKAN, 1968).

Sendo assim foi testado as abordagens dos métodos listados, para encontrar o valor ideal de simulações. Estudou-se comportamento de aproximação do histograma dos dados simulados em 2050 no consumo de energia elétrica no Paraguai com uma curva de distribuição normal, por fim considerou-se o valor de significância de 5% para todos os testes.

3.4.3.4.1 Definição para o valor de N.S.

Segundo os testes escolhidos para fazer a análise da aproximação normal dos dados simulados conforme a determinação da subsecção 3.4.3.4. temos que os testes apresentados no Apêndice 1 – Testes de N.s., destes são os apresentados resultados válidos para aproximação normal com valores de N.S. acima de 5.000, porém é possível observar uma grande diferença entre o teste de N.S. 5.000 e de N.S. 10.000, com valores de AD estatístico de 0,419 e 0,233 respectivamente, o que mostra uma aproximação muito maior no caso de 10 mil simulações.

Porém a mesma mudança não é observada para o próximo teste com 25 mil simulações, tendo seu valor de AD estatístico igual a 0,209. Assim visto que o teste com 25 mil simulações não apresenta avanços significativos na aproximação, a demanda uma capacidade computacional 2,5 vezes maior, o valor escolhido de N.S. para este trabalho foi de 10.000.

3.4.3.4.2 Observações quanto ao valor de N.S.

Pode-se destacar que para os testes iniciais é possível usar valores menores de números de simulação, mesmo que tenham uma menor aproximação com a

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

distribuição normal, aumentando as chances de existir um *outliner*, pois isto acelera os testes, e visto que nos testes iniciais o objetivo é verificar o funcionamento do código e não obter a maior precisão na simulação, o valor de testes iniciais, no momento da construção da metodologia, utilizado pelo autor foi de 100 simulações.

3.4.3.5 Limitação de variação anual

Após a definição de todas as variáveis de entrada o código limita a entrada da função do cálculo de MC, considerando os valores de V.R para cada um dos países estudados, que estão dispostos na Tabela 5, como o limite da variação anual dos valores aleatórios aplicados nas simulações de MC.

3.4.4 Simulações em Monte Carlo (MC-DPR)

Após todas as definições de entrada do método a aplicação de Monte Carlo diretamente usando a biblioteca NumPy com a função random.normal.

3.4.5 Extração dos valores anuais simulados (máximos, médias e mínimos)

Para as posteriores análises e a aplicação do método MC-DPR-RLP, os dados de máximos, mínimos e médias da lista de simulações em cada ano, utilizando a biblioteca NumPy e as funções max, min, mean respectivamente, e posteriormente usando o truncamento dos dados, para remover os 5% dos maiores e os 5% menores valores simulados.

3.4.6 Gráficos para visualização do método MC-DPR

Para facilitar a visualização dos resultados simulados e das linhas de regressão na aplicação do método MC-DPR, o método exporta um gráfico contendo as seguintes informações listadas abaixo.

1. Dados históricos advindos do banco de dados;
2. Média simulada;
3. Linha de regressão linear de cada intervalo;
4. Todas as linhas das simulações de MC realizadas;

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

5. Histograma das simulações no ano de 2050.

3.5 MÉTODO MC-DPR-RLP

O método que será apresentado neste subcapítulo utiliza como base o método MC-DPR apresentado anteriormente, porém considera um passo a mais, o ajuste das listas de valores extraídos da simulação, apresentados na subsecção 3.4.5, utilizando a equação calculada de regressão linear apresentada na subsecção 3.3.3, como base para tal correção.

3.5.1 Cálculo dos valores anuais ajustados

Esta adição no método busca tornar as simulações mais plausíveis, alinhando o valor de média simulada com a inclinação da linha da RLP, e posteriormente corrigindo os valores de máximos e mínimos conforme esta nova tendência.

Primeiramente é calculado o valor da média ajustada, usando como base o valor do ano anterior e a inclinação da reta da RLP, ajustando a média calculada para a tendencia da RLP.

Assim na sequência é calculado o valor da diferencia média, seguindo a equação abaixo.

Equação 11 - Diferença média de MC-DPR-RLP

$$Diferença\ média = média\ ajustada - média$$

E por fim então são calculados os valores das máximos e mínimos ajustados seguindo as seguintes equações.

Equação 12 – Máximo ajustado MC-DPR-RLP

$$Máximo\ Ajustado = Máximo\ Simulado + Diferença\ média$$

Equação 13 – Mínimo ajustado MC-DPR-RLP

$$Mínimo\ Ajustado = Mínimo\ Simulado + Diferença\ média$$

3.5.2 Gráfico para visualização do método MC-DPR-RLP

Da mesma maneira que o método anteriormente apresentado como um dos resultados da simulação, para facilitar a visualização da evolução dos valores, e dos posteriores cenários desenvolvidos, devido a mudança construtiva do método MC-

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

DPR-RLP em relação ao MC-DPR, o grafico contém as seguintes informações listadas abaixo.

1. Dados históricos advindos do banco de dados;
2. Média ajustada;
3. Máximo ajustado;
4. Mínimo ajustado.

3.6 CRIAÇÃO DOS CENÁRIOS DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NACIONAL

Cada um dos métodos apresentados tem como resultado 3 cenários cada um, com seus respectivos valores de máximos, mínimos e médios. Portanto temos um total de 6 cenários para cada país, sendo que estes cenários serão nomeados da seguinte maneira.

- Cenários Simulados por Monte Carlo (MC-DPR)
  - C1-MeS (Cenário 1 – Média simulada)
  - C2-MaS (Cenário 2 – Máximo simulado)
  - C3-MiS (Cenário 3 – Mínimo simulado)
- Cenários Simulados por MC-DPR-RLP
  - C4-MeA (Cenário 4 – Média Ajustada)
  - C5-MaA (Cenário 5 – Máximo Ajustado)
  - C6-MiA (Cenário 6 – Mínimo Ajustado)

3.7 CÁLCULO DE CONFIABILIDADE DOS MÉTODOS APLICADOS

Para suportar a confiabilidade dos métodos desenvolvidos foram aplicados o método do adiantamento, além da segurança que os métodos da família de Monte Carlo possuem, e estes 2 pontos serão descritos nesta subseção.

3.7.1 Método de adiantamento do A.In. da simulação

Segundo SARGENT, 1998, é possível verificar a confiabilidade do método pode ser verificada por meio de validação pelos dados históricos. Assim, como o banco de dados possui valores até o ano de 2019, foi escolhido o ano de 2015 para o início da

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

simulação, assim no ano de 2019 é possível verificar se o valor histórico real está contido no intervalo de dados simulados.

3.7.2 Outros métodos de confiabilidade existentes para MC

Segundo SPEAGLE, 2019 atualmente a aplicação de Monte Carlo, em conjunto com redes de Markov promove um valor extremamente confiável de predição de cenários.

3.8 AVALIAÇÃO TÉCNICA DA APLICABILIDADE DAS METODOLOGIAS DESENVOLVIDAS

As metodologias apresentadas neste trabalho podem ser divididas em 2 tipos principais de casos a serem estudados, casos de tendência e casos especiais.

3.8.1 Casos de tendência

Os casos de tendência compreendem os cenários relacionados com as médias, são eles C1-MeS e C4-MeA, estes casos são os mais prováveis, segundo a análise de distribuição normal, e são cenários mais conservadores dentre os propostos pelos métodos.

Geralmente estes casos terão mais atenção de usuários que tem um conhecimento um pouco mais detalhado de métodos estocásticos de previsão.

3.8.2 Casos extremos

Os casos Extremos compreendem os cenários relacionados com os máximos e mínimos, são eles C2-MaS, C3-MiS, C5-MaA e C6-MiA, estes casos são os menos prováveis, segundo a análise de distribuição normal, e são cenários mais extrapolados dentre os propostos pelos métodos.

Geralmente estes casos terão mais atenção de usuários que tem um conhecimento rasos sobre métodos estocásticos de previsão, levando a atenção para seus valores exorbitantes de crescimento ou quedas, que podem significar altos lucros ou gigantescos prejuízos financeiros.

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

3.8.2.1 Importância da análise dos casos extremos

Com isso é possível levantar um questionamento da necessidade da criação destes cenários extremos, levando em conta que estes são extremamente improváveis estatisticamente falando.

Deve ser destacado tambem a queda inesperada no consumo elétrico devido a pandemia global de Covid-19 apresentado por LI *et al.*, 2022, portanto, por mais que estes cenários sejam muito improváveis valem ser considerados como possíveis, sendo mantidos como base para planos de emergência em caso de crises.

3.9 MODELO DE ESTUDO

Para completar a estrutura da metodologia proposta neste trabalho, para um maior aprofundamento e fundamentação na análise das informações do algoritmo apresentado é realizado um estudo de caso do país estudado, neste caso, o Paraguai.

3.9.1 Estrutura do estudo de caso

Este estudo de caso é dividido em quatro etapas, primeiro é construído um embasamento do histórico energético do país, para a construção do panorama atual da nação, assim logo na sequência é analisado os principais pontos descritos nos planos decenais, para só neste ponto ser apresentado os resultados dos cenários criados pelo método proposto e o posterior detalhamento dos cenários.

3.9.1.1 Panorama atual

O desenvolvimento do panorama atual do país estudado é dado seguindo 4 etapas principais, listadas na abaixo

1. Histórico energético. Onde é apresentado o histórico da construção energética na nação, passando pelos principais momentos e acontecimentos para o momento atual.
2. Estrutura institucional do SEP. Apresenta brevemente as principais estruturas de cada parte do SEP, assim como sua formação institucional.
3. Procedimentos do SEP. Aqui são apresentados rapidamente as legislações e o passo a passo burocrático de cada etapa do SEP.

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

4. Panorama atual. E assim por sim, aqui são apresentados o panorama atual com uma análise das principais falhas identificadas, e suas implicações no futuro energético se não resolvidas e incluídas nos próximos planejamentos.

Esta construção do panorama é detalhada na subsecção 2.6 e resumida na Tabela 6.

3.9.1.2 Planos decenais

Com o panorama atual estabelecido, é proposto uma realização mais profunda quanto aos planos diretores decenais existentes, listando os principais pontos, tais como, investimentos, obras, projetos, e os principais objetivos destes planos diretores.

Propõem em adição a isso, uma classificação da compatibilidade, dos planos decenais com o panorama atual explicitado, por meio de uma escala de compatibilidade em 5 níveis.

3.9.1.3 Apresentação de cenários resultantes

Assim aqui, com a apresentação dos resultados propriamente ditos dos métodos MC-DPR e MC-DPR-RLP, contando com os dados de entrada utilizados, e as saídas do algoritmo, é possível identificar os padrões, e as correlações dos cenários simulados.

3.9.1.4 Análise dos cenários e planejamentos a longo prazo

Esta análise dos canários simulados e suas correspondências são realizadas em dois horizontes temporais diferentes, 2030 e 2050, usando respectivamente como base para a análise o plano decenal, e o panorama atual.

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

4 ESTUDO DE CASO

Após a apresentação da metodologia desenvolvida na construção das variáveis de entrada para simulação, apresenta-se uma aplicação dos cenários apresentados demonstrando a aplicabilidade dos resultados e exibindo uma correlação dos resultados matemáticos com as situações reais vividas nas nações.

Para realizar uma análise mais profunda foi escolhido a República do Paraguai para se iniciar estas explorações detalhadas, sobretudo devido ao conhecimento e estudo anterior do autor sobre esta nação, que facilitaria o estudo mais detalhado quando o sistema elétrico de potência do país, suas principais características, panorama atual e planos decenais. Os quais serão apresentados brevemente neste capítulo, para na sequência ser realizado revisão da compatibilidade do planejamento atual com os problemas identificados, e as indicações de planejamento tanto de médio quando de longo prazo resultantes dos cenários indicados pelas metodologias.

4.1 RESUMO DO PANORAMA ATUAL

Considerando o que foi exposto do panorama atual, no capítulo 2.6.5 é possível montar uma tabela de resumo visando facilitando a visualização de como está disposto o Sistema paraguaio e seus principais problemas, para as três áreas delimitadas na análise.

Tabela 6 - Resumo do Panorama atual do Paraguai

Área	Panorama atual
Geração	- Impactos das mudanças climáticas; - Geração em fonte única.
Infraestrutura	- Estrutura desatualizada; - Sistemas trabalhando no limite; - Falta de Sistema de Segurança confiável.
Comercialização	- Tarifas desatualizadas; - Baixo valor arrecadado para investimentos; - Revisão dos tratados internacionais.

Fonte: Autoria Própria

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

Após a análise do panorama atual na nação, é necessário conhecer quais são as principais diretrizes assumidas pelas instituições responsáveis, e isso é feito com um estudo dos planos diretores com escala decenal, o que sera realizado na próxima subseção.

4.2 ANÁLISE DO PLANO DECENAL

Este subcapitulo irá discorrer sobre os planos decenais do Paraguai, suas compatibilidades com os problemas identificados no panorama atual, e com os principais resultados apresentados pelas metodologias desenvolvidas pelo autor.

Sendo mais específico serão discutidos 3 documentos principais, são eles *Plan Maestro de Distribución de Corto y Medio Plazo*(ANDE, 2021), *Plan Maestro de Generación* (ANDE, 2021), e o *Plan Maestro de Transmisión* (ANDE, 2021)

4.2.1 Resumo do plano decenal

O resumo dos documentos de planos decenais tem como objetivo desenvolver os principais pontos discutidos e levantados nos como por exemplo obras, investimentos, grandes projetos etc.

4.2.1.1 Plano diretor de Geração

Referente aos planos decenais de geração é possível dividir em 5 pontos principais que foram tratados são eles, Obras, Investimentos, Projetos, Margem de reserva, Desenvolvimento sustentável.

Assim na questão de obras é possível citar que a Ande planeja um total de 60 Obras em seu sistema de geração, sendo elas divididas em 5 tipos respectivamente, 19 em Pequenas Centrais Hidroelétrica (PCH),15 obras em Banco de Baterias (BATT), 13 obras em Central fotovoltaica (PV), 8 obras em Centrais Hibrida Fotovoltaíca-Diessel (PVH) e 5 obras em Grandes centrais hidroelétricas (CH).

Já para os investimentos principais tambem estão divididos nos mesmos 5 grupos e totalizando 3.573.057.988 USD, sendo que os custos de dividem da seguinte forma BATT (38,45%), PV (30,76%), CH (16,03%), PCH (14,13%), PVH (0,616%) com

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

estas informações é possível afirmar que o Paraguai está buscando fortalecer e modernizar seus sistemas de geração de energia elétrica.

É possível perceber que os projetos ligados a energia solar se concentram no norte do país enquanto os sistemas de energia hidroelétrica estão na região sul, mostrando uma grande divisão entre as áreas de geração no país.

Além destes pontos o Paraguai está desenvolvendo mais 2 grandes projetos de Usinas Hidroelétricas binacionais até 2040 sendo elas as usinas de Itati-Itacora (2033) e de Corpus Christi (2036), ambas com a argentina, sendo como uma continuação do Tratado de Yacyreta.

Em questão de objetivos os projetos de geração a nação esta embasada em dois principais objetivos, A criação e consolidação de uma margem reserva de geração, e a manutenção e avanço nos objetivos de desenvolvimento sustentável.

4.2.1.2 Plano diretor de Transmissão

Referente aos planos decenais de transmissão é possível dividir em 5 pontos principais que foram tratados, são eles, Obras, Investimentos, Proteção de cargas, Perdas de transmissão.

Levando em conta as obras de transmissão temos no total 216 obras, contendo 3 níveis de divisão destas obras, Sistema localizado, Nível de tensão e Tipo de obra, este último nível de divisão é formado por 2 tipos de obra, Subestação (SE) e Linha de Transmissão (LT), assim para facilitar a visualização de como estão dispostas as obras foi criada a Tabela 7.

Tabela 7 - Resumo das Obras de Transmissão no Paraguai 2021-2030

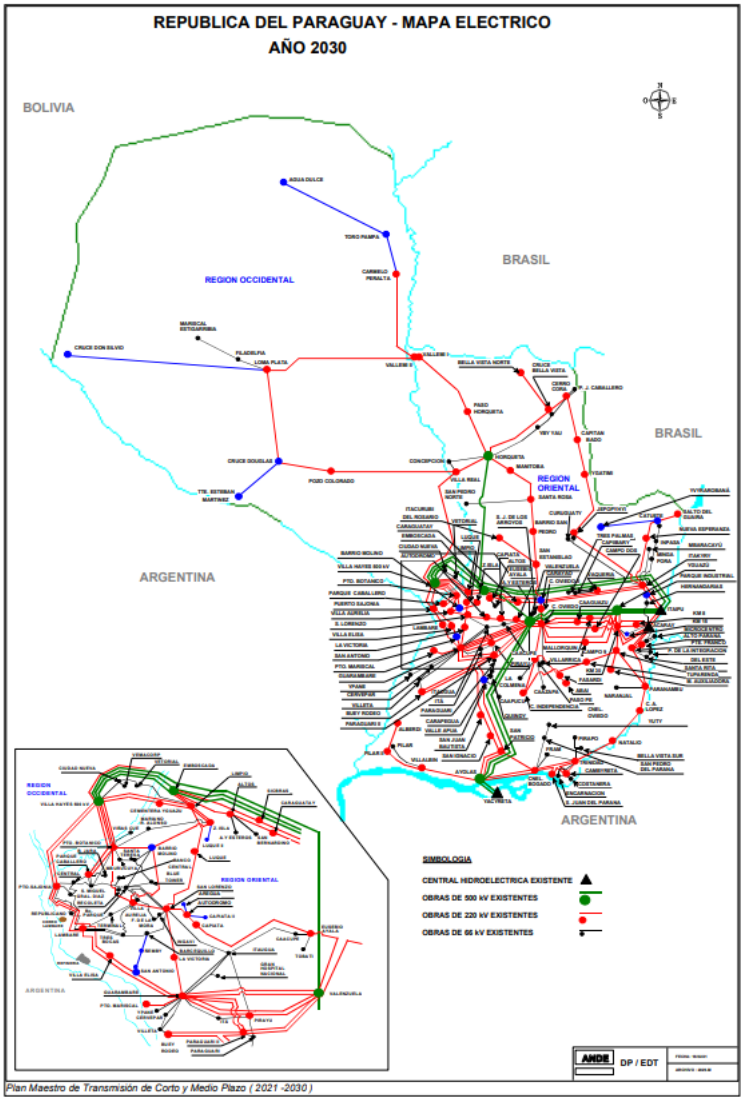
	500kV		220kV		66kV	
Sistema	SE	LT	SE	LT	SE	LT
Metropolitano	5	4	23	14	25	32
Sur	1	0	10	6	3	3
Este	1	1	14	5	5	7
Central	0	0	12	5	5	5
Norte	1	1	6	2	2	2
Oeste	0	0	9	5	1	1

Fonte: Autoria Própria

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

Com as informações dispostas nestas tabelas é possível identificar uma concentração de obras ligadas a níveis de tensão em 220kV (51,4%), e em relação à sistema a maior concentração ocorre no sistema metropolitano (49,7%). Assim, contando que todas as obras sejam concluídas até o ano de 2030 tem-se o seguinte mapa elétrico do Paraguai, apresentado na Figura 6.

Figura 6 - Mapa do sistema de transmissão paraguaio em 2030



Fonte: ANDE, 2021

Já para os investimentos principais também estão divididos nos mesmos 6 sistemas e totalizam 2.967.671.345USD, sendo que os custos de dividem da seguinte forma: Metropolitana (53,25%), Sur (8,89%), Este (12,42%), Central (6,55%), Norte (10,44%) e Oeste (8,44%) com estas informações é possível afirmar que o Paraguai está buscando fortalecer e modernizar seus sistemas de transmissão de energia elétrica.

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

Levando em conta que segundo as análises das barras, realizadas pela ANDE, o sistema de transmissão do Paraguai no ano de 2021 possuía uma média de utilização de 66,05%, e um total de 95 barras, e contando com todos as obras, e o aumento de carga previsto pela ande para o ano de 2030 irá ter uma média de utilização de 60,46%, e um total de 150 barras. Na Tabela 8 está detalhado as informações de taxa de utilização e número de barras por sistema.

Tabela 8 - Resumo dos Investimentos na Transmissão no Paraguai 2021-2030

	2021		2023	
Sistema	% de utilização	Número de barras	% de utilização	Número de barras
Metropolitano	69,97143	35	69,34286	57
Sur	68,64286	14	64,1	20
Este	63,2	20	60,86207	29
Central	69,33333	9	64	12
Norte	51,33333	3	28,8	10
Oeste	58,78571	14	59,54545	22

Fonte: Autoria Própria

Um último ponto relacionado a transmissão do Paraguai são as perdas de transmissão, assim a Ande planeja diminuir estes valores, sobretudo nos períodos de consumos de ponta, em 2021 estes valores estavam acima de 6,5%, então é projetado descer para patamares de 4% até 2030, alcançando valores para um sistema seguro.

4.2.1.3 Plano diretor de Distribuição

Considerando por fim os planos decenais de distribuição é possível dividir em 5 pontos principais que foram tratados, são eles: Obras, Investimentos, Recuperação de obras, SGIDE, Projeção de mercado.

No caso das obras de distribuição estão divididas em 9 tipos, são eles, construção de redes MT, construção de redes BT, Instalação de transformadores, instalação de conexões, colocação de medidores, instalação de iluminação pública, instalação de equipamentos de rede MT, troca de postes MT, troca de postes BT.

Considerando todo o intervalo analisado (2021-2030) tem-se um total de 13,983km de linhas de distribuição a melhorar, 125.046 unidades de postes a trocar e 142.187kVA transformadores de distribuição a serem instalados.

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

Os Investimentos serão em torno de 2.077.268.000USD, sendo cerca de 100.068.000USD para o projeto SGIDE e 47.743.000USD para o programa de recuperação de obras, com cerca de 60% deste investimento realizado no sistema elétrico metropolitano.

Referente a estes projetos citados acima ambos têm como objetivo melhorar o sistema de distribuição paraguaio, sendo o Programa de recuperação de obras de distribuição com um foco mais estrutural, buscando realizar uma adequação dos sistemas, culminando em longo prazo na troca completa do sistema de distribuição atual por um sistema de distribuição construídas pelo sistema de autoajuda. Já o projeto de melhoramento da gestão do sistema elétrico de distribuição (SDIGE), tem como objetivo realizar esta otimização por meio da implantação de sistemas de informação, buscando automatizar e integrar os sistemas de distribuição.

Considerando um último ponto se levando em conta a distribuição de energia, existe a projeção de mercado, realizado pelo *Mercado Eléctrico Nacional, Proyección 2019-2030,* apresentada na Tabela 9.

Tabela 9- Cenários de Demanda Máxima de Potência em 2030 (MW)

Alto	7.869
Médio	6.982
Baixo	6.239

Fonte: ANDE, 2021

Porém como não é objetivo demonstrar como a ANDE realiza estes cálculos nesta secção é relevante dizer em sua metodologia a ANDE cria 3 cenários distintos, com base no crescimento do PIB, e utiliza como base para as análises posteriores o caso médio.

4.2.1.4 Tabela de Resumo dos planos diretores

Considerando o que foi exposto nesta secção é possível montar uma tabela de resumo visando facilitando a visualização das atitudes da ANDE nestes próximos 20 anos, para as três áreas componentes do SEP.

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

Tabela 10 - Resumo dos planos diretores do Paraguai

	Geração	Transmissão	Distribuição
Obras	60 Obras de manutenção e modernização (19 PCH, 15 BATT, 13 PV, 8 PVH, 5 CH).	216 obras de construção e manutenção (123 SE e 93 LT).	Inúmeras obras com aproximadamente com 14mil Km de linhas, 125 Mil postes e 142kVA em transformadores.
Investimentos	Um investimento de 3.573.057.988 USD, com destaques para BATT com 38,45% e PV com 30,76%.	Um investimento de 2.967.671.345USD, com destaques paro sistema metropolitano com 53,25% e Este com 12,42%.	Um investimento de 2.077.268.000USD, com destaque para o sistema metropolitano com cerca de 60% dos investimentos.
Grandes Projetos	As usinas hidroelétricas Binacionais de Itati-Itacora (2033) e de Corpus Christi (2036).	Aumento de Capacidade de transmissão e do número de barras de 95 para 150 em 9 anos.	Programa de recuperação de obras de distribuição e SDIGE.
Objetivos	-Margem reserva de geração; - Desenvolvimento sustentável.	- Diminuição da taxa de utilização das barras (-5,5%); - Diminuição das perdas de transmissão.	- Modernização e automatização do sistema - Ampliação da capacidade de distribuição.

Fonte: Autoria Própria

Assim com as ações definidas é necessário identificar se existe compatibilidade entre os planos diretores, e os principais problemas listados no panorama atual.

4.2.1.5 Compatibilidade dos problemas com o plano decenal

Se comparados os problemas levantados na Tabela 6 - Resumo do Panorama atual do Paraguai, e as atitudes propostas pela ANDE simplificadas na Tabela 10 é razoável dizer que as ações atacam os principais problemas apresentados atualmente no sistema elétrico de potência do Paraguai porém, se for considerado uma visão mais ampla, os planos decenais são apenas cuidados paliativos, ligados ao crescimento nacional, e não demonstram avanço significantes no SEP.

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

Assim com os problemas e soluções apresentadas é possível fazer uma tabela de compatibilidade, para identificar a que ponto os problemas foram resolvidos e quais não foram resolvidos.

Tabela 11 – Critério de Compatibilidade

Nível de compatibilidade	Descrição
1=Não compatível	Não tem ações compatíveis no plano decenal
2=Insuficientemente compatível	Possui ações compatíveis, porém não o suficiente para suprir o crescimento vegetativo atual
3=Suficientemente compatível	Possui ações compatíveis, em patamar para suportar crescimento vegetativo, porém sem avanços maiores
4=Seguramente compatível	Possui ações compatíveis, adequados para obter certa segurança de curto prazo (5 anos) se adiantando ao crescimento, um mínimo esperado para um bom planejamento.
5=Perfeitamente compatível	Possui ações compatíveis, adequados para obter certa segurança de longo prazo (10 anos) se adiantando ao crescimento, possibilitando um planejamento mais sólido de melhorias mais significativas.

Fonte: Autoria Própria

Com os critérios definidos é possível aplicar esta definição nos problemas listados no panorama atual, assim é formada a Tabela 12, para a classificação das ações definidas nos planos diretores do Paraguai.

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

Tabela 12 – Compatibilidade dos Problemas atuais com o plano decenal

Panorama atual	Nível de compatibilidade
Impactos das mudanças climáticas	2=Insuficientemente compatível
Geração em fonte única	3=Suficientemente compatível
Estrutura desatualizada	4=Seguramente compatível
Sistemas trabalhando no limite	3=Suficientemente compatível
Falta de Sistema de Segurança confiável	2=Insuficientemente compatível
Tarifas desatualizadas	1=Não compatível
Baixo valor arrecadado para investimentos	2=Insuficientemente compatível
Revisão dos tratados internacionais	5=Perfeitamente compatível

Fonte: Autoria Própria

Se considerados os problemas levantados pelo autor neste trabalho e o critério apresentado acima é possível classificar os planos decenais do Paraguai como insuficientemente compatível pois a nota média do país está em 2,75, quase alcançando um patamar do crescimento vegetativo atual do país, e ainda longe de um planejamento ideal, mesmo considerando que todos os projetos serão concluídos a tempo, assim abrindo espaço para problemas graves que podem surgir com eventuais atrasos nas obras.

4.3 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DA METODOLOGIA

Com o panorama atual identificado e a análise dos planos decenais realizados, este subcapítulo tem como objetivo apresentar os principais resultados apresentados pelo algoritmo proposto neste trabalho, bem como, as entradas que foram utilizadas para alcançar os valores apresentados.

4.3.1 Entradas da simulação realizada

Para as entradas necessárias para o funcionamento atual, que foram definidas na proposição do método, para esta simulação de consumo de energia para o Paraguai, todas estas informações estão dispostas na Tabela 13.

Além disso observou-se que o Paraguai possuía um valor de 10616GWh no ano de 2015, de consumo de energia elétrica, que irá servir como base para simulação dos cenários.

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

Tabela 13 - Variáveis de entrada da simulação

Variável simulada	Consumo de energia elétrica
Ano de início da simulação (A.In.)	2015
Anos simulados (A.S.)	35
Ano de estudo da distribuição	2050
Número de simulações (N.S)	10000
Valor de restrição (V.R.)	13,2%

Fonte: Autoria própria

Por fim antes de serem apresentadas vale explicar quais são as saídas principais destes resultados preliminares, são eles.

1) Tabela das regressões lineares e suas correlações;
2) Tabela de cenários simulados para o ano de 2030;
3) Tabela de cenários simulados para o ano de 2050;
4) Gráfico do método MC-DPR;
5) Histograma das simulações de MC-DPR em 2050;
6) Gráfico do método MC-DPR-RLP.

4.3.2 Equações de regressão

Como primeiro resultado são apresentadas na Tabela 14 as retas de regressão linear dos dados de consumo de energia para cada um dos intervalos para o Paraguai.

Tabela 14 - Regressões lineares dos dados do Paraguai

Intervalo de regressão	Equação de regressão	Coeficiente de Correlação
1990-1999	$y = 199{,}8121 * x\ - 395393{,}5758$	0,9328
2000-2009	$y = 214{,}7030 * x\ - 425576{,}2242$	0,8930
2010-2019	$y = 687{,}7939 * x - 1375531{,}0909$	0,9947
1990-2019 (ponderado)	$y = 227{,}1842 * x\ - 453805{,}0328$	NONE
1990-2019 (completo)	$y = 74{,}9820 * x\ - 143565{,}8471$	0,9300

Fonte: Autoria própria

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

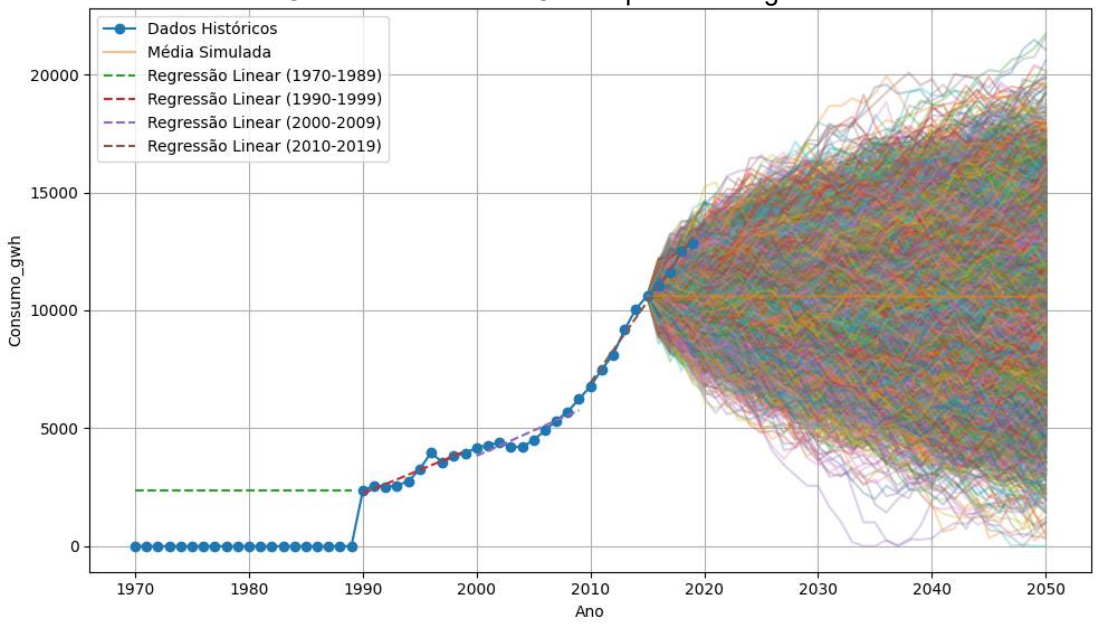
É possível observar que dos intervalos que utilizando a regressão linear ponderada o valor da derivada da função, ou seja, a tendência de crescimento do consumo, está muito mais próxima do valor do intervalo de 2010 até 2019, do que o valor na equação da regressão linear completa dos dados.

Outro ponto a ser destacado considerando os valores das derivadas as equações de regressão são crescentes a cada intervalo, o que indica que o consumo, não apenas está crescendo, como também está acelerando o seu crescimento.

4.3.3 Gráficos obtidos pelo método

Por fim o algoritmo tem como saída também os gráficos que representam os métodos propostos, o MC-DPR e o MC-DPR-RLP, além do histograma dos resultados das simulações no horizonte da simulação.

Gráfico 1 - Método MC-DPR para o Paraguai



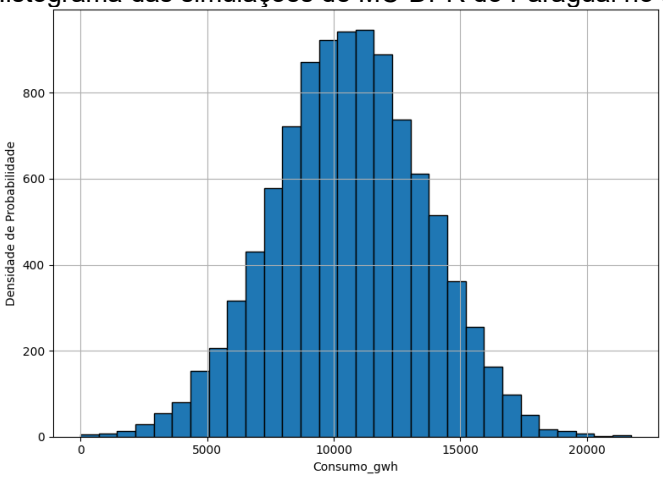
Fonte: Autoria própria

É possivel visualizar no Gráfico 1 três informações principais, primeiro temos a apresentação dos dados oficiais do país, representada pela linha azul com círculos a cada ano representando, sobreposta a esta informação tem-se as retas tracejadas, que descrevem o comportamento da regressão linear de cada intervalo, e por fim são representadas as 10 mil simulações resultantes do Método MC-DPR, sendo essa a representação visual do método.

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

Assim para a continuidade do método é necessário realizar um refinamento dos dados, e para isto, foi realizado o truncamento dos dados usando como base um valor de 5%, o que significa, que considerando cada ano da simulação, como representado pelo Gráfico 2, neste caso de 10 mil simulações foram descartados da análise os 500 menores e os 500 maiores valores.

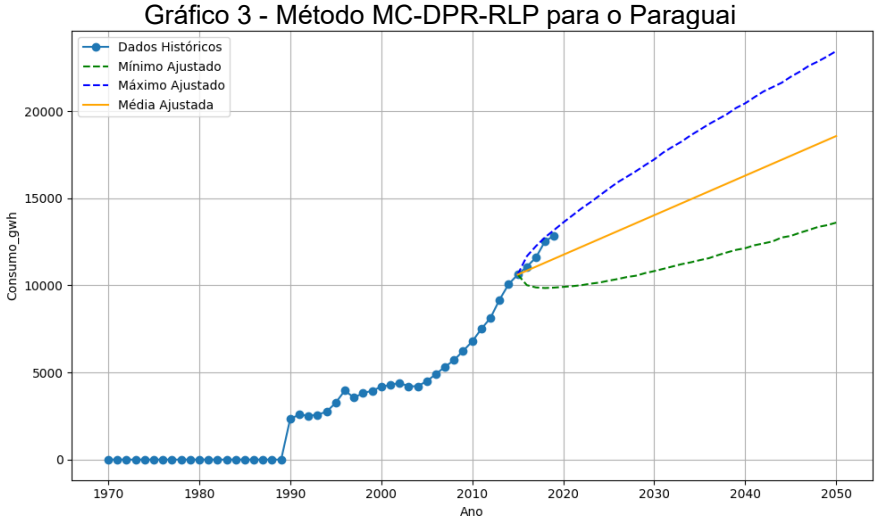
Gráfico 2 - Histograma das simulações de MC-DPR do Paraguai no ano de 2050



Fonte: Autoria própria

Assim por fim, como a última saída gráfica do algoritmo, considerando as retas de regressão linear dos intervalos e a sua equação ponderada(RLP), apresentada na Tabela 14, para ajustar a reta média obtida pela simulação com o MC-DPR, e realizando também o ajuste dos valores mínimos e máximos anuais, já refinados pelo truncamento, por esta nova média, seguindo os passos apresentados na secção 3.5.1, são apresentados no Gráfico 3 os resultados do método MC-DPR-RLP.

Gráfico 3 - Método MC-DPR-RLP para o Paraguai



Fonte: Autoria própria

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

Com todos os resultados gráficos apresentados é possivel extrair os dados simulados e realizar uma análise numérica, realizando a criação de possíveis cenários de consumo de energia do Paraguai.

4.4 ANÁLISE DE RESULTADOS DA METODOLOGIA

Esta secção busca apresentar as principais análises deste trabalho, considerando 2 horizontes de canários dos métodos apresentados, sendo o horizonte de 2030 sendo comparado com os planos decenais do Paraguai, e o horizonte de 2050 sendo analisado principalmente visando um planejamento de mais longo prazo, e um alinhamento dos planos diretores atuais, melhorando a compatibilidade dos planejamentos nacionais com os problemas energéticos atuais identificados na nação.

4.4.1 Análise comparativa entre o plano decenal e as metodologias apresentadas

Agora, segundo a metodologia apresentada na secção 3.6 são criados seis cenários, aplicando os valores de entradas definidos na Tabela 13 são obtidos os seguintes resultados, apresentadas na Tabela 15, se levado em conta como horizonte analisado o ano de 2030.

Tabela 15 - Resultados dos Cenários Simulados do Paraguai para 2030

Cenário	Valor Previsto de consumo de energia em 2030(GWh)	Valor em MW
C1-MeS	13796,83825	3937,454
C2-MaS	10595,49541	3023,829
C3-MiS	7388,441163	2108,573
C4-MeA	14023,76283	4002,215
C5-MaA	17225,10566	4915,841
C6-MiA	10816,70858	3086,96

Fonte: Autoria própria

O cálculo realizado para converter GWh é realizado segundo a equação abaixo

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

Equação 14 – Conversão de GWh para MW

$$potência[MW] = \frac{energia[GWh] * 1000}{0{,}4[fator\ de\ carga] * 8760[horas\ no\ ano]}$$

O valor do fator de carga foi calculado conforme os dados disponíveis na Tabela 3, seguindo a seguinte equação

Equação 15 – Cálculo do fator de carga

$$fator\ de\ carga = \frac{demanda\ máxima * (1 + perdas\ totais)}{capacidade\ de\ carga\ do\ sistema[KVA]}$$

Sendo que a capacidade de carga do sistema representa uma média entre a capacidade de transmissão e distribuição, assim resultando em um valor de aproximadamente 0,4 para o fator de carga.

Assim se colocados frente a frente, os resultados para 2030 apresentados na Tabela 9, e os apresentados na Tabela 15 é identificável que os resultados apresentados pela ANDE possuem valores de demanda máxima muito mais elevados do que os cenários calculados para as metodologias MC-DPR e MC-DPR-RLP, além disso o leque de resultados também muito maiores.

Isso ocorre principalmente devido ao crescimento médio anual escolhido pela ANDE para realizar seus cálculos, que está ligado principalmente a um grande desenvolvimento nacional, sobretudo na indústria, porém os resultados apresentados pelas metodologias desde trabalho possuem resultados mais próximos da realidade das tendências atuais do país, sem considerar grandes aumentos futuros ligados a variáveis externas.

4.4.2 Apresentação dos resultados para 2050 e indicações de planejamento

Em vista de tudo que foi apresentado neste trabalho ainda existe um horizonte de planejamento que ainda não foi muito trabalhado nos planos diretores, e que ainda estão dentro do escopo na metodologia apresentada pelo autor, sendo esta as projeções de consumo para o ano 2050, assim estes cenários estão dispostos na Tabela 16.

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

Tabela 16 - Resultados dos Cenários Simulados do Paraguai para 2050

Cenário	Valor Previsto de consumo de energia em 2050(GWh)	Valor em MW
C1-MeS	10595,3058	4415,329
C2-MaS	15471,3134	3023,774
C3-MiS	5626,3427	1605,691
C4-MeA	18567,4466	5298,929
C5-MaA	23443,4541	6690,483
C6-MiA	13598,4835	3880,846

Fonte: Autoria própria

Levando em conta a capacidade de geração de energia elétrica do Paraguai, considerado os novos empreendimentos descritos no plano diretor de geração, o país possui está em certa segurança nesta questão, se comparado ao cenário C5-MaA, que é o que possui o maior valor dentre os cenários dos métodos.

Porém ainda deve ser estacado a compatibilidade do planejamento atual do SEP paraguaio pela ANDE apresentada na Tabela 12, se comparada aos problemas de 2030 já está abaixo do suficiente para suprir o crescimento esperado da nação, e com isso se os próximos planejamentos não sejam mais bem construídos os problemas observados hoje pelos consumidores do Paraguai apenas se agravaram no futuro.

Para destacar pontos que necessitam de uma maior atenção nos próximos planos diretores:

- Impactos das mudanças climáticas na geração hidroelétrica. podendo ser mitigado com pesquisas mais profundas nos impactos meteorológicas na região.
- Falta de Sistema de Segurança confiável. Resolvido com o desenvolvimento de um sistema de monitoramento e controle interligado nacional, abrangendo as 3 etapas do SEP.
- Baixo valor arrecadado para investimentos. Para resolver os 2 pontos acima e otimizar a modernização do SEP os valores voltados para investimentos devem crescer em um ritmo maior do que o previsto para 2030.
- Tarifas desatualizadas. Uma das formas de resolver este problema de falta de recursos é realizar uma atualização nas tarifas de consumo de energia, buscando se aproximar do padrão internacional, e como a ANDE é uma empresa governamental

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

que não busca o lucro, ainda sim os valores da energia no Paraguai se manterão abaixo se comparado a outros mercados.

Diante do resumo dos cenários de demanda do Paraguai para 2030, observa-se uma diferença significativa, entre os valores projetados pela ANDE e as metodologias MC-DPR e MC-DPR-RLP, especialmente no que se refere à demanda máxima. Enquanto a ANDE adota um crescimento mais acelerado, impulsionado pelo otimismo em torno do desenvolvimento industrial, as metodologias apresentadas neste trabalho oferecem previsões mais alinhadas às tendências atuais e a um crescimento mais moderado.

Esses resultados reforçam a importância de um planejamento energético mais realista e cuidadoso, considerando as incertezas e evitando superestimações que possam comprometer decisões futuras. As projeções para 2050, embora ainda pouco exploradas neste trabalho, apontam para a necessidade de revisões contínuas e ajustes no planejamento energético, levando em conta as possíveis mudanças no cenário econômico e as variáveis externas que podem influenciar a demanda.

4.5 PRÓXIMOS PASSOS PARA A PESQUISA

Mesmo com todo o exposto neste trabalho o algoritmo apresentado, não está completo, além disso, possui várias limitações sendo algumas das principais listadas abaixo.

1. Referente aos dados, um grande problema é que os dados são coletados anualmente, diminuindo a quantidade de dados disponibilizados, o que torna a análise mais detalhista, considerando as variações mensais e a sazonalidade, menos confiável. Sendo indicado então o detalhamento dos dados em níveis mensais e posteriormente em intervalos menores.
2. Esta versão do método somente considera os valores de consumo de energia elétrica, deixando de lado outras variáveis relevantes para a análise e construção de um planejamento energético. Para futuros trabalhos é indicado a construção de um novo índice, considerando mais variáveis e seus respectivos pesos para construção dos planos diretores.

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

3. O critério de compatibilidade proposto ainda está em nível inicial, assim se mostra necessário um aprofundamento na construção e aplicação.
4. Para demostrar a validade da metodologia é indicado a aplicação deste algoritmo em outros países e conjunto de dados.

Todas estas limitações identificadas no método proposto, não invalidam os resultados e análises apresentadas, porém podem ser abordadas e aprofundadas em futuros trabalhos, para refinar o método e o tornar mais confiável e melhorar sua aplicabilidade.

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

5 CONCLUSÕES

A capacidade de realizar predições do consumo futuro de energia é uma das bases para a criação de cenários de planejamento energético tanto no âmbito nacional e internacional pois possibilita as instâncias governamentais responsáveis possam traçar os próximos passos do país nesta área. Porém as técnicas mais comuns de serem aplicadas hoje como a Lógica FUZZY possuem a característica de estar limitada pelas imposições e influência de especialistas, o que torna este método mais determinístico.

Já os métodos de MC-DPR e MC-DPR-RLP por estarem ligados a Monte Carlo possuem a característica de serem intrinsecamente aleatórios, tornando os cenários desenvolvidos mais genuínos, e mais diretamente ligados aos dados já existentes, deixando de lado a necessidade de um especialista para determinar os limites e outros dados de entrada da criação dos cenários.

Por mais que o método seja desenvolvido na linguagem de programação de Pyton, para a aplicação não é necessário ter uma extensa compreensão de tal linguagem e nem conhecimentos profundos de programação, e em conjunto com a necessidade apenas da inserção de dados históricos, torna muito mais descomplicada a criação dos cenários preditivos.

Para demonstrar a aplicabilidade da metodologia foi desenvolvido um estudo de caso do Paraguai, iniciando com uma definição do panorama energético atual da nação, seguindo com uma análise detalhada dos planos diretores, classificando os planos diretores existentes com um critério de compatibilidade com os problemas identificados no panorama e logo realizando comparações destes planos com os cenários criados pelos métodos apresentados neste trabalho.

Por fim, há de se destacar que os resultados apresentados apontam boas prospectivas para o uso dos métodos de maneira confiável, porém os métodos apresentados não são a prova de erros e para torná-los mais confiáveis, indica-se para pesquisas futuras, o aprofundamento e aperfeiçoamento das variáveis de entrada dos métodos e buscar maneiras de obter uma maior aproximação das simulações com indicativos econômicos como PIB, sociais como o crescimento populacional e ambientais como a emissão de CO_2, e suas correlações com o consumo de energia elétrica.

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1) ABNT. ABNT NBR 15688. **Norma Brasileira**, 2013. Disponivel em: https://www.ipen.br/biblioteca/slr/cel/N3128.pdf. Acesso em: 7 Setembro 2024.

2) ALHARBI, R. *et al.* Prediction of Oil Production through Linear Regression Model and Big Data Tools. **International Journal of Advanced Computer Science and Applications**, 2022., p. 380-387

3) ALVAREZ, M. C. *et al.* **Programación Estacional (PES) Noviembre 2023 - Abril 2024**. ADME – Gerencia Técnica y Despacho Nacional de Cargas. Montevideo. 2023.

4) ANDE. **RESUMEN ESTADÍSTICO**. ANDE. Assunção. 2014.

5) ANDE. **MERCADO ELÉCTRICO NACIONAL PROYECCIÓN 2019-2030 Informe Ejecutivo**. DIRECCIÓN DE PLANIFICACIÓN Y ESTUDIOS. [S.l.]. 2019.

6) ANDE. **PLAN MAESTRO DE DISTRIBUCIÓN**. ADMINISTRACIÓN NACIONAL DE ELECTRICIDAD. [S.l.], p. 228. 2021.

7) ANDE. **PLAN MAESTRO DE GENERACIÓN**. ADMINISTRACIÓN NACIONAL DE ELECTRICIDAD. [S.l.], p. 60. 2021.

8) ANDE. **PLAN MAESTRO DE TRANSMISIÓN**. ADMINISTRACIÓN NACIONAL DE ELECTRICIDAD. [S.l.], p. 114. 2021.

9) ANDE. Plan Operativo Anual de la Dirección de Redes Inteligentes de la ANDE. **Gobierno Del Paraguay**, 2022. Disponivel em: https://www.ande.gov.py/interna.php?id=10737. Acesso em: 4 Setembro 2024.

10) ANDE. **Resumen Estatístico 2018 - 2022**. Assunção. 2023.

11) ANDE. **Gobierno Del Paraguay**, 2024. Disponivel em: https://www.ande.gov.py/. Acesso em: 7 Setembro 2024.

12) ANDERSON, T. W.; DARLING, D. A. Asymptotic Theory of Certain "Goodness of Fit" Criteria based on Stochastic Processes. **Rand Corporation**, Nova York, 1952., p. 193-212

13) ANEEL. ANEEL divulga os resultados do desempenho das distribuidoras na continuidade do fornecimento de energia elétrica em 2023. **GOV.BR**, 2023. Disponivel em: https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2024/aneel-divulga-os-resultados-do-desempenho-das-distribuidoras-na-continuidade-do-fornecimento-de-energia-eletrica-em-

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

2023#:~:text=A%20frequ%C3%AAncia%20(FEC)%20das%20interrup%C3%A7%C3%B5es,4%2C2%25%20no. Acesso em: 14 Julho 2024.

14) BARBOZA, M. G. DECRETO N° 67.084 - DE 19 DE AGOSTO DE 1970. **MINISTÉRIO DAS RELAÇÕES EXTERIORES DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS JURÍDICOS:** DIVISÃO DE ATOS INTERNACIONAIS, 1970. Disponivel em: https://www.marinha.mil.br/dpc/sites/www.marinha.mil.br.dpc/files/TratBcPrata.pdf . Acesso em: 7 Setembro 2024.

15) BARBOZA, M. G. DECRETO No 72.707, DE 28 DE AGOSTO DE 1973. **Presidência da República Casa Civil:** Subchefia para Assuntos Jurídicos, 1973. Disponivel em: https://www.planalto.gov.br/CCIVIL_03/////decreto/Antigos/D72707.htm. Acesso em: 7 Semtembro 2024.

16) BECK, M.; FARIELLO, D. Brasileiro fica mais tempo sem energia elétrica em 2012. **Extra-Globo**, 2013. Disponivel em: https://extra.globo.com/economia-e-financas/brasileiro-fica-mais-tempo-sem-energia-eletrica-em-2012-7716172.html. Acesso em: 14 Julho 2024.

17) BOOTH, T. E. Monte Carlo Variance Reduction Approaches for Non-Boltzmann Tallies. **Los Alamos National Laboratory**, Los Alamos, 1994.

18) BOSTON UNIVERSITY SCHOOL OF PUBLIC HEALTH. Correlation and Regression with R. **sphweb**, 2016. Disponivel em: https://sphweb.bumc.bu.edu/otlt/MPH-Modules/BS/R/R5_Correlation-Regression/R5_Correlation-Regression7.html. Acesso em: 25 Março 2024.

19) CHAMORRO, J. M. P. DIAGNÓSTICO DO DESENVOLVIMENTO SÓCIO-ECONÔMICO DO PARAGUAI 1970 – 2005. **Universidade Federal de Santa Catarina**, Florianópolis, 24 Novembro 2008., p. 96

20) CNNBRASIL. Após meio século, Brasil e Paraguai fecham novo acordo por energia de Itaipu. **cnnbrasil**, 2024. Disponivel em: https://www.cnnbrasil.com.br/economia/macroeconomia/apos-meio-seculo-brasil-e-paraguai-fecham-novo-acordo-por-energia-de-itaipu/. Acesso em: 1 Julho 2024.

21) DADOSMUNDIAIS. Dados Mundiais. **Evolução das taxas de inflação no Paraguai**, 2024. Disponivel em: https://www.dadosmundiais.com/america/paraguai/inflacao.php. Acesso em: 1 Julho 2024.

22) DEBNATH, K. B.; MOURSHED, M. Forecasting methods in energy planning models. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Cardiff, 3 Fevereiro 2018.

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

23) DI TORE, O. L. B. Desenvolvimento socio-economico do Paraguai : o impacto da construção da Usina de Itaipu na economia. **Repositório de Produção Científica e Intelectual da Unicamp**, Campinas, 1991., p. 54

24) EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Carga de energia deve crescer em média 3,4% por ano no período de 2022 a 2026. **EPE**, 2021. Disponivel em: https://www.epe.gov.br/pt/imprensa/noticias/carga-de-energia-deve-crescer-em-media-3-4-por-ano-no-periodo-de-2022-a-2026#:~:text=Desde%20outubro%20de%202023%20o,comparado%20a%20janeiro%20de%202023. Acesso em: 26 Março 2024.

25) ENERGY, M. G. Monitor Global Energy. **Perfil energético – Paraguai**, 2022. Disponivel em: https://www.gem.wiki/Perfil_energ%C3%A9tico_%E2%80%93_Paraguai. Acesso em: 4 Setembro 2024.

26) FAJARDO, J. M. C. Acordo Tripartite Itaipu - Corpus: Ponto de Inflexão Entre a Disputa Geopolítica e a Política de Cooperação. **Universidade Fereral do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, 2004., p. 180

27) FERRAZ, D. A.; VIEGAS, P. R. A. PERSPECTIVAS DE UMA INTEGRAÇÃO ENERGÉTICA INTERBLOCOS: MERCOSUL E UE. **Confluencias - Revista Interdisciplinar de sociologia e direito**, Niterói, Novembro 2021., p. 221-245

28) GIELEN, D. *et al.* The role of renewable energy in the global energy transformation. **Energy Strategy Reviews**, Bonn, Alemanha; Istanbul, Turquia; Colorado, EUA, 31 Janeiro 2019., p. 38-50

29) GLASSERMAN, P. **Monte Carlo Methods in Financial Engineering**. Nova York: Splinger, 2003.

30) GWYNN, M. A. International law and transboundary dams: lessons learned from the Binational Entity ITAIPU (Brazil and Paraguay). **Frontiers**, Assunção, 13 Novembro 2023.

31) HOESLY, R. M.; SMITH, A. S. J. Informing energy consumption uncertainty: an analysis of energy data revisions. **Environmental Research Letters**, 17 Dezembro 2018.

32) LI, Z. *et al.* Impact of COVID-19 on electricity energy consumption: A quantitative analysis on electricity. **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**, Beijing, 25 Fevereiro 2022.

33) LIU, J. S. **Monte Carlo Strategies in Scientific Computing**. Nova York: Spriger, 2004.

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

34) LUCANTONIO, F.; SOSA, J.; AIELLO, R. G. **Breve reseña del sector de energía en Paraguay**. Banco Interamericano de Desarrollo. [S.l.], p. 50. 2022.

35) MERCOSUL. Decisão sobre a suspensão da Venezuela no MERCOSUL. **Mercosul**, 2017. Disponivel em: https://www.mercosur.int/pt-br/decisao-sobre-a-suspensao-da-republica-bolivariana-da-venezuela-no-mercosul/. Acesso em: 23 Março 2024.

36) MERCOSUR. Reunião de Ministros de Energia do Mercosul, Bolívia e Chile. **MERCOSUR**, 2021. Disponivel em: https://www.mercosur.int/pt-br/reuniao-de-ministros-de-energia-do-mercosul-bolivia-e-chile/. Acesso em: 31 Março 2024.

37) MERCOSUR. Países do MERCOSUL. **Mercosur**, 2024. Disponivel em: https://www.mercosur.int/pt-br/quem-somos/paises-do-mercosul/. Acesso em: 23 Março 2024.

38) OLADE. SIESUR studies stage 1. **OLADE**, 2020. Disponivel em: https://www.olade.org/estudios-siesur-etapa-1/. Acesso em: 31 Março 2024.

39) OLADE. ESTADÍSTICA ENERGÉTICA E INFORMACIÓN LEGAL. **SIELAC**, 2023. Disponivel em: https://sielac.olade.org/default.aspx. Acesso em: Novembro 2023.

40) POSSO, F. *et al.* Towards the Hydrogen Economy in Paraguay: Green hydrogen production potential and end-uses. **international journal of hydrogen energy**, 2022.

41) PRASAD, R. D.; BANSAL, R. C.; RATURI, A. Multi-faceted energy planning: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 24 Julho 2014., p. 687-696

42) RUBINSTEIN, R. Y.; KROESE, D. P. **SIMULATION AND THE MONTE CARLO METHOD**. 3ª. ed. New Jersey: WILEY, 2017.

43) SACHS, J. D. *et al.* **Evaluación y Planificación del Sector Energético del Paraguay:Vías de Descarbonización**. Columbia Center on Sustainable Investment (CCSI). Nova York, p. 191. 2021.

44) SANTOS, T. Segurança Energética no MERCOSUL+2: desafios e oportunidades. **OIKOS**, Rio de Janeiro, Julho 2015., p. 5-18

45) SARGENT, R. G. Verification And Validation Of Simulation Models. **Electrical Engineering and Computer Science**, Syracuse, 1998.

46) SBARDELOTTO, D. K. O projeto educacional da Itaipu Binacional para a margem direita paraguaia (1974-1985). **Revista Emancipação**, Ponta Grossa, 28 Julho 2022., p. 20

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

47) SECRETARÍA DE ENERGÍA. **Plan nacional de transición energética a 2030**. Ministério de Economía. [S.l.]. 2023.

48) SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). **Biometrika**, Londres, Dezmbro 1965., p. 591-611

49) SIEN. Viceministerio de Minas y Energia. **SIEN**, 2011. Disponivel em: https://www.ssme.gov.py/vmme/index.php?option=com_content&view=article&id=1405. Acesso em: 6 Setembro 2024.

50) SPEAGLE, J. S. A Conceptual Introduction to Markov Chain Monte Carlo Methods. **INSPIRE-HEP**, Setembro 2019.

51) STATOIDS. statoids. **Departments of Paraguay**, 2015. Disponivel em: http://www.statoids.com/upy.html. Acesso em: 4 Setembro 2024.

52) STEPHEN , L.; STEVENSON, S. Time Weighted Portfolio Optimisation. **Annual European Real Estate Society Meeting**, Alicante, Junho 2001.

53) TOLEDANO, P.; MAENNLING, N. **Leveraging Paraguay's Hydropower for**. Columbia Center on Sustainable Investiment. [S.l.]. 2013.

54) WIKIPEDIA. wikipedia. **Paraguai**, 2024. Disponivel em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Paraguai. Acesso em: 4 Setembro 2024.

55) WILK, M. B.; GNANADESIKAN, R. Probability plotting methods for the analysis of data. **Biometrika** , Londres, Outubro 1968.

56) YAN, X.; SU, X. G. **Linear Regression Analysis:** Theory and Computing. Singapura: World Scientific, 2009.

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

APÊNDICE 1 – TESTES DE N.S.

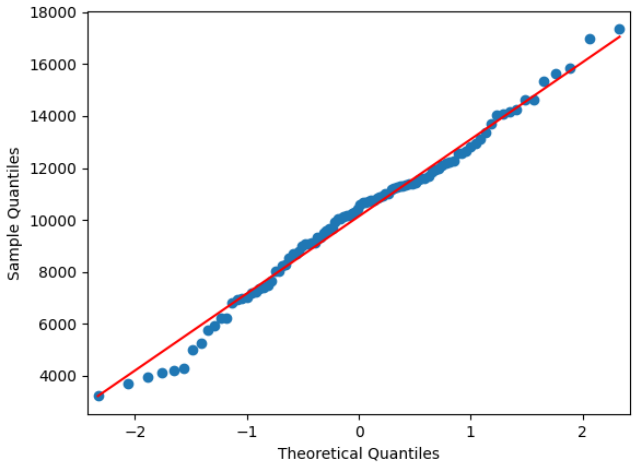
Este apêndice é composto por 8 testes para o valor de número de simulações usado este trabalho. Sendo que cada teste apresenta sua representação por meio do método gráfico Q-Q plot, e nos testes de 1 a 5, que possuem menos de 5 mil simulações, o Q-Q plot e refinado pelo teste de Shapiro-Wilk (SW) por meio do seu p-valor, e os testes 6 a 8, com 5 mil simulações, tem como método de Anderson-Darling (AD) com seus valores estatísticos e críticos.

O resultado da escolha do número ideal de simulações, e as motivações para tal escolha estão dispostas na subsecção 3.4.3.4.1.

TESTE 1 – N.S. = 100

O teste de SW apresentou um resultado de p-valor igual a 0,419551, e a seguinte distribuição em Q-Q plot apresentada no Gráfico 4.

Gráfico 4 - Q-Q plot com N.S. 100



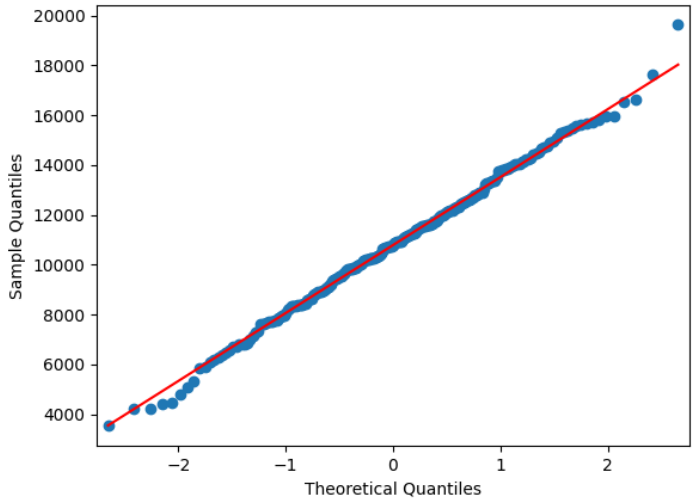
Fonte: Autoria própria

TESTE 2 – N.S. = 250

O teste de SW apresentou um resultado de p-valor igual a 0,93684, e a seguinte distribuição em Q-Q plot apresentada no Gráfico 5.

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

Gráfico 5 - Q-Q plot com N.S. 250

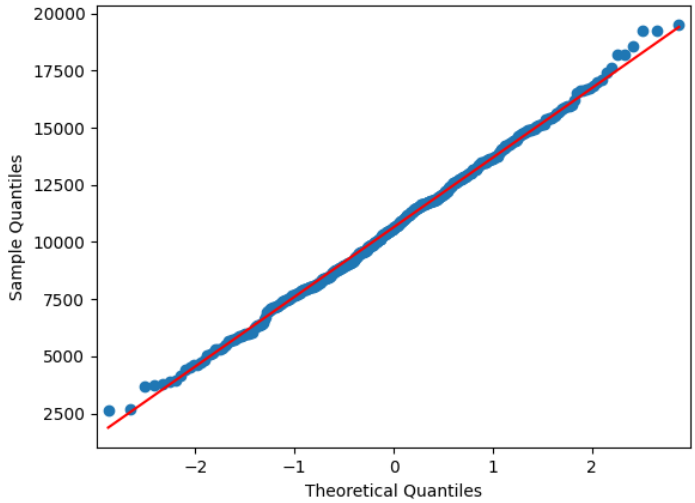


Fonte: Autoria própria

TESTE 3 – N.S. = 500

O teste de SW apresentou um resultado de p-valor igual a 0,5879945, e a seguinte distribuição em Q-Q plot apresentada no Gráfico 6.

Gráfico 6 - Q-Q plot com N.S. 500



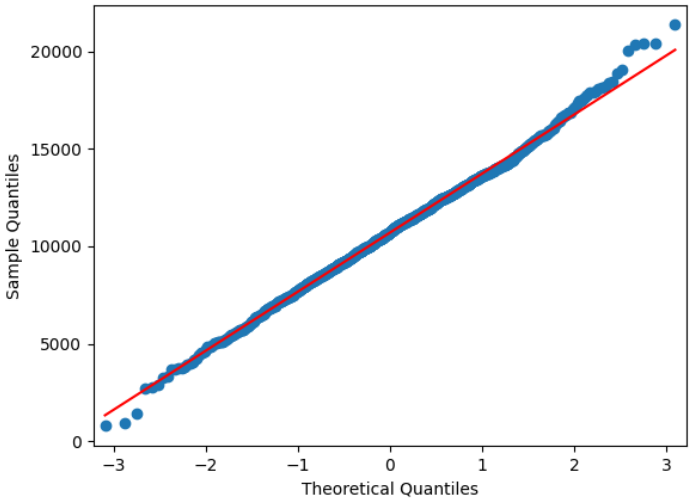
Fonte: Autoria própria

TESTE 4 – N.S. = 1000

O teste de SW apresentou um resultado de p-valor igual a 0,2016195, e a seguinte distribuição em Q-Q plot apresentada no Gráfico 7.

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

Gráfico 7 - Q-Q plot com N.S. 1000

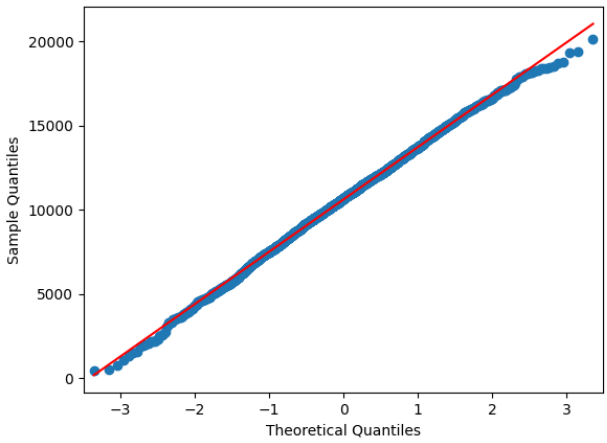


Fonte: Autoria própria

TESTE 5 – N.S. = 2500

O teste de SW apresentou um resultado de p-valor igual a 0,05726276, e a seguinte distribuição em Q-Q plot apresentada no Gráfico 8.

Gráfico 8 - Q-Q plot com N.S. 2500



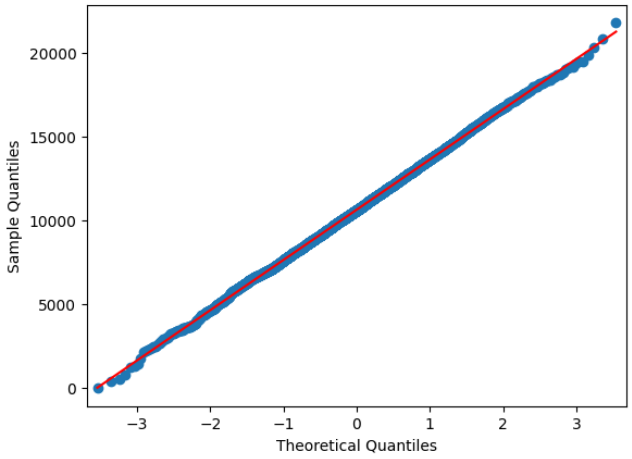
Fonte: Autoria própria

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

TESTE 6 – N.S. = 5000

O teste de AD apresentou um resultado de valor estatístico igual a 0,419, e um valor crítico de 0.786, e a seguinte distribuição em Q-Q plot apresentada no Gráfico 9.

Gráfico 9 - Q-Q plot com N.S. 5000

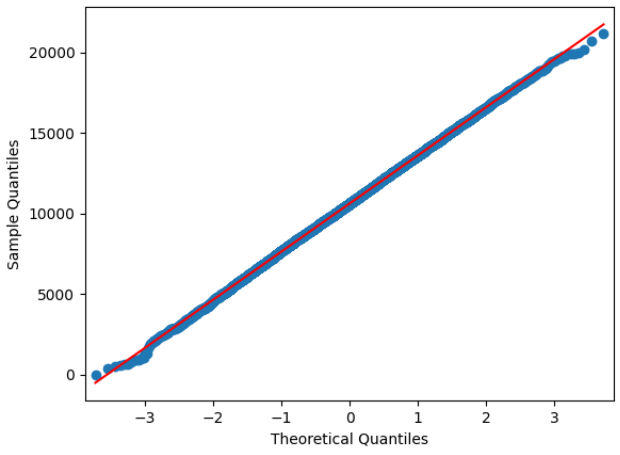


Fonte: Autoria própria

TESTE 7 – N.S. = 10000

O teste de AD apresentou um resultado de valor estatístico igual a 0,233, e um valor crítico de 0.787, e a seguinte distribuição em Q-Q plot apresentada no Gráfico 10.

Gráfico 10 - Q-Q plot com N.S. 10000



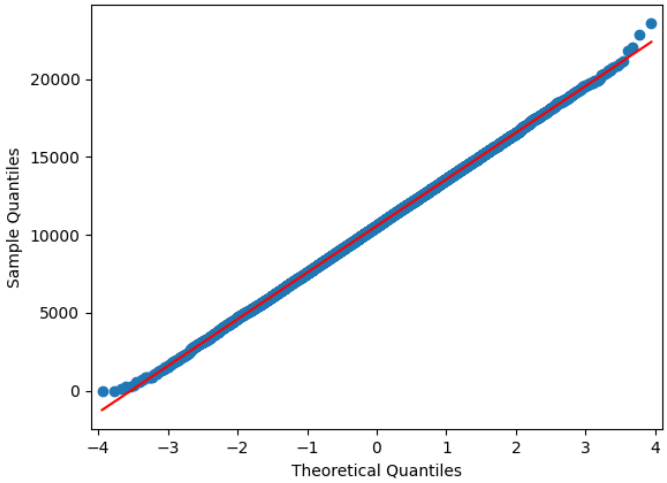
Fonte: Autoria própria

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24

TESTE 8 – N.S. = 25000

O teste de AD apresentou um resultado de valor estatístico igual a 0.209, e um valor crítico de 0.787, e a seguinte distribuição em Q-Q plot apresentada no Gráfico 11.

Gráfico 11 - Q-Q plot com N.S. 25000



Fonte: Autoria própria

Versão Final Homologada
31/10/2024 20:24