

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA
ENGENHARIA ELÉTRICA – ENERGIA

Igor Lopes Passi

Planejamento da Expansão Energética utilizando *Osemosys* e *Flextool*

Juiz de Fora

2024

Igor Lopes Passi

Planejamento de uma Expansão Energética utilizando *Osemosys* e *Flextool*

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao programa de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Juiz de Fora, na área de concentração em Sistemas de Energia, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Leonardo Willer de Oliveira

Coorientador: Pedro Henrique Peters Barbosa

Juiz de Fora

2024

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Passi, Igor Lopes Passi.

Planejamento de uma expansão energética utilizando Osemosys e Flextool / Igor Lopes Passi Passi. -- 2024.

143 p. : il.

Orientador: Leonardo Willer de Oliveira Oliveira

Coorientador: Pedro Henrique Peters Barbosa Barbosa

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia, 2024.

1. Planejamento Energético. 2. Osemosys. 3. Flextool. 4. Planejamento de Expansão. 5. Energias Renováveis. I. Oliveira, Leonardo Willer de Oliveira, orient. II. Barbosa, Pedro Henrique Peters Barbosa, coorient. III. Título.

Igor Lopes Passi

Planejamento de uma Expansão Energética utilizando *Osemosys* e *Flextool*

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao programa de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Juiz de Fora, na área de concentração em Sistemas de Energia, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

Aprovada em _____ de _____ de _____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Leonardo Willer de Oliveira – Orientador

Universidade Federal de Juiz de Fora

MSc. Pedro Henrique Peters Barbosa – Coorientador

Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. Bruno Henriques Dias

Universidade Federal de Juiz de Fora

AGRADECIMENTOS

Diante dessa longa caminhada, na qual experimentei de vários sentimentos e acima de tudo, uma evolução astronômica como ser humano, aluno e profissional, quero agradecer quem faz e fez parte dessa história.

Portanto, nesta jornada, apesar de nenhuma palavra definir o tamanho Dele, primeiramente agradeço ao meu Senhor Deus, que visível e invisivelmente me amparou de baixo do Teu senhorio, em todos os momentos.

Agradeço aos meus pais, Antônio e Manoelina, pelo dom da vida, com a permissão de Deus e pela minha criação, que dentro das diferenças e particularidades de cada um, me ensinaram bons valores e virtudes para a vida. Um agradecimento estrito ao meu pai, por nessa etapa acadêmica ser meu amparo, estar sempre em oração por mim e segurar as pontas quando se precisou.

Agradeço também pelo meu irmão Willian e madrasta Laédina, pelo apoio e orações durante minha jornada.

A minha companheira, Maísa e sua família, por me acolherem de forma genuína dentro de seus lares.

Obrigado aos amigos do “Klan”, que facilitaram e deixaram minha vida mais leve na faculdade. Que nossa amizade perdure por longos anos.

Não menos importante, agradeço aos professores da Universidade que passaram pela minha vida e contribuíram com ensinamentos técnicos e de vida.

Por fim, agradeço ao professor Leonardo Willer e ao Pedro Peters, por aceitarem este desafio de me orientarem durante o Trabalho de Conclusão de Curso e cumprirem bem com este papel, estando disponíveis a todo momento.

Por fim, agradeço aos colegas e pessoas que passaram pela minha jornada acadêmica durante estes anos.

RESUMO

O atual cenário energético mundial, principalmente com a inserção de energias renováveis variáveis, requisita bons e constantes estudos de planejamento. Assim, este trabalho tem como foco a apresentação de um estudo fictício de planejamento de expansão de energia, utilizando dados realísticos baseados no Nordeste brasileiro, apresentando 5 diferentes cenários. Partindo de um cenário baseado em hidrelétricas e termelétricas a óleo combustível, passando pela inserção de fontes geradoras fotovoltaicas e eólicas, utilizando também uma termelétrica a biomassa de cana-de-açúcar e por fim, utilizando termelétrica nuclear. Foram adotadas para modelar estes casos propostos, duas ferramentas de modelagem energética, o *OSeMOSYS* e o *IRENA Flextool*, programas eficazes e gratuitos que permitem diversos níveis de pesquisa. O intuito deste trabalho também é de democratizar o aprendizado dessas duas ferramentas, falando um pouco sobre elas e fornecendo um passo-a-passo de como criar um panorama básico, no caso do *OSeMOSYS*. Por fim, são apresentados os resultados dos casos simulados e realizadas as devidas constatações a partir dos resultados obtidos.

Palavras-chave: *Osemosys*. *Irena Flextool*. Planejamento energético. Planejamento de expansão. Energias renováveis.

ABSTRACT

The current global energy scenario, especially with the integration of variable renewable energy sources, requires thorough and continuous planning studies. Thus, this work focuses on presenting a fictional energy expansion planning study, using realistic data based on Brazil's Northeast region, featuring five different scenarios. Starting with a scenario based on hydropower and oil-fired thermoelectric plants, progressing through the integration of photovoltaic and wind power generation sources, also utilizing a sugarcane biomass thermoelectric plant, and finally, a nuclear thermoelectric plant. To model these proposed cases, two energy modeling tools were adopted: OSeMOSYS and IRENA Flextool, effective and free programs that allow for various levels of research. This work also aims to democratize the learning of these two tools by discussing them and providing a step-by-step guide on how to create a basic model, in the case of OSeMOSYS. Finally, the results of the simulated cases are presented, and the relevant findings are made based on the obtained results.

Keywords: OSeMOSYS. IRENA FlexTool. Energy planning. Expansion planning. Renewable energy sources.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - PNE 2050: projeção de consumo de energia no Brasil.....	14
Figura 2 - Demanda de energia e disponibilidade de recursos no horizonte até 2050.	15
Figura 3 - Ambiente executável clicSAND.....	19
Figura 4 - Folha de parâmetros.....	20
Figura 5 - Folha de “SETS”.....	20
Figura 6 - Página do curso Energy and Flexibility Modelling: OSeMOSYS & Flextool.	27
Figura 7 - Tela inicial do site OSeMOSYS.	27
Figura 8 - Tela de interfaces do site OSeMOSYS.....	28
Figura 9 - Tela para baixar Hands-On 1.	29
Figura 10 - Tela do link para instalação do clicSAND.....	29
Figura 11 - Proteção do sistema operacional.....	30
Figura 12 - Tela 1 de instalação clicSAND.....	31
Figura 13 - Tela 2 de instalação clicSAND.....	31
Figura 14 - Menu iniciar do Windows.....	32
Figura 15 - Inserindo comando "regedit".	32
Figura 16 - Tela editor do registro.....	33
Figura 17 - Tela download .NET Runtime.	34
Figura 18 - Tela do site do GLPK.	35
Figura 19 - Pastas w32 e w64.....	36
Figura 20 - Caminho da pasta w32 ou w64.....	36
Figura 21 - Tela de propriedades do sistema.....	36
Figura 22 - Propriedades do sistema.	37
Figura 23 - Tela de variáveis do ambiente.	38
Figura 24 - Edição de variável de ambiente.	38
Figura 25 - Prompt de comando GLPK.....	39
Figura 26 - Disco local C:	39
Figura 27 - Tela da clicSAND.....	40
Figura 28 - Tela de arquivos criados pré-otimização.	40
Figura 29 - Entrada de parâmetros da interface SAND.....	41
Figura 30 - Coluna A da entrada de parâmetros.....	42
Figura 31 - Colunas B, C, D e E da entrada de parâmetros.....	43
Figura 32 - Colunas F, G, H, I, J, K, L e M da entrada de parâmetros.....	43

Figura 33 - Aba “Naming” na interface SAND.....	44
Figura 34 - Aba de “SETS” na interface SAND.	44
Figura 35 - Escolhendo parâmetro YearSplit.	46
Figura 36 - Inserindo valores em YearSplit.....	46
Figura 37 - Método de depreciação e taxa de desconto.....	47
Figura 38 - Inserindo valores de demandas anuais de energia elétrica.	48
Figura 39 - Inserindo valores de SpecifiedDemandProfile.	49
Figura 40 - Inserindo tecnologias e commodities.....	50
Figura 41 - Escolhendo MINCOA para inserir dados.	51
Figura 42 - Inserindo CapacityToActivityUnit e OutputActivityRatio.....	52
Figura 43 - Inserindo TotalTechnologyModelPeriodActivityUpperLimit, VariableCost e TotalAnnualMaxCapacity.	52
Figura 44 - Tela 1 de inserção PWRTRN.....	54
Figura 45 - Tela 2 de inserção de PWRTRN.....	54
Figura 46 - Tela 3 de inserção de PWRTRN.....	55
Figura 47 - Inserindo valores de CapacityFactor para PWRCOA.....	56
Figura 48 - Inserindo valores de CapacityFactor para PWRHYD.	57
Figura 49 - Inserindo arquivos no executável clicSAND.....	58
Figura 50 - Tela 1 de execução do clicSAND,	59
Figura 51 - Tela 2 de execução do clicSAND.....	60
Figura 52 - Tela 3 de execução do clicSAND.....	60
Figura 53 - Tela 4 de execução do clicSAND.....	61
Figura 54 - Tela de arquivos da pasta Osemosys após execução.	61
Figura 55 - Executando Macro 1 no arquivo Results Database.	62
Figura 56 - Importando resultados para Access.	62
Figura 57 - Tela 1 confirmação de macro Results Database.	63
Figura 58 - Tela 2 confirmação de macro Results Database.	63
Figura 59 - Tela 3 confirmação de macro Results Database.	63
Figura 60 - Tela 4 confirmação de macro Results Database.	63
Figura 61 - Tela 5 confirmação de macro Results Database.	64
Figura 62 - Tela 6 confirmação de macro Results Database.	64
Figura 63 - Tela 1 de fonte de dados do ResultsTemplate.	64
Figura 64 - Tela 2 de fonte de dados de ResultsTemplate.....	65
Figura 65 - Tela 3 de fonte de dados de ResultsTemplate.....	65

Figura 66 - Tela 4 de fonte de dados de ResultsTemplate.....	66
Figura 67 - Tela 5 de fonte de dados de ResultsTemplate.....	66
Figura 68 - Resultado produção anual de eletricidade do exemplo prático.....	66
Figura 69 - Resultado de custos fixos anuais de operação do exemplo prático.	67
Figura 70 - Resultado de capital de investimento do exemplo prático.....	67
Figura 71 - Resultado de demanda do exemplo prático.	68
Figura 72 - Baixando o IRENA Flextool.	76
Figura 73 - Local de instalação do IRENA Flextool.	77
Figura 74 - Arquivos da pasta Flextool.	77
Figura 75 - Opções do Excel.	78
Figura 76 - Central de confiabilidade do Excel.....	79
Figura 77 - Tela inicial do IRENA Flextool.....	79
Figura 78 - Execução dos cenários no IRENA Flextool.	80
Figura 79 - Tela de resultados do IRENA Flextool.....	81
Figura 80 - Erro de compilação (incompatibilidade de idioma).....	82
Figura 81 - Pasta a ser modificada (erro de idioma).....	83
Figura 82 - Acessando Visual Basic do IRENA Flextool.	83
Figura 83 - Ambiente de desenvolvimento do Excel.	84
Figura 84 - Perfil de geração do nordeste brasileiro.....	88
Figura 85 - Custos de transmissão.....	89
Figura 86 - Áreas aptas para instalação de usinas fotovoltaicas.....	95
Figura 87 - Aba de unit_type.....	103
Figura 88 - Aba units modificada.	104
Figura 89 - Comportamento da demanda ao longo do ano.....	107
Figura 90 - Summary D: Resultados gerais e de flexibilidade no Flextool.....	109
Figura 91 - Summary D: Custos.	110
Figura 92 - Geração de energia por tipo de fonte	111
Figura 93 - Comportamento da geração no Flextool.....	111
Figura 94 - APÊNDICE: Demanda de energia.....	125
Figura 95 - APÊNDICE: Emissões Caso 1.	126
Figura 96 - APÊNDICE: Emissões Caso 2.	126
Figura 97 - APÊNDICE: Emissões Caso 3.	127
Figura 98 - APÊNDICE: Emissões Caso 4.	127
Figura 99 - APÊNDICE: Produção de eletricidade Caso 1.....	129

Figura 100 - APÊNDICE: Produção de eletricidade Caso 2.	129
Figura 101 - APÊNDICE: Produção de eletricidade Caso 3.	130
Figura 102 - APÊNDICE: Produção de eletricidade Caso 4.	130
Figura 103 - APÊNDICE: Produção de eletricidade Caso 5.	131
Figura 104 - APÊNDICE: Capacidade Instalada Caso 1.	132
Figura 105 - APÊNDICE: Capacidade Instalada Caso 2.	132
Figura 106 - APÊNDICE: Capacidade Instalada Caso 3.	133
Figura 107 - APÊNDICE: Capacidade Instalada Caso 4.	133
Figura 108 - APÊNDICE: Capacidade Instalada Caso 5.	134
Figura 109 - APÊNDICE: Custo de Investimento Caso 1.	135
Figura 110 - APÊNDICE: Custo de Investimento Caso 2.	135
Figura 111 - APÊNDICE: Custo de Investimento Caso 3.	136
Figura 112 - APÊNDICE: Custo de Investimento Caso 4.	136
Figura 113 - APÊNDICE: Custo de Investimento Caso 5.	137
Figura 114 - APÊNDICE: Custos fixos Caso 1.....	138
Figura 115 - APÊNDICE: Custos fixos Caso 2.....	138
Figura 116 - APÊNDICE: Custos fixos Caso 3.....	139
Figura 117 - APÊNDICE: Custos fixos Caso 4.....	139
Figura 118 - APÊNDICE: Custos fixos Caso 5.....	140
Figura 119 - APÊNDICE: Custos variáveis Caso 1.	141
Figura 120 - APÊNDICE: Custos variáveis Caso 2.	141
Figura 121 - APÊNDICE: Custos variáveis Caso 3.	142
Figura 122 - APÊNDICE: Custos variáveis Caso 5.	142

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores para SpecifiedAnnualDemand.	48
Tabela 2 - Valores de SpecifiedDemandProfile.	49
Tabela 3 - Tabela de valores para inserir nos parâmetros de MINHYD.	53
Tabela 4 - Tabela de valores para inserir nos parâmetros de PWRTRN.	54
Tabela 5 - Tabela de valores para inserir nos parâmetros de PWRDIST.	55
Tabela 6 - Tabela de valores para inserir nos parâmetros de PWRCOA.	56
Tabela 7 - Tabela de valores para inserir nos parâmetros de PWRHYD.	57
Tabela 8 - Dados de entrada do IRENA Flextool.	72
Tabela 9 - Dados de saída do IRENA Flextool.	73
Tabela 10 - Parâmetros da aba master em Flextool.	102
Tabela 11 - Parâmetros da aba unit_type.	103
Tabela 12 - Parâmetros modificados na aba units.	104
Tabela 13 - Manipulação dos recortes temporais entre Flextool e OSeMOSYS.	105
Tabela 14 - Ajuste de fator de capacidade no Flextool.	106
Tabela 15 - Aba ts_energy.	107
Tabela 16 - Comparativo dos casos de OSeMOSYS	113
Tabela 17 - APÊNDICE: Emissões dos casos.	128
Tabela 18 - APÊNDICE: Custos de investimento.	137
Tabela 19 - APÊNDICE: Custos fixos.	140
Tabela 20 - APÊNDICE: Fatores de potência.	143
Tabela 21 - APÊNDICE: Specified Demand Profile.	143
Tabela 22 - APÊNDICE: Specified Annual Demand.	143

LISTA DE ABREVIACOES E SIGLAS

ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
MME	Ministério de Minas e Energia
PNE	Plano Nacional de Energia
PDE	Plano Decenal de Energia
<i>IRENA</i>	<i>International Renewable Energy Agency</i>
Mt	Megatoneladas
GWh	Gigawatt-hora
MWh	Megawatt-hora
US\$	Dólar Americano
Tep	Toneladas Equivalente de Petróleo
GLPK	<i>GNU Linear Programming Kit</i>
<i>OSeMOSYS</i>	<i>Open Source Energy Modeling System</i>
CO ₂	Dióxido de Carbono
CH ₄	Gás Metano
N ₂ O	xido Nitroso
SO ₂	Dióxido de Enxofre
kW	Quilowatt
MW	Megawatt
GW	Gigawatt

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 MOTIVAÇÕES E OBJETIVOS	16
1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO	17
2 OSEMOSYS	18
2.1 SOBRE O OSeMOSYS	18
2.2 A INTERFACE <i>clicSAND</i>	19
2.3 OBJETIVOS DO OSeMOSYS	20
2.4 COMMODITIES	21
2.5 REGIÕES	22
2.6 EMISSÕES	23
2.7 TECNOLOGIAS	23
2.8 CONVENÇÃO DE NOMENCLATURA	24
2.9 PASSO-A-PASSO PARA UTILIZAÇÃO DE <i>OSeMOSYS</i>	26
2.9.1 Instalação do Executável <i>clicSAND</i>	27
2.9.2 Instalação do <i>.NET Runtime</i>	31
2.9.3 Instalação do GLPK	34
2.9.4 Execução e Utilização de <i>OSeMOSYS</i>	39
2.9.5 Execução de Resultados	58
3 IRENA FLEXTOOL	69
3.1 SOBRE O <i>IRENA Flextool</i>	69
3.2 OBJETIVOS DO <i>IRENA Flextool</i>	69
3.3 RECURSOS E ESTRUTURA SIMPLIFICADA DO <i>IRENA Flextool</i>	70
3.3.1 Premissas e Simplificações	70
3.3.2 Dados de Entrada e de Saída	71
3.3.3 Indicadores para Medição de Flexibilidade	73
3.4 ABRINDO O <i>IRENA Flextool</i> PELA PRIMEIRA VEZ	75
3.4.1 Baixando e Instalando o <i>IRENA Flextool</i>	75
3.4.2 Executando o <i>IRENA Flextool</i>	78
3.4.3 Resolvendo Problema com Idioma	81
3.5 RECOMENDAÇÕES	84
4 SIMULAÇÕES	86
4.1 METODOLOGIA PARA PARÂMETROS: <i>OSeMOSYS</i>	86

4.1.1 Caso 1 (<i>OSeMOSYS</i>): PWROHC E PWRHYD	90
4.1.2 Caso 2 (<i>OSeMOSYS</i>): PWROHC, PWRHYD e PWRWND	93
4.1.3 Caso 3 (<i>OSeMOSYS</i>): PWROHC, PWRHYD, PWRWND e PWRWND.....	94
4.1.4 Caso 4 (<i>OSeMOSYS</i>): PWRBIO, PWRHYD, PWRWND e PWRWND	96
4.1.5 Caso 5 (<i>OSeMOSYS</i>): PWRNUC, PWRHYD, PWRWND e PWRWND.....	97
4.2 AVALIAÇÃO DE RESULTADOS DOS CENÁRIOS DE <i>OSeMOSYS</i>	98
4.3 METODOLOGIA USADA NO <i>Flextool</i>	100
4.4 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS PARA <i>FLEXTOOL</i>	108
5 CONCLUSÕES	112
5.1 CONCLUSÕES FINAIS	113
5.2 TRABALHOS FUTUROS	114
REFERÊNCIAS	116
APÊNDICE A – GRÁFICO DE DEMANDA DE ENERGIA EM <i>OSeMOSYS</i>	125
APÊNDICE B – EMISSÕES EM <i>OSeMOSYS</i>	126
APÊNDICE C – PRODUÇÃO DE ENERGIA ANUAL EM <i>OSeMOSYS</i>	129
APÊNDICE D – CAPACIDADE INSTALADA EM <i>OSeMOSYS</i>	132
APÊNDICE E – CUSTOS DE INVESTIMENTOS	135
APÊNDICE F – CUSTOS OPERACIONAIS FIXOS	138
APÊNDICE G – CUSTOS OPERACIONAIS VARIÁVEIS	141
APÊNDICE H – VALORES DE ENTRADA PARA PARÂMETROS EM <i>OSeMOSYS</i>	143

1 INTRODUÇÃO

Perante o contexto atual em relação a matriz elétrica global, assim como, sua diversificação, há uma necessidade de constante desenvolvimento no que tange as ideias de planejamento energético. Além disso, quando se falar em planejamento energético, não diz respeito apenas ao planejamento elétrico, mas sim, relacionado as diversas formas de energia e seu consumo, como, energias térmicas e mecânica.

Trazendo para a área da eletricidade, o modo de vida hoje se mostra muito mais dependente deste tipo de energia, se comparado a tempos passados. Uso de celulares, computadores, internet, sistemas de localização, lâmpadas, eletrodomésticos, grande parte de nossos recursos pessoais passam pelo uso de energia elétrica.

Segundo o Plano Nacional de Energia 2050 (EPE e MME, 2020), há uma projeção no cenário nomeado de Desafio da Expansão para o consumo de energia, na casa de 562 milhões de tep, o qual pode-se observar na Figura 1.

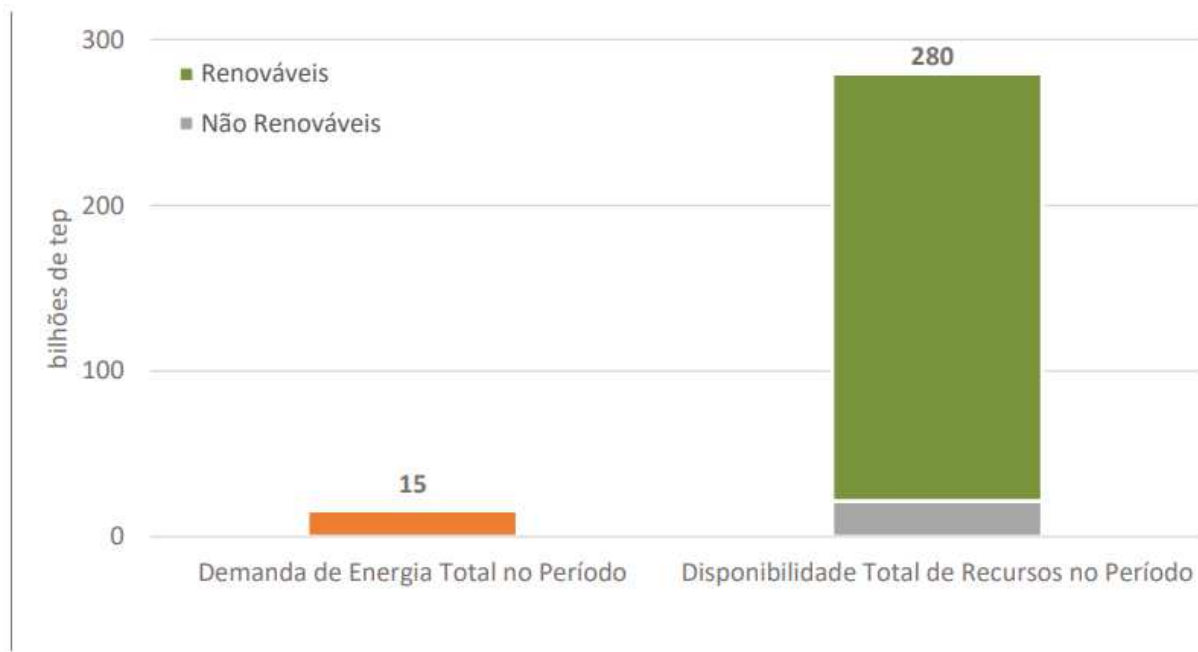
Figura 1 - PNE 2050: projeção de consumo de energia no Brasil.



Fonte: PNE 2050 (EPE e MME, 2020).

Ainda baseado no PNE 2050 (EPE e MME, 2020), mesmo com o crescimento do consumo de energia de 261 milhões de tep em 2015 para 562 milhões de tep, o Brasil vislumbra uma significativa alteração no seu papel histórico de demandante líquido de energia, para ofertante líquido de energia. Por isso, há um desafio grande para gerenciar essa abundância de energia no futuro. Observe a Figura 2.

Figura 2 - Demanda de energia e disponibilidade de recursos no horizonte até 2050.



Fonte: PNE 2050 (EPE e MME, 2020).

Além desse aumento significativo mostrado na Figura 1, tem-se também, a inserção de fontes de energias renováveis variáveis, como solar fotovoltaica e eólica. Como essas fontes possuem intermitência elevada e sua previsibilidade é mais complexa, entra em jogo as estratégias de planejamento de energia, tanto a curto prazo (escala de segundos, minutos e horas), assim como para longo prazo (escala de semanas, meses e anos), que será abordado neste trabalho.

O estudo de planejamento energético é multidisciplinar. Os estudos deste tema englobam não somente uma visão técnica no âmbito de energia, mas também, uma visão holística, englobando assuntos, por exemplo, elétricos, assim como, projeções de crescimento populacional, crescimento de PIB, mercados globais

Para tentar ajudar todos os envolvidos e afetados desta área (sejam os consumidores, pesquisadores ou tomadores de decisão), tem-se no mercado global, duas ferramentas gratuitas

e consideravelmente poderosas para auxiliar pesquisadores, gestores, estudantes, sejam de iniciativa privada ou governamentais, são elas: *OSeMOSYS* e o *Flextool*.

Estas duas ferramentas foram criadas para moldar cenários energéticos e permitir que se preveja um comportamento do sistema modelado a partir de seus dados de entrada. Aliado ao fato da gratuidade, elas facilitam que determinados grupos, que talvez não possuam recursos, principalmente financeiros, possam configurar seus sistemas de energia e tirar informações valiosas dos resultados.

Visto isso, para este trabalho, serão utilizadas as duas ferramentas, a fim de mostrar um pouco de suas funcionalidades, capacidades e os resultados que podem criar, atendendo a requisitos necessários para um planejamento energético.

1.1 MOTIVAÇÕES E OBJETIVOS

Como visto, os estudos de planejamento energético se mostram extremamente relevantes, principalmente nos dias atuais, no qual se tem mudanças climáticas impactante nas previsibilidades de comportamento naturais e conseqüentemente nas fontes geradoras renováveis, por exemplo, solar fotovoltaica, eólica e hídrica. Por isso, este é um dos motivos para a criação deste trabalho.

Ademais, em relação ao *OSeMOSYS* e o *Flextool*, apesar de gratuitos, não mostram uma literatura farta para seu entendimento e sua utilização, portanto, este trabalho tem como mais uma motivação, essa falta de literatura e possível dificuldade do usuário, de forma geral iniciante, na sua utilização. Complementando esse hiato, um dos objetivos deste documento é fornecer ao usuário e leitor, informações básicas, mas relevantes, que o possibilite a trabalhar com a ferramenta, ao menos de forma inicial.

Aliás, esta monografia, visa entender como seria o comportamento de alguns sistemas utilizando as ferramentas propostas, em especial, o cenário que possui uma fonte geradora nuclear, comparando, custos e comportamentos de geração.

De forma geral, o trabalho tem como objetivo, a democratização das ferramentas citadas, principalmente o *OSeMOSYS*, fortalecendo sua literatura. Avaliar os cenários energéticos propostos e entender como uma fonte nuclear se comporta. Por fim, contribuir para a academia com um trabalho de cunho consideravelmente prático e utilizável para a sociedade.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Além deste capítulo introdutório, este trabalho compõe-se de mais quatro capítulos.

O capítulo 2 diz respeito ao que o *OSeMOSYS* representa, assim como seus objetivos, principais funcionalidades e para atender um dos objetivos propostos, trazer um passo-a-passo de como utilizá-lo.

O capítulo 3 traz basicamente a mesma estrutura do capítulo 2, porém em relação ao *Flextool*, com exceção do passo-a-passo. No entanto, também contempla os objetivos da ferramenta e suas funcionalidades.

O capítulo 4 mostra as metodologias utilizadas para criação dos cenários energéticos modelados, tanto para *OSeMOSYS*, quanto para o *Flextool*, trazendo também os resultados dessas simulações.

Por fim, o capítulo 5, trazendo as considerações finais do trabalho, assim como propostas de trabalhos futuros que possam contribuir ainda mais para a comunidade acadêmica e externa.

2 OSEMOSYS

Este capítulo abordará sobre a ferramenta *OSeMOSYS*, ferramenta essa que se destaca pela sua praticidade, poder de modelagem e análise de diversos cenários quando se trata de planejamento energético a longo prazo. Vale destacar que este sistema conta com algumas interfaces, tanto para níveis iniciantes até para os mais avançados no assunto. Neste trabalho foi utilizado a interface para iniciantes, denominada como *clicSAND*. Para níveis intermediário e avançado, o recomendado é a utilização das interfaces *MoManl* e *Otoole*, respectivamente.

2.1 SOBRE O OSeMOSYS

O *OSeMOSYS* (*Open Source Energy Modeling System*), como dito anteriormente, é uma ferramenta de modelagem energética e otimização de longo-prazo, de código aberto, que apresenta uma poderosa e prática forma de entregar cenários energéticos. Nele pode-se modelar sistemas globais, nacionais ou regionais, permitindo o uso de diversas formas de geração de energia e tecnologias de transformação.

Por ser um instrumento de pesquisa de fácil acesso e prático, permite democratizar os estudos no contexto de planejamento energético, dando força ao desenvolvimento contínuo do próprio *OSeMOSYS*, assim como avanços de pesquisa no setor citado. Sua forma de código aberto permite transparência na comunidade de pesquisa e promove a colaboração entre os diversos integrantes.

Além disso, o modelo nos permite simular sistemas energéticos personalizados/customizados para representar diferentes conjunturas e atender objetivos específicos. A ferramenta possibilita maior compreensão do sistema energético modelado e auxilia o processo de tomada de decisão para formação de políticas públicas e/ou privadas nos diversos setores, sejam, econômico, ambiental, social ou energético. Este auxílio se dá através do suporte que o programa fornece para tomadas de decisões sobre investimentos de infraestrutura, tecnologias e caminhos para transição energética que contemplem tais políticas.

Em conclusão, o *OSeMOSYS* pode ser um ótimo aliado a pesquisadores, engenheiros, governos e instituições em geral, que buscam ideias, críticas e análises para nortear suas decisões e estratégias no campo energético.

2.2 A INTERFACE *clicSAND*

Por ser a interface utilizada neste trabalho, é interessante que se faça uma breve introdução sobre a *clicSAND*. Ela se apresenta como o ambiente de simulação mais fácil de se compreender e utilizar o modelo de otimização *OSeMOSYS*. Todo o modelo sobre o sistema energético é baseado neste ambiente.

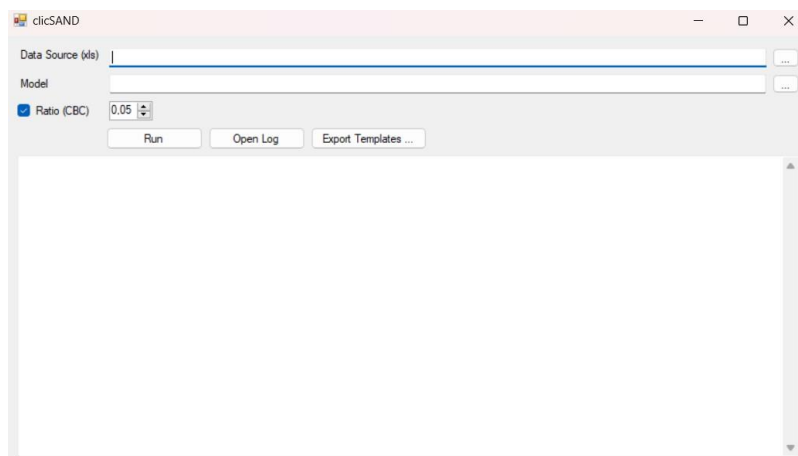
A interface se suporta no *Microsoft Office*. Primeiramente insere-se os dados referentes ao sistema energético em uma planilha do Excel. Em seguida, o solucionador atua buscando uma otimização para o problema, os resultados são criados em um banco de dados Access e, por fim, é criado um documento também em Excel para visualização dos resultados em formas de tabelas e gráficos. Na seção 2.9 deste trabalho, será fornecido um passo-a-passo para utilização do programa.

A *clicSAND* permite modelar até 200 tecnologias, 50 *commodities* (ou seja, recursos energéticos), 5 tipos de emissões e 1 região. Além disso, todos os parâmetros utilizados nas versões consideradas mais avançadas do *OSeMOSYS* foram alocados na *clicSAND*. Isso permite que o programa seja mais acessível a diversos grupos de usuários, sem deixar de lado a competência que o sistema tem em modelar um contexto energético.

Vale lembrar também que, como dito anteriormente, por se tratar de um ambiente de trabalho em Excel e Access, torna-se muito mais fácil e intuitivo a compreensão do seu uso, resultando em uma ampla comunidade de usuários de diversos setores e níveis de conhecimento.

A seguir, a Figura 3 mostra o ambiente executável *clicSAND*.

Figura 3 - Ambiente executável *clicSAND*.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Também será mostrado nas Figura 4 e Figura 5, como é o ambiente de inserção de dados em Excel para fins de ambientação com as telas do programa.

Figura 4 - Folha de parâmetros.

Parameter	REGION	TECHNOLOGY	EMISSION	MODE OF OPERATION	FUEL	TIMESLICE	STORAGE	REGION2	Time Independent variables
77 AvailabilityFactor	RE1	MINHYD							1
1701 CapacityFactor	RE1	MINHYD				S101			1
1702 CapacityFactor	RE1	MINHYD				S102			1
1703 CapacityFactor	RE1	MINHYD				S103			1
1704 CapacityFactor	RE1	MINHYD				S104			1
1705 CapacityFactor	RE1	MINHYD				S105			1
1706 CapacityFactor	RE1	MINHYD				S106			1
1707 CapacityFactor	RE1	MINHYD				S107			1
1708 CapacityFactor	RE1	MINHYD				S108			1
1709 CapacityFactor	RE1	MINHYD				S109			1
1710 CapacityFactor	RE1	MINHYD				S110			1
1711 CapacityFactor	RE1	MINHYD				S111			1
1712 CapacityFactor	RE1	MINHYD				S112			1

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 5 - Folha de “SETS”.

Technologies		Commodities		Emissions	
Code	Description	Code	Description	Code	Description
BACKSTOP	Backstop Technology	ELC003	Electricity After Distribution	EMCO2	Emission factor for CO2
MINCOA	Coal Domestic Production	COA	Coal Fuel	EMCH4	Emission factor for methane
MINOIL	Oil Domestic Production	OIL	Oil Fuel	EMFGA	Emission factor for Fluorinated gases
MINNGS	Natural Gas Domestic Production	NGS	Natural Gas Fuel	EMN2O	Emission factor for Nitrous Oxide
IMPCOA	Import of Coal	ELC001	Electricity from Power Plants	EMREN	Emission factor for NET targets
IMPIL	Import of Oil	ELC002	Electricity After Transmission		
IMPNGS	Import of Natural Gas	BIO	Biomass		
PWRCOA	Coal Power Plant	HYD	Hydro		
PWROHC	Light Fuel Oil Power Plant	GEO	Geothermal		
PWRNGS01	Gas Power Plant (CCGT)	URN	Uranium		
PWRNGS02	Gas Power Plant (SCGT)	COM011	Additional Fuel		
PWRTEN	Electricity Transmission	COM012	Additional Fuel		
PWRDST	Electricity Distribution	COM013	Additional Fuel		
MINBIO	Biomass Extraction	COM014	Additional Fuel		
PWRBIO	Biomass Power Plant	COM015	Additional Fuel		
		COM016	Additional Fuel		

Region	
Code	Description
RE1	Region 1

ResultsPath "C:_res\csv" (change it before running)

"C:\Users\Carla\Desktop\Run\2025\UNICLEWSOT2B\res\csv"

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

2.3 OBJETIVOS DO OSeMOSYS

O crescimento constante da demanda por energia é visível. O desenvolvimento industrial, comercial, residencial, agrícola, de transportes ou outro, atrelado às restrições de investimentos, limitações de recursos por geografia e outros fatores, traz à tona, a necessidade de se ter um controle e planejamento das transformações de energia a fim de garantir a manutenção de determinada rede energética.

Também é importante salientar que nossa comunidade vive em tempos nos quais a necessidade de se adequar o modo de viver aos limites da natureza se torna essencial, visto que

as mudanças climáticas estão realmente acontecendo e impactarão intensamente nossa qualidade de vida e principalmente das gerações futuras.

Contudo, o fato mais importante para servir de motivação para a criação do *OSeMOSYS* foi a necessidade de se ter um software democrático que atendesse a todas camadas intelectuais da área de planejamento energético, desde de estudantes iniciantes até doutores e pesquisadores mais experientes. Por isso, segundo Howells *et al.* (2011), o *OSeMOSYS* foi criado com o objetivo de preencher algumas lacunas na gama de ferramentas disponíveis para a comunidade do ramo de projetos energéticos. Segundo o mesmo autor, existe um conjunto de softwares para estes fins, porém é necessário investimentos muitas vezes altos na aquisição desses programas, em recursos humanos, além da estrutura desses aplicativos não ser tão facilmente integrada com outros softwares.

Outra meta do *OSeMOSYS* é tornar as informações, seja de entrada, saída ou a lógica de programação, mais transparentes, através do modelo de código aberto. Isso concede aos pesquisadores a verificação de resultados, permitindo a reprodução das respostas por outros acadêmicos ou partes interessadas.

2.4 COMMODITIES

Em *OSeMOSYS* as *commodities* são definidas como recursos de entrada e saída ou produtos da extração, geração ou transformação de energia para fins energéticos, ou seja, são os combustíveis encontrados em uma matriz energética. Essas variáveis são importantes para entender como a energia é utilizada, desde a geração até o consumo. Além disso, cada *commodity* é inscrita no sistema com características diferentes umas das outras sob o ponto de vista de alguns parâmetros, como, demanda, oferta e seus preços.

Aqui é citado algumas *commodities* como exemplo:

- Biomassa;
- Carvão;
- Gás Natural;
- Diesel;
- Urânio;
- Desperdícios;
- Água;
- Bagaço;

- GLP (Gás Liquefeito de Petróleo);
- Calor;
- Querosene;
- Sol;
- Vento;
- Eletricidade.

Neste trabalho serão utilizadas principalmente as *commodities* biomassa, diesel, urânio, água, sol e vento, além da eletricidade após a geração e após a transmissão. Também vale lembrar que a interface *clicSAND* permite inserir 50 *commodities*, o que é mais que o suficiente para os objetivos deste projeto. No entanto, as escolhas de matérias-primas específicas variam de acordo com as características do sistema energético pretendido e estudado.

2.5 REGIÕES

As regiões fazem parte do grupo de SETS usados para modelar e representar áreas geográficas de um sistema energético dentro do modelo *OSeMOSYS*. Estas áreas podem variar de tamanhos, sendo representadas por países, continentes, províncias ou estados, a depender das metas de estudo.

Neste caso, como está sendo manipulada a interface *clicSAND*, é permitida a utilização apenas de 1 região, porém outras interfaces habilitam o usuário a modelar um número maior de regiões. Isso contribui para estudos mais realistas em determinadas situações, tal como nas quais se tem exportação e importação de energias entre as localidades preestabelecidas.

No caso de estudos que tem como objetivo principal ou secundário a análise de mercados de energia, é interessante que se tenha mais regiões disponíveis para o usuário, pois permite a ele fazer inspeções mais robustas das interdependências ligadas a oferta e demanda, preços, infraestrutura energética, políticas e outras restrições. Isso pode ajudar no ajuste de preços de energia, formulação de estratégias de geração e tipos de contratos de energia. Não apenas isso, mas contribui também para a escolha de melhores políticas públicas ou privadas para investimentos em transmissão, controle e garantia no fornecimento de energia a todas as regiões.

2.6 EMISSÕES

As emissões são variáveis que estão muito em alta nos dias atuais, principalmente por conta das notícias e reais impactos no aquecimento global. Elas podem servir como um parâmetro de avaliações sobre o impacto ambiental que os diversos tipos de tecnologias causam na natureza e sociedade.

Pode-se considerá-las como subprodutos das transformações de energia. Existe uma variedade de gases de efeito estufa, porém na *clicSAND* é permitido o uso apenas de 5 emissões. Em *OSeMOSYS* modela-se alguns componentes, dentre eles, dióxido de carbono (CO_2), gás metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), dióxido de enxofre (SO_2), entre outros componentes.

Esses parâmetros normalmente são modelados representando uma quantidade de emissão associada a produção de uma unidade de energia. Eles podem alternar de acordo com tipo de tecnologia de transformação, da *commodity* envolvida, eficiência dos processos e limites estabelecidos ao longo do tempo.

Um bom estudo e avaliação das emissões pode ser extremamente interessante para boas escolhas de políticas que irão nortear um projeto energético. A escolha de estratégias de transição energética se passa pela investigação desses subprodutos. Essas escolhas podem ter vários resultados, comprometer a saúde da natureza, ser um indicador de desenvolvimento de determinada região, ajudar a implementação de tecnologias mais limpas ou eficiência energética.

A título de informação, neste trabalho será disposto apenas a emissão de dióxido de carbono (CO_2).

2.7 TECNOLOGIAS

As tecnologias em *OSeMOSYS* são definidas como elementos que representam os meios pelos quais as energias são produzidas, convertidas, armazenadas ou consumidas em um sistema energético. Talvez o conceito de tecnologia dentro deste capítulo seja o mais importante a ser compreendido porque é a estrutura que representa de fato os diversos recursos energéticos e infraestrutura que modelam o sistema.

Elas podem ser descritas sob alguns setores, como:

- Fontes Primárias (Extração e Potencial):
 - Potencial Eólico;

- Potencial Solar;
- Potencial Hidráulico;
- Extração de Urânio;
- Produção de Gás Natural;
- Produção de Diesel;
- Extração de Carvão.
- Armazenamento:
 - Baterias;
 - Célula Combustível;
 - Usinas Hidrelétricas Reversíveis.
- Conversão de Energia:
 - Geração Hidrelétrica;
 - Geração Termelétrica a Gás;
 - Geração Termelétrica a Biomassa;
 - Geração Eletronuclear;
 - Geração Solar Fotovoltaica;
 - Geração Eólica;
- Infraestrutura:
 - Linhas de Transmissão;
 - Linhas de Distribuição.

2.8 CONVENÇÃO DE NOMENCLATURA

Para dar continuidade ao estudo de *OSeMOSYS* é necessário que se tenha em mente que o programa reconhece alguns parâmetros predefinidos por seus construtores. Não se pode escrever de qualquer forma os nomes das tecnologias, *commodities* ou emissões, por isso deve-se saber algumas nomenclaturas que vão facilitar e permitir o uso do software de forma mais fluida.

De forma genérica ela funciona da seguinte forma:

[categoria][setor][commodity][número]

Por exemplo, para definir uma planta hidrelétrica no programa, escreve-se a tecnologia como PWRHYD que em inglês significa *Hydro Power Plant*. Para a extração de carvão, utiliza-se MINCOA. E para um veículo a diesel, a representação seria dada por TRADSL.

A seguir, tem-se uma lista de determinadas nomenclaturas para *commodities*, tecnologias, emissões e região.

- *Commodities*:
 - Biomassa: BIO;
 - Carvão: COA;
 - Gás Natural: NGS;
 - Diesel: DSL;
 - Óleo Combustível: HFO;
 - Urânio: URN;
 - Resíduos: WAS;
 - Carvão Vegetal: CHC;
 - Petróleo Bruto: CRU;
 - Geotérmica: GEO;
 - Calor: HET;
 - Água: HYD;
 - Bagaço: BAG;
 - Querosene: KER;
 - Energia Solar: SOL;
 - Energia Eólica: WND;
 - Gás Liquefeito de Petróleo: LNG;
 - Outros Hidrocarbonetos: OHC;
 - Eletricidade depois da Geração: ELC001;
 - Eletricidade depois da Transmissão: ELC002;
 - Eletricidade depois da Distribuição: ELC003.
- Tecnologias:
 - Geração: PWR;
 - Industrial: IND;
 - Residencial: RES;
 - Transportes: TRA;
 - Agricultura: AGR;
 - Comercial: COM;
 - Mineração/Extração: MIN;
 - Importação: IMP;
 - Transformação: UPS;

- Transmissão de Energia: TRN;
- Distribuição de Energia: DIST.
- Emissões:
 - Emissão de Dióxido de Carbono: EMIC02;
 - Emissão de Metano: EMICH4;
 - Emissão de Óxido Nitroso: EMIN2O.
- Região:
 - Região 1: RE1.

2.9 PASSO-A-PASSO PARA UTILIZAÇÃO DE *OSeMOSYS*

Para finalizar este capítulo será demonstrado um passo a passo de como criar um projeto no *OSeMOSYS*. Sugerimos acessar o canal do *Youtube* “#CCG – Climate Compatible Growth” e ir até a playlist “*Tutorials for Energy and Flexibility Modelling: OSeMOSYS & FlexTool*”, (TUTORIALS FOR ENERGY AND FLEXIBILITY MODELLING: OSEMOSESYS & FLEXTOOL, 2022). Neste local o interessado poderá ver com mais propriedade e completude, questões de variáveis abordadas e alguns cenários. Também aconselhamos acessar o curso “*Energy and Flexibility Modelling: OSeMOSYS & FlexTool*” da plataforma *The Open University*, (OPEN UNIVERSITY, s.d.). Tanto os vídeos quanto o curso são importantes, pois fornecerão ao usuário materiais de apoio chamados de *Hands-On*, que os problemas propostos pelo curso como um treino, e nele é possível encontrar um material de apoio, como base de dados para as inserções de informações na ferramenta.

Para começar o curso citado acima, acesse o link <https://www.open.edu/openlearncreate/course/view.php?id=6817> (OPEN UNIVERSITY, s.d.) e ele abrirá a página da Figura 6. Crie sua conta na plataforma e siga as instruções do próprio site.

Ademais, todo passo a passo mostrado a seguir terá como ambiente de execução o sistema operacional *Microsoft Windows 11*.

Figura 6 - Página do curso *Energy and Flexibility Modelling: OSeMOSYS & FlexTool*.

Course
Energy and Flexibility Modelling: OSeMOSYS & FlexTool
 You're on this course ✓

About this course
 32 hours study
 Level 2: Intermediate
 Gain a digital badge

Ratings ★★★★★
 5 out of 5 stars

You're on this course
 You can download or print an Activity Record at any point during this course. If you complete all sections you will gain a free 'Statement of Participation' / badge(s). These are available within your profile.

[View your profile](#)

Share this course

Course description | Course content | Course reviews

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

2.9.1 Instalação do Executável *clicSAND*

Agora vamos às instruções para fazer o download até a utilização do *OSeMOSYS* de fato. Primeiro acesse a página osemosys.org, clique em “*Get Started*” no canto superior direito e depois em “*Interfaces*”, como mostrado na Figura 7.

Figura 7 - Tela inicial do site *OSeMOSYS*.

OSeMOSYS
 Open Source Energy Modelling System

HOME ABOUT APPLICATIONS **GET STARTED** NEWS AND EVENTS

INTERFACES
 UNDERSTANDING THE ENERGY SYSTEM

OSeMOSYS
 Open Source Energy Modelling System

Part of **PTIMUS** Practice 3
www.optimus.community

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Após isso, aparecerá uma outra tela, mostrada na Figura 8. Escolha a interface *clicSAND* clicando no link de “*Install*”, isso levará o usuário para outra tela no site zenodo.org conforme a Figura 9. Na tela da Figura 9, clique no link destacado “*Hands-on 1 (3.1.).pdf*”. Após clicar neste link, será feito um download de um arquivo em pdf no qual consta todas as informações para baixar e instalar a interface *clicSAND*, incluindo o solucionador GLPK e o *.NET Runtime*.

Antes de qualquer coisa, certifique-se de que o computador esteja com idioma inglês do Reino Unido. Caso não esteja, ao menos por um primeiro momento, coloque todas as opções de idioma, de exibição e/ou configurações, no inglês do Reino Unido para evitar falhas nas instalações dos programas e na primeira rodagem. Para isso, caso esteja utilizando o *Windows 11*, entre nas configurações do computador, selecione “Hora e Idioma” e modifique todas as opções para inglês do Reino Unido.

Figura 8 - Tela de interfaces do site *OSeMOSYS*.

INTERFACES
Description of the current and previous interfaces of OSeMOSYS

otoole
otoole is a Python package which provides a command-line interface for users of OSeMOSYS. The aim of the package is to provide a community resource which centralises the commonly used pre- and post-processing steps around the use of OSeMOSYS. otoole aims to support different ways of storing input data and results, including csv files, databases, datapackages and Excel workbooks, as well as different implementations of the OSeMOSYS model. otoole is suitable for **advanced users**. *Install and use OSeMOSYS with otoole.*

MoManI
The Model Management Infrastructure (MoManI), is a browser-based open source interface for energy systems modelling. MoManI helps energy planners to construct models, manipulate data and modify, add or delete equations, operate OSeMOSYS, design and analyze scenarios, and finally visualize results. Its novel structure allows different teams to collaborate simultaneously from around the globe. Each user can easily edit and update any part of the modelling process: from the underlying mathematical equations of OSeMOSYS through to the visualization of results. MoManI is focused on **intermediate users**. *Install and develop a simple OSeMOSYS model with MoManI.*

clicSAND
clicSAND (Simple And Nearly Done) is a Graphical User Interface (GUI) for OSeMOSYS. It focuses on the **beginner user**. You input data via an Excel spreadsheet, then select open-source solvers (GLPK and CBC) to run the model. Results are pushed into an Access database, and an Excel template to visualize results in a shareable format. To use it, you'll need Windows 10, 8GB RAM, and MS Office. The Excel spreadsheet supports up to 200 technologies, 50 commodities, and 5 types of emissions. (Currently built for Windows PCs, an Apple version is being tested.) *Install and develop a simple OSeMOSYS model with clicSAND (as part of an Open University course)*

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 9 - Tela para baixar *Hands-On 1*.

Hands-on 1: Energy and Flexibility Modelling

Cannone, Carla¹; Allington, Lucy²; Howells, Mark³

Show affiliations

Hands-on exercise 1 part of the Energy and Flexibility Modelling Course.

This exercise guides the user in the installation process of clicSAND software, glpk solver and .NET Runtime.

Files

Hands-on 1 (3.1.).pdf

Página: 4 de 9

Tamanho automático

4. If you see this message, click 'more info' then 'run anyway'.

Files (434.4 kB)

Name	Size	Download all
Hands-on 1 (3.1.).pdf md5:2c43f7c5528f9d01e987bb2851290274	434.4 kB	Preview Download

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

No arquivo baixado clique no link “clicSANDinstaller.exe” como visto na Figura 10.

Figura 10 - Tela do link para instalação do *clicSAND*.

Install clicSAND Software

Important requirement: Please make sure to set your regional settings to English (United Kingdom) using the following:

Settings -> Region -> Regional Settings -> Current format: English (United Kingdom).

Then restart your computer.

This ensures that the Decimal (,) and Thousands (,) separators are compatible with the tool used in the Hands On Exercises.

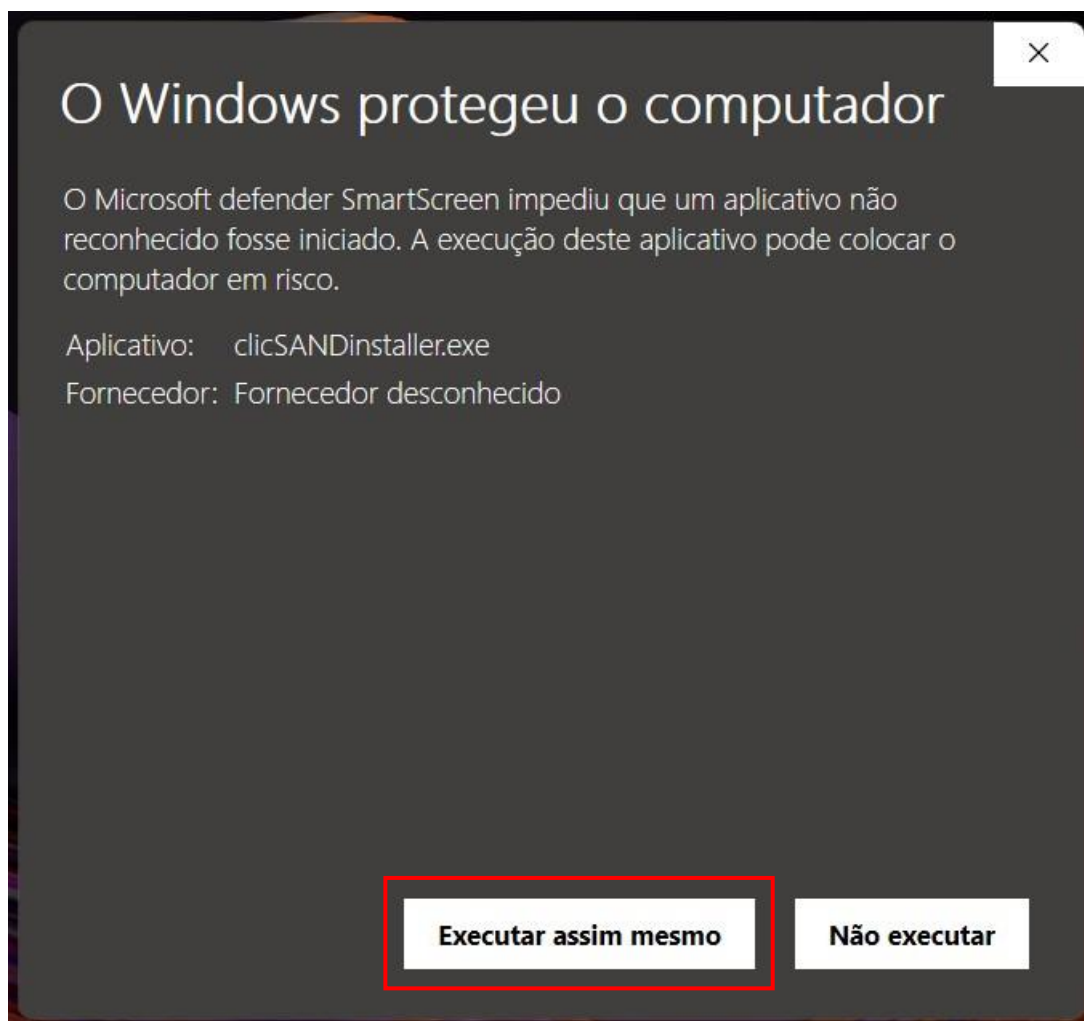
1. Download the installer by clicking this link [clicSANDinstaller.exe](#) (hosted on GitHub: [link](#)):

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A fim de evitar problemas com segurança do sistema operacional ou antivírus, é aconselhado desativar os recursos de proteção para poder instalar o executável *clicSAND*.

Após o download de arquivo, clique sobre ele duas vezes. Caso abra a tela da Figura 11 clique em “Executar assim mesmo”.

Figura 11 - Proteção do sistema operacional.

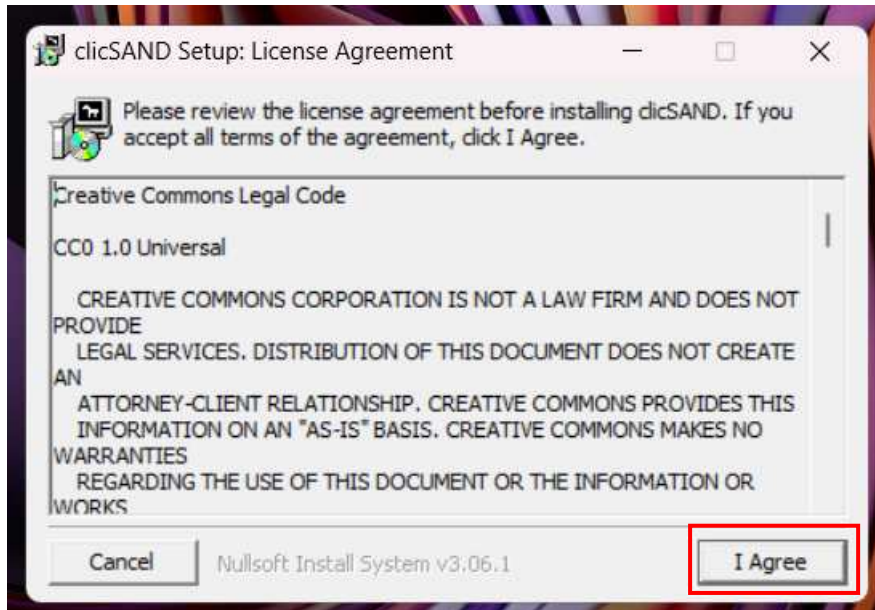


Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

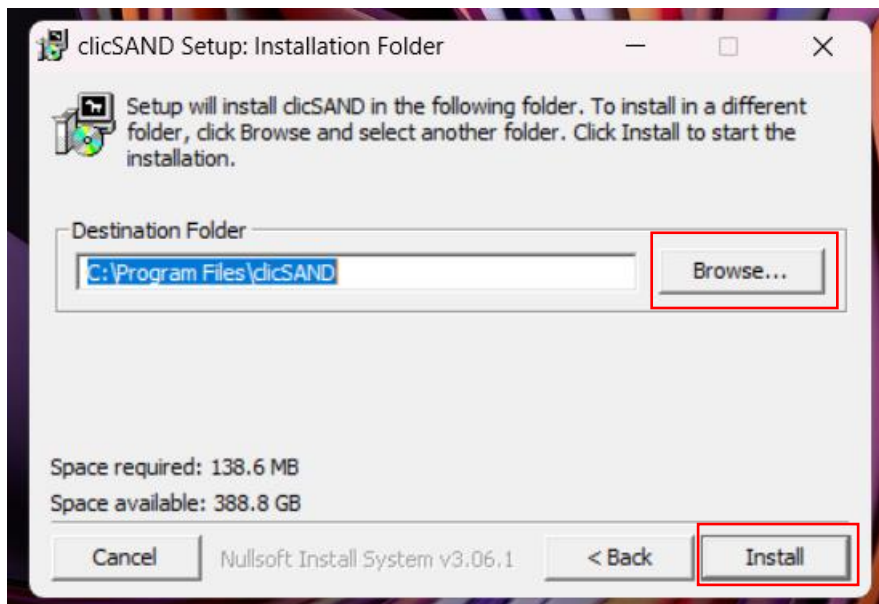
Depois clique em “Sim” na próxima tela que abrir para permitir que o aplicativo faça alterações no seu dispositivo.

Ao final disso, chega-se realmente nas telas de instalação do *clicSAND*, visto nas Figura 12 e Figura 13, respectivamente.

Clique em “*I agree*” para aceitar os termos de acordo. Depois selecione o local de instalação que desejar e clique em “*Install*”. Ao final da instalação clique em “*Close*”. Depois disso o *clicSAND* estará instalado.

Figura 12 - Tela 1 de instalação *clicSAND*.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 13 - Tela 2 de instalação *clicSAND*.

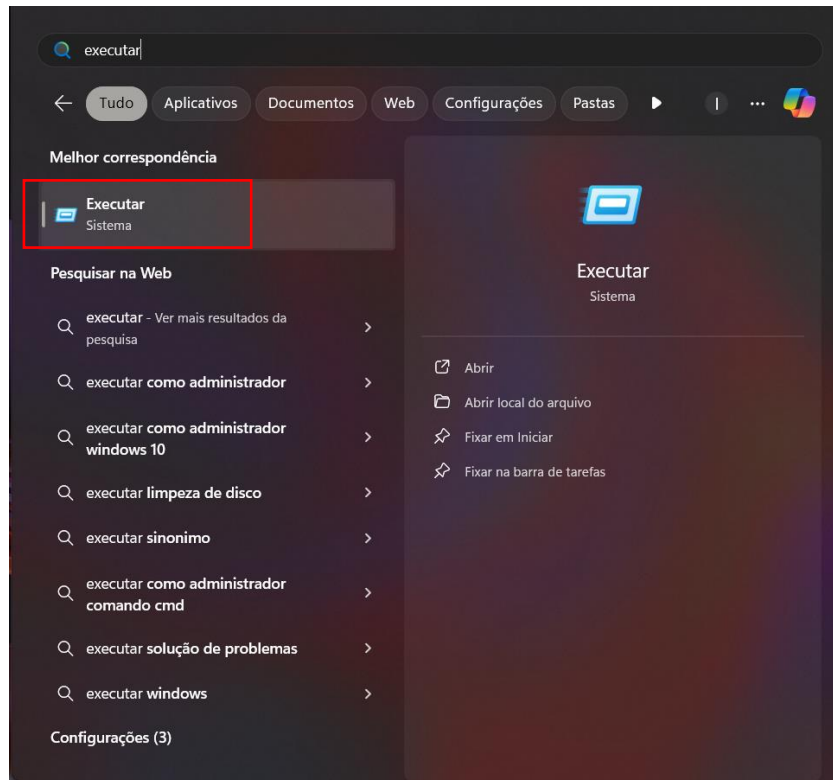
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

2.9.2 Instalação do *.NET Runtime*

O *.NET Runtime* é um mecanismo de aplicativos e precisamos dele na versão 4.7.2 em diante para executar o *clicSAND*. Antes de instalar este mecanismo, será mostrado como averiguar se o computador do usuário possui este instrumento.

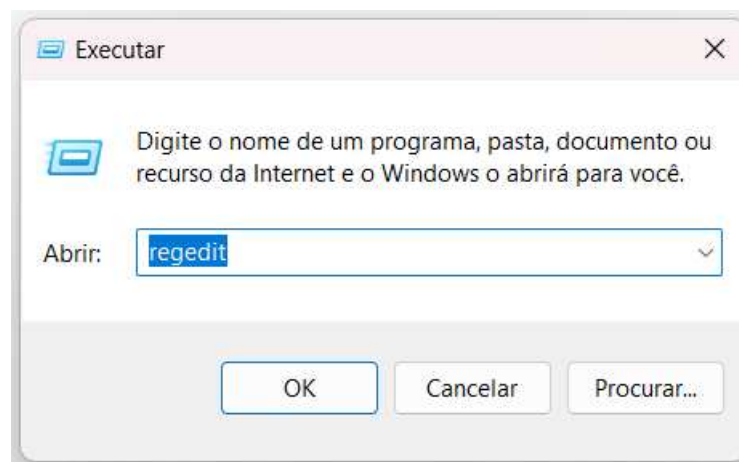
Para isso, primeiro clique na tecla de “Windows” do computador, caso seu teclado não tenha essa tecla, entre no menu “Iniciar” e procure por “Executar”. Escreva “regedit” e clique em “OK”, como mostram as Figura 14 e Figura 15.

Figura 14 - Menu iniciar do Windows.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2024).

Figura 15 - Inserindo comando "regedit".

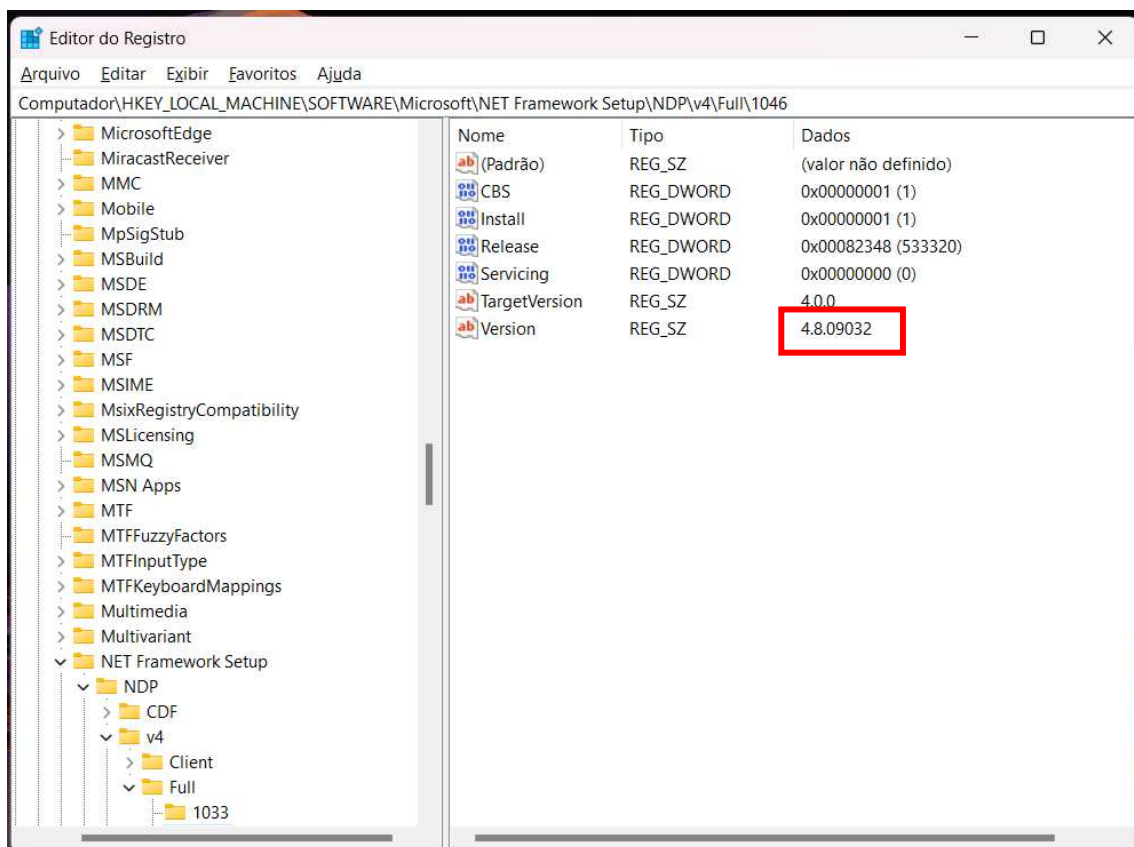


Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Após isso, aparecerá uma tela pedindo permissão para o aplicativo fazer alterações no seu dispositivo. Clique em “Sim”.

O Windows abrirá uma tela chamada “Editor do Registro” (Figura 16). Verifique se aparecerá o caminho “HKEY_LOCAL_MACHINE\SOFTWARE\Microsoft\NET Framework Setup\NDP\v4\Full”. Se a última parte do caminho chamada de “Full” não estiver escrita, o usuário não contém o *.NET Runtime* 4.5 ou posterior instalado. Caso o local esteja completo, veja a versão que consta no seu computador, isso pode ser visto no destaque em vermelho da imagem abaixo. Caso tenha a versão 4.7.2 ou posterior, não é necessário a instalação deste mecanismo.

Figura 16 - Tela editor do registro.

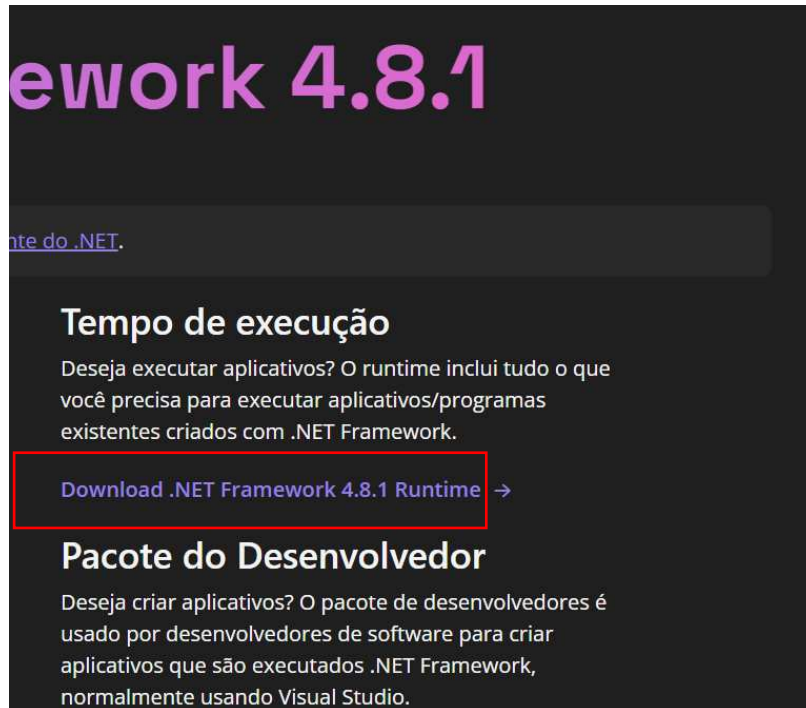


Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Caso não tenha o *.NET Runtime* necessário instalado, entre no navegador e digite <https://dotnet.microsoft.com/pt-br/download/dotnet-framework/net481> (MICROSOFT, s.d.) ou pesquise por *.NET Runtime* em algum motor de pesquisa do navegador. Aparecendo a tela a seguir, clique em “Download *.NET Framework 4.8.1 Runtime*” conforme Figura 17 e siga as instruções de instalação da Microsoft. O sistema *clicSAND* sugere a instalação da versão 4.7.2,

conforme o curso aconselhado neste trabalho, porém é sugerida a instalação da versão mais recente e na data no qual este documento foi escrito, a versão mais recente verificada é a 4.8.1.

Figura 17 - Tela download *.NET Runtime*.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Depois de feito o *download*, clique em permitir que o aplicativo faça alterações no dispositivo. Caso o computador já tenha uma versão mais atualizada do programa, será informado ao usuário que o sistema operacional já possui uma versão mais recente instalada.

2.9.3 Instalação do GLPK

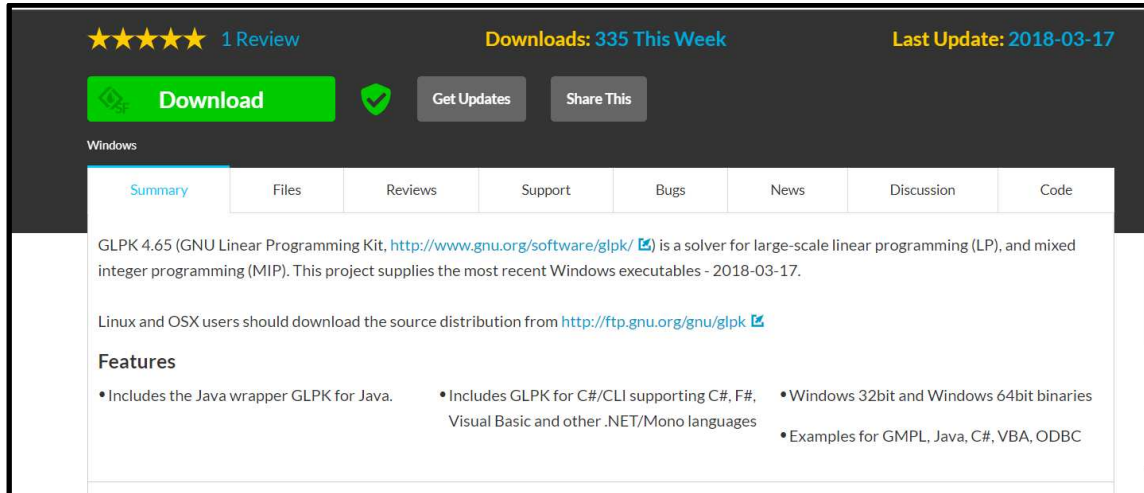
Para instalação do solucionador GLPK sugere-se seguir o passo a passo mostrado no documento “*GLPK Installation guide for Windows 10 users*” que traduzindo ficará “Guia de Instalação do GLPK para usuários do Windows 10” que também valerá para *Windows 11*. Este arquivo pode ser encontrado na descrição do vídeo alocado na plataforma do *Youtube* com o nome de “*OSeMOSYS & FlexTool course: Hands-on 1 (Windows)*”.

De qualquer forma, vamos ensinar como instalar este solucionador neste trabalho.

Primeiro, conforme o manual, verifique o sistema operacional do computador, olhando principalmente se é de 32 ou 64 bits. Posteriormente faça o *download* do solucionador pelo

seguinte link: <https://sourceforge.net/projects/winglpk/>, (WINGLP, s.d.). Em seguida clique em “Download” conforme Figura 18.

Figura 18 - Tela do site do GLPK.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Depois disso, extraia os arquivos que estão em uma pasta compactada para um local do computador de sua preferência e mova a pasta que foi extraída e tem o nome de “winglpk-4.65” para o local “unidade (C:)” do computador. É importante salientar que o número final do nome da pasta “winglpk-4.65” pode variar de acordo com as atualizações e versões disponíveis do GLPK, portanto independentemente do número final contido no nome desta pasta referida, continue com as instruções fornecidas neste trabalho.

Abra a pasta “winglpk-4.65” e depois abra a pasta “glpk-4.65”. Após isso, podem ser encontradas várias pastas e deve-se ter atenção para duas: “w32” e “w64”, conforme mostra a Figura 19.

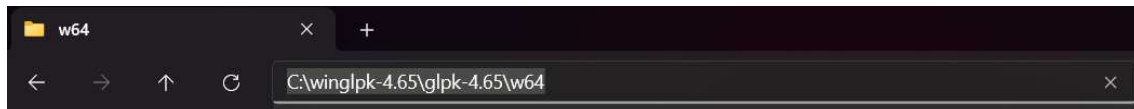
Figura 19 - Pastas w32 e w64.

Nome	Data de modificação	Tipo	Tamanho
doc	29/07/2023 14:35	Pasta de arquivos	
examples	29/07/2023 14:36	Pasta de arquivos	
m4	29/07/2023 14:36	Pasta de arquivos	
patch	29/07/2023 14:36	Pasta de arquivos	
src	29/07/2023 14:36	Pasta de arquivos	
swig	29/07/2023 14:36	Pasta de arquivos	
swig-cli	29/07/2023 14:36	Pasta de arquivos	
w32	29/07/2023 14:36	Pasta de arquivos	
w64	29/07/2023 14:36	Pasta de arquivos	
aclocal.m4	29/07/2023 14:35	Arquivo M4	35 KB
AUTHORS	29/07/2023 14:35	Arquivo	2 KB
autogen.sh	29/07/2023 14:35	Arquivo SH	1 KB
Build_WinGLPK	29/07/2023 14:35	Arquivo em Lotes...	5 KB
ChangeLog	29/07/2023 14:35	Arquivo	134 KB

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Baseado no sistema operacional, abra a pasta que lhe convém e copie o caminho como na Figura 18. No caso da Figura 20, o sistema operacional escolhido foi de 64 bits. Caso o do usuário seja de 32 bits, escreva “w32” no lugar de “w64”.

Figura 20 - Caminho da pasta w32 ou w64.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

O próximo passo é clicar com o botão direito em “Este Computador” e selecionar “Propriedades”. Após isso será exibida a seguinte tela (Figura 21).

Figura 21 - Tela de propriedades do sistema.

The image shows the Windows System Information window. The title bar reads "Especificações do dispositivo" with a "Copiar" button and an expand/collapse arrow. The main content area lists the following specifications:

- Nome do dispositivo: ilp
- Processador: Intel(R) Core(TM) i7-10750H CPU @ 2.60GHz 2.59 GHz
- RAM instalada: 16,0 GB (utilizável: 15,9 GB)
- ID do dispositivo: 45CEC3F1-ACA9-487A-B6C5-B0887E69350C
- ID do Produto: 00327-31063-19388-AAOEM
- Tipo de sistema: Sistema operacional de 64 bits, processador baseado em x64
- Caneta e toque: Nenhuma entrada à caneta ou por toque disponível para este vídeo

At the bottom, there are four links: "Links relacionados", "Domínio ou grupo de trabalho", "Proteção do sistema", and "Configurações avançadas do sistema". The "Configurações avançadas do sistema" link is highlighted with a red box.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Clique em “Configurações avançadas do sistema”. De forma subsequente será mostrada a tela da Figura 22. Confira se está selecionado o campo “Avançado” e depois clique em “Variáveis de Ambiente”.

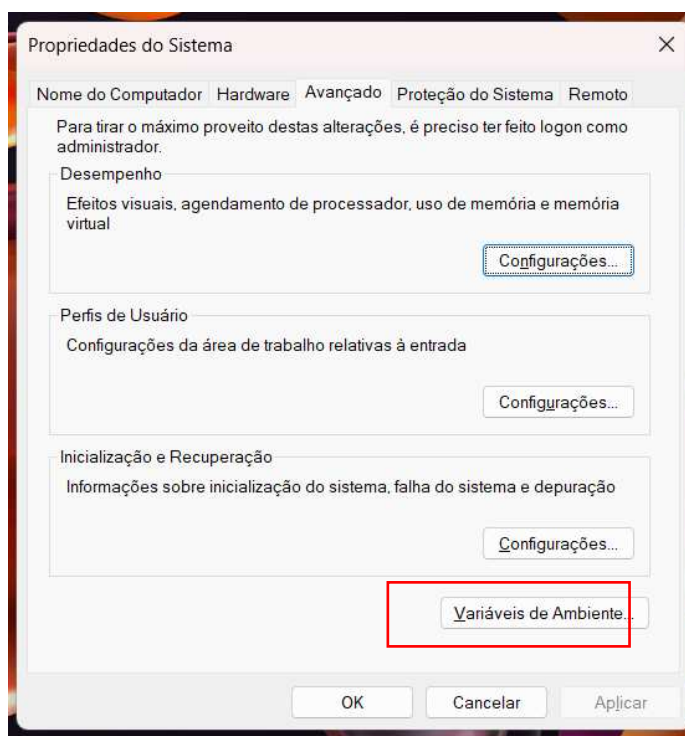
Com isso vai ser mostrada a tela representada pela Figura 23. Nela clique em “Path” e depois em “Editar”.

Será exibida mais uma tela. Selecione o último campo em branco como destacado em vermelho na Figura 24 e cole o caminho que foi copiado em uma das instruções anteriores (Figura 18). Depois aperte “OK” nas janelas que foram abertas durante o processo.

Para finalizar e verificar se a instalação do solucionador deu certo, abra o “prompt” de comando do *Windows*. Para isso, basta clicar na tecla de *Windows* e digitar “cmd”, depois escreva o comando “glpsol”. Deverá aparecer uma tela conforme a Figura 25.

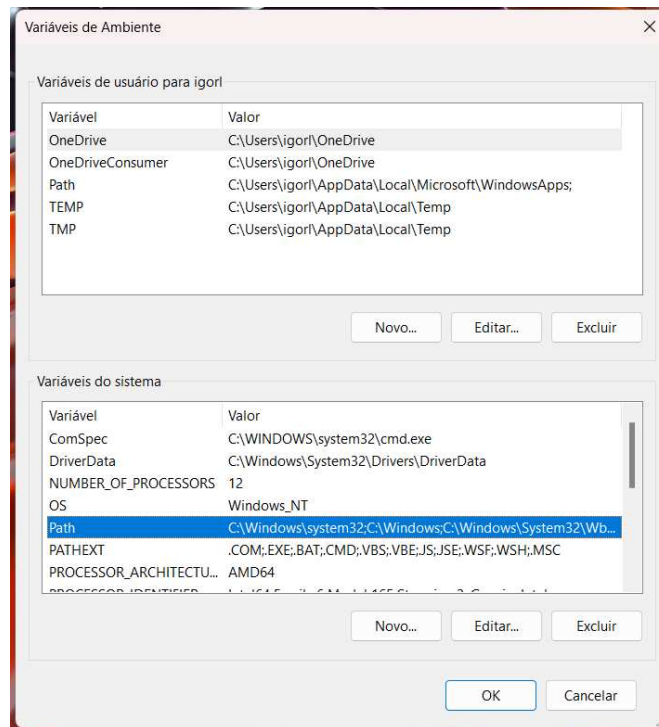
Com isso, são finalizadas as instalações do executável *clisAND*, do *.NET Runtime* e do solucionador *GLPK*.

Figura 22 - Propriedades do sistema.



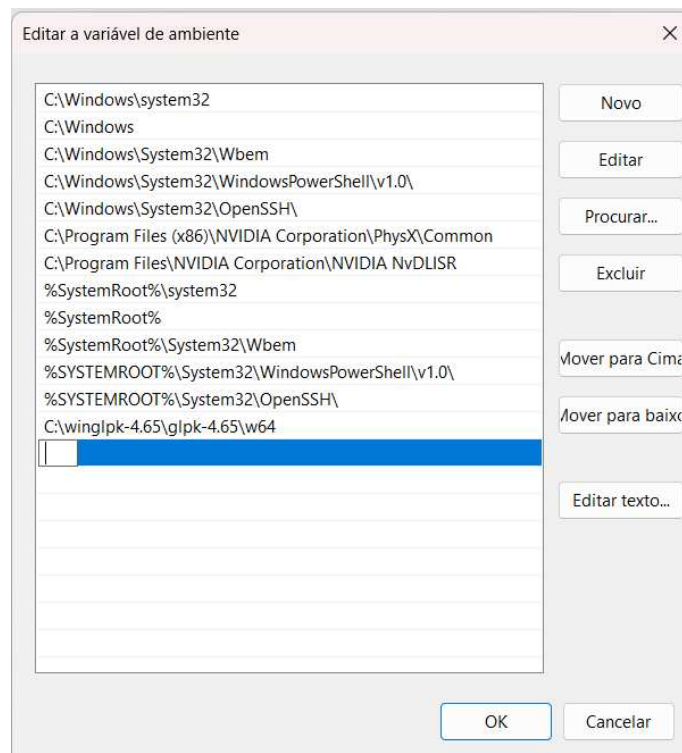
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 23 - Tela de variáveis do ambiente.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 24 - Edição de variável de ambiente.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 25 - Prompt de comando GLPK.

```

Microsoft Windows [versão 10.0.22631.3296]
(c) Microsoft Corporation. Todos os direitos reservados.

C:\Users\igorl>glpsol
GLPSOL: GLPK LP/MIP Solver, v4.65
No input problem file specified; try glpsol --help

C:\Users\igorl>

```

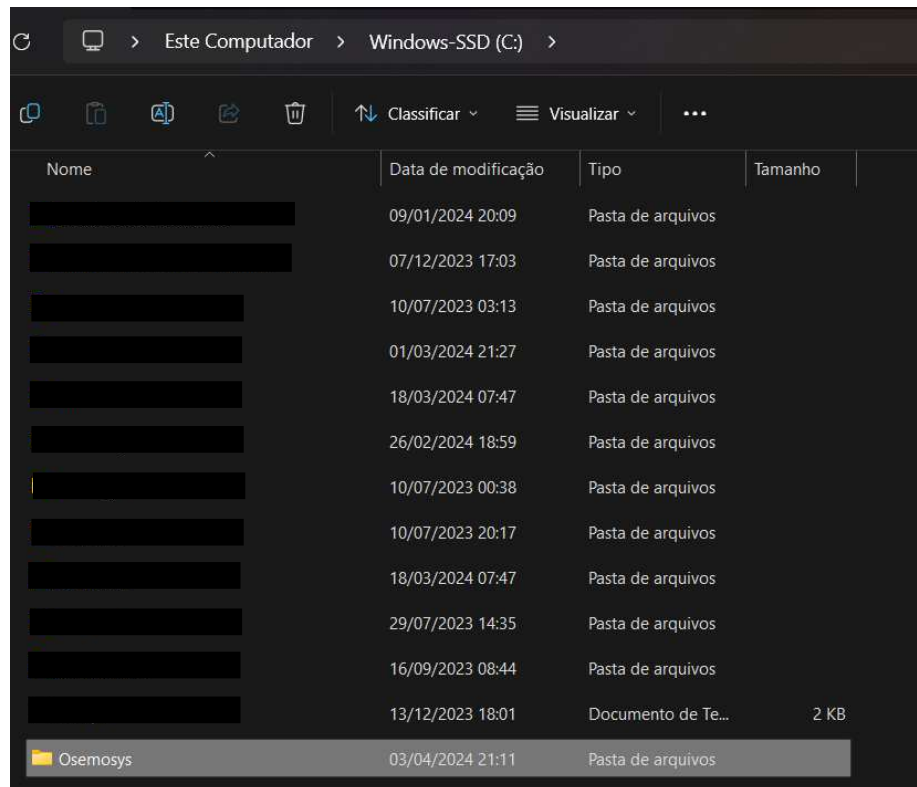
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

2.9.4 Execução e Utilização de *OSeMOSYS*

Neste subcapítulo será mostrado de fato como utilizar o *OSeMOSYS* em sua interface *clicSAND* e montar um projeto básico.

Para isso, primeiro crie uma pasta em um local escolhido arbitrariamente pelo usuário. A fim de exemplo será criada no disco local C uma pasta com o nome “Osemosys” (Figura 26).

Figura 26 - Disco local C:



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

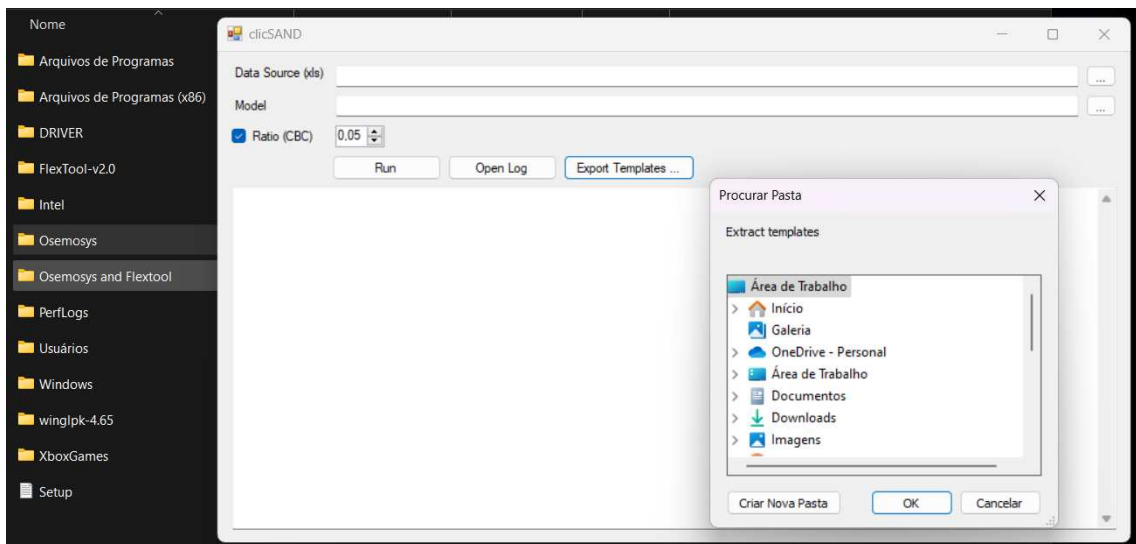
Em seguida, abra o arquivo executável *clicSAND*. Clique em “*Export Templates*” como na figura abaixo.

Ao clicar em “*Export Templates*”, abrirá outra janela, conforme mostra a Figura 27. Nesta tela, escolha a pasta que foi criada anteriormente e clique em “OK”.

Após feito isso, pode fechar a janela da *clicSAND* e vá até a pasta criada. Verifique se foram criados quatro arquivos conforme Figura 28.





O arquivo “*CCG-SAND Interface v.12*” é o arquivo Excel que será usado como entrada de dados e que contém os macros para uso do programa. Já o “*OSeMOSYS_code*” é o código fonte com todas as equações que são utilizadas pelo otimizador. O arquivo “*Results Database*” é a base de dados do tipo Access que servirá como alimentação para o arquivo “*ResultsTemplate*” para amostragem de resultados.

Figura 27 - Tela da *clicSAND*.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 28 - Tela de arquivos criados pré-otimização.

Nome	Data de modificação	Tipo	Tamanho
 CCG-SAND Interface v.12	09/03/2021 13:48	Planilha Habilitada para Macros do Micr...	44.742 KB
 OSeMOSYS_code	09/03/2021 13:48	Documento de Texto	88 KB
 Results Database	09/03/2021 13:48	Microsoft Access Database	564 KB
 ResultsTemplate	10/03/2021 07:46	Planilha do Microsoft Excel	1.393 KB

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Reitera-se que para um aprendizado mais aprofundado, é recomendado o curso já citado “*Energy and Flexibility Modelling: OSeMOSYS & FlexTool*” da plataforma *The Open University*. Para ver um tutorial de como criar um projeto, também indica-se assistir os vídeos do canal “*#CCG – Climate Compatible Growth*” da plataforma *Youtube*, contidos na playlist “*Tutorials for Energy and Flexibility Modelling: OSeMOSYS & FlexTool*”, neste local o usuário encontrará a utilização de quase todas as variáveis disponíveis no software, assim como as tecnologias, *commodities* e emissões.

Antes de começar, o usuário deve se certificar que o seu dispositivo ainda esteja nas configurações do idioma inglês do Reino Unido e que o aplicativo Excel e Access também estejam, ao menos por um primeiro momento.

Com tudo isso pronto, renomeie o arquivo “*CCG-SAND Interface v.12*” visto na Figura 28 para “*SAND_Interface_TESTE*”. Ao abrir, será exibida uma tela representada pela Figura 29. Clique em “*Habilitar Conteúdo*”.

Figura 29 - Entrada de parâmetros da interface SAND.

					2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
1	AccumulatedAnnualDemand	RE1			0	0	0	0	0	0	0	0
2	AccumulatedAnnualDemand	RE1			0	0	0	0	0	0	0	0
3	AccumulatedAnnualDemand	RE1			0	0	0	0	0	0	0	0
4	AccumulatedAnnualDemand	RE1			0	0	0	0	0	0	0	0
5	AccumulatedAnnualDemand	RE1			0	0	0	0	0	0	0	0
6	AccumulatedAnnualDemand	RE1			0	0	0	0	0	0	0	0
7	AccumulatedAnnualDemand	RE1			0	0	0	0	0	0	0	0
8	AccumulatedAnnualDemand	RE1			0	0	0	0	0	0	0	0
9	AccumulatedAnnualDemand	RE1			0	0	0	0	0	0	0	0
10	AccumulatedAnnualDemand	RE1			0	0	0	0	0	0	0	0
11	AccumulatedAnnualDemand	RE1			0	0	0	0	0	0	0	0
12	AccumulatedAnnualDemand	RE1			0	0	0	0	0	0	0	0
13	AccumulatedAnnualDemand	RE1			0	0	0	0	0	0	0	0
14	AccumulatedAnnualDemand	RE1			0	0	0	0	0	0	0	0
15	AccumulatedAnnualDemand	RE1			0	0	0	0	0	0	0	0
16	AccumulatedAnnualDemand	RE1			0	0	0	0	0	0	0	0
17	AccumulatedAnnualDemand	RE1			0	0	0	0	0	0	0	0
18	AccumulatedAnnualDemand	RE1			0	0	0	0	0	0	0	0
19	AccumulatedAnnualDemand	RE1			0	0	0	0	0	0	0	0
20	AccumulatedAnnualDemand	RE1			0	0	0	0	0	0	0	0
21	AccumulatedAnnualDemand	RE1			0	0	0	0	0	0	0	0
22	AccumulatedAnnualDemand	RE1			0	0	0	0	0	0	0	0
23	AccumulatedAnnualDemand	RE1			0	0	0	0	0	0	0	0
24	AccumulatedAnnualDemand	RE1			0	0	0	0	0	0	0	0
25	AccumulatedAnnualDemand	RE1			0	0	0	0	0	0	0	0
26	AccumulatedAnnualDemand	RE1			0	0	0	0	0	0	0	0
27	AccumulatedAnnualDemand	RE1			0	0	0	0	0	0	0	0
28	AccumulatedAnnualDemand	RE1			0	0	0	0	0	0	0	0
29	AccumulatedAnnualDemand	RE1			0	0	0	0	0	0	0	0
30	AccumulatedAnnualDemand	RE1			0	0	0	0	0	0	0	0
31	AccumulatedAnnualDemand	RE1			0	0	0	0	0	0	0	0
32	AccumulatedAnnualDemand	RE1			0	0	0	0	0	0	0	0
33	AccumulatedAnnualDemand	RE1			0	0	0	0	0	0	0	0
34	AccumulatedAnnualDemand	RE1			0	0	0	0	0	0	0	0
35	AccumulatedAnnualDemand	RE1			0	0	0	0	0	0	0	0
36	AccumulatedAnnualDemand	RE1			0	0	0	0	0	0	0	0
37	AccumulatedAnnualDemand	RE1			0	0	0	0	0	0	0	0
38	AccumulatedAnnualDemand	RE1			0	0	0	0	0	0	0	0
39	AccumulatedAnnualDemand	RE1			0	0	0	0	0	0	0	0
40	AccumulatedAnnualDemand	RE1			0	0	0	0	0	0	0	0
41	AccumulatedAnnualDemand	RE1			0	0	0	0	0	0	0	0

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A coluna A do arquivo de entrada de dados, vista na Figura 30, são de parâmetros usados pelo programa de otimização. São vários parâmetros disponibilizados para ajustes, porém, para fins didáticos e também de praticidade e refinamento, não serão usados todos neste capítulo, nem mesmo no capítulo 4 deste trabalho, o qual tem-se as simulações dos casos propostos.

As colunas B, C, D e E são de região, tecnologia, emissão e modo de operação, respectivamente, como mostrado na Figura 31. Lembrando que existem determinados subcapítulos explicando o que são alguns destes termos dentro do *OSeMOSYS*.

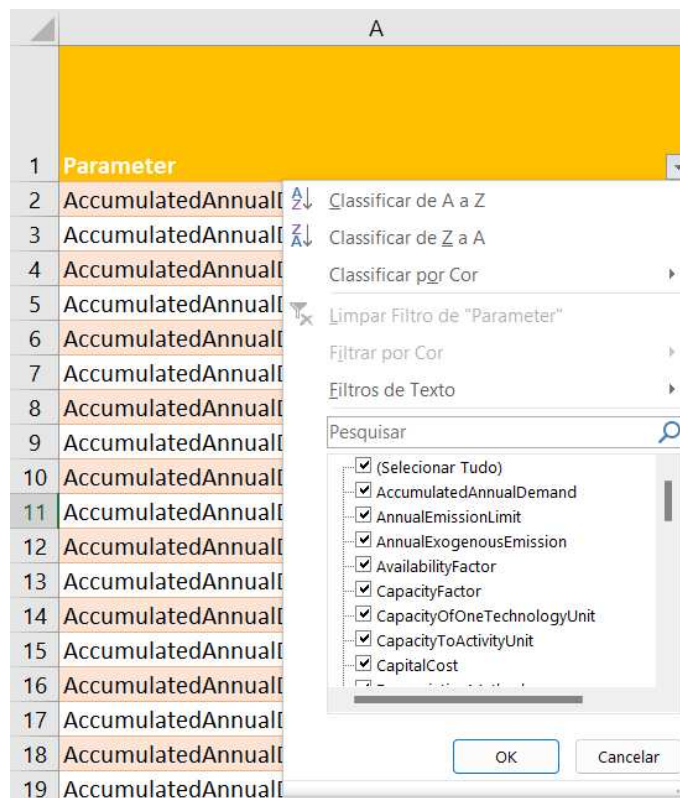
Por fim na aba “Parameters” do Excel, tem-se as colunas F, G, H, I, J, K, L e M, representadas por “Fuel”, “Timeslice”, “Storage”, “Region2”, “Time independent variables”, “2015”, “2016”, “2017”, como pode ser verificado na Figura 32.

Antes de inserir algum tipo de dado em *OSeMOSYS* veja a aba “Naming” a título informacional, pois nesta aba não existe interação, a não ser de leitura. Nela, encontra-se um resumo da documentação do modelo *OSeMOSYS* contendo nomes dos parâmetros e variáveis utilizados no programa e seus respectivos significados. Isso pode ser visto em partes na Figura 33.

Por fim, observe na Figura 34 a aba “SETS”, na qual serão inseridas as tecnologias, *commodities*, região e emissões.

A aba "ToDataFile" não deve ser alterada. Para evitar problemas na estrutura dos dados usados na construção do modelo energético, é recomendável não navegar por ela, pois isso pode levar a alterações acidentais. Ela, a princípio, não é feita para ser uma aba editável pelo usuário. Ademais, ela contém muitos macros, que ao serem modificados, podem ocasionar falhas posteriores.

Figura 30 - Coluna A da entrada de parâmetros.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 31 - Colunas B, C, D e E da entrada de parâmetros.

B	C	D	E
REGION	TECHNOLOGY	EMISSION	MODE_OF_OPERATION
RE1	TEC000		
RE1	TEC000		
RE1	TEC000		
RE1	TEC000		
RE1	TEC000		
RE1	TEC000		
RE1	TEC000		
RE1	TEC000		
RE1	TEC000		
RE1	TEC000		
RE1	TEC000		
RE1	TEC000		
RE1	TEC000		

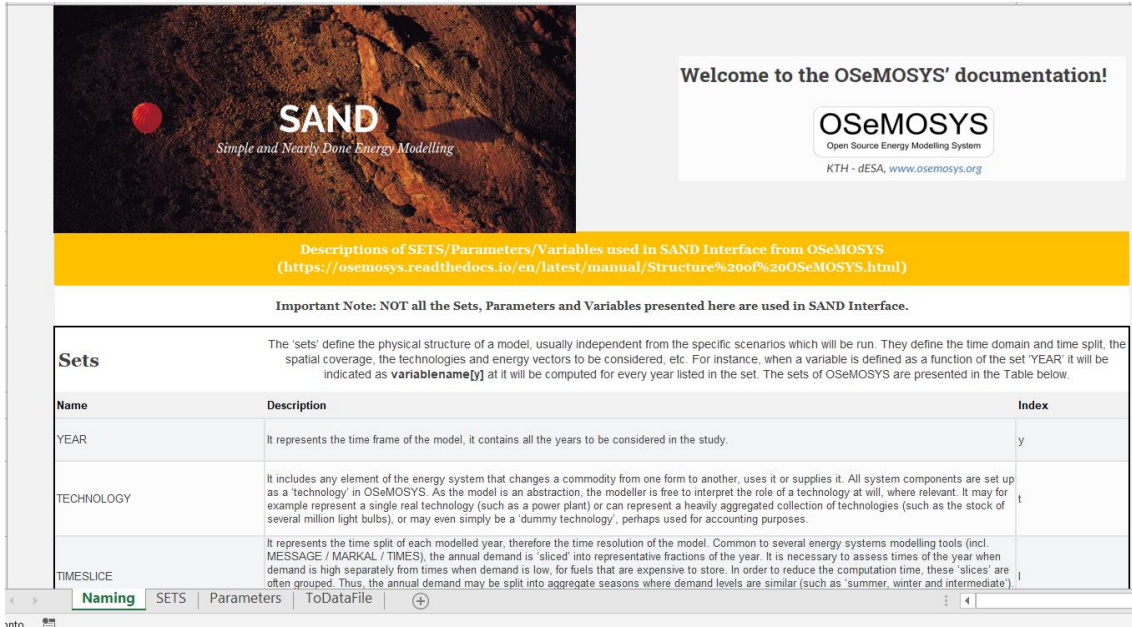
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 32 - Colunas F, G, H, I, J, K, L e M da entrada de parâmetros.

F	G	H	I	J	K	L	M
FUEL	TIMESLICE	STORAGE	REGION2	Time independent variables	2015	2016	2017
S101					1	1	1
S102					1	1	1
S103					1	1	1
S104					1	1	1
S105					1	1	1
S106					1	1	1
S107					1	1	1

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 33 - Aba “Naming” na interface SAND.



Welcome to the OSeMOSYS' documentation!

OSeMOSYS
Open Source Energy Modelling System
KTH - dESA, www.osemosys.org

Descriptions of SETS/Parameters/Variables used in SAND Interface from OSeMOSYS
(<https://osemosys.readthedocs.io/en/latest/manual/Structure%20of%20OSeMOSYS.html>)

Important Note: NOT all the Sets, Parameters and Variables presented here are used in SAND Interface.

Sets

The 'sets' define the physical structure of a model, usually independent from the specific scenarios which will be run. They define the time domain and time split, the spatial coverage, the technologies and energy vectors to be considered, etc. For instance, when a variable is defined as a function of the set 'YEAR' it will be indicated as `variablename[y]` at it will be computed for every year listed in the set. The sets of OSeMOSYS are presented in the Table below.

Name	Description	Index
YEAR	It represents the time frame of the model, it contains all the years to be considered in the study.	y
TECHNOLOGY	It includes any element of the energy system that changes a commodity from one form to another, uses it or supplies it. All system components are set up as a 'technology' in OSeMOSYS. As the model is an abstraction, the modeller is free to interpret the role of a technology at will, where relevant. It may for example represent a single real technology (such as a power plant) or can represent a heavily aggregated collection of technologies (such as the stock of several million light bulbs), or may even simply be a 'dummy technology', perhaps used for accounting purposes.	t
TIMESLICE	It represents the time split of each modelled year, therefore the time resolution of the model. Common to several energy systems modelling tools (incl. MESSAGE / MARKAL / TIMES), the annual demand is 'sliced' into representative fractions of the year. It is necessary to assess times of the year when demand is high separately from times when demand is low, for fuels that are expensive to store. In order to reduce the computation time, these 'slices' are often grouped. Thus, the annual demand may be split into aggregate seasons where demand levels are similar (such as 'summer, winter and intermediate').	i

Naming SETS Parameters ToDataFile

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 34 - Aba de “SETS” na interface SAND.

Technologies		Commodities		Emissions	
Code	Description	Code	Description	Code	Description
TEC000	Additional Technology	COM001	Additional Fuel	EMIC02	Emission factor for CO2
TEC001	Additional Technology	COM002	Additional Fuel	EMICH4	Emission factor for methane
TEC002	Additional Technology	COM003	Additional Fuel	EMIFGA	Emission factor for Fluorinated gases
TEC003	Additional Technology	COM004	Additional Fuel	EMIN2O	Emission factor for Nitrous Oxide
TEC004	Additional Technology	COM005	Additional Fuel	EMIREN	Emission factor for RET targets
TEC005	Additional Technology	COM006	Additional Fuel	Region	
TEC006	Additional Technology	COM007	Additional Fuel	RE1	Region 1

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

2.9.4.1 Modelando um Sistema Genérico em OSeMOSYS

Para exercitar e introduzir ao usuário e leitor um pouco de conhecimento prático sobre o OSeMOSYS, propõe-se um sistema básico.

Indica-se baixar os materiais de apoio dos *Hands-On* 2, 3, 4, 5, 6 e 8 (CANNONE, C.; ALLINGTON, L.; HOWELLS, M., 2021) do curso. Cada um contém um arquivo de preparação de dados que servirá de apoio aos usuários. A folha de preparação de dados é uma planilha pré-montada já contendo os valores a serem inseridos na planilha de entrada de dados do OSeMOSYS. Além disso, também recomenda-se visualizar os vídeos “OSeMOSYS & FlexTool

course: Hands-On 2”, “OseMOSYS & FlexTool course: Hands-On 3”, “OseMOSYS & FlexTool course: Hands-On 4”, “OseMOSYS & FlexTool course: Hands-On 5”, “OseMOSYS & FlexTool course: Hands-On 6” e “OseMOSYS & FlexTool course: Hands-On 8” do canal “#CCG – Climate Compatible Growth” da plataforma *Youtube*, (TUTORIALS FOR ENERGY AND FLEXIBILITY MODELLING: OSEMOSESYS & FLEXTOOL, 2022). Na descrição dos vídeos podem ser encontrados os *links* para acesso ao arquivo de preparação de dados.

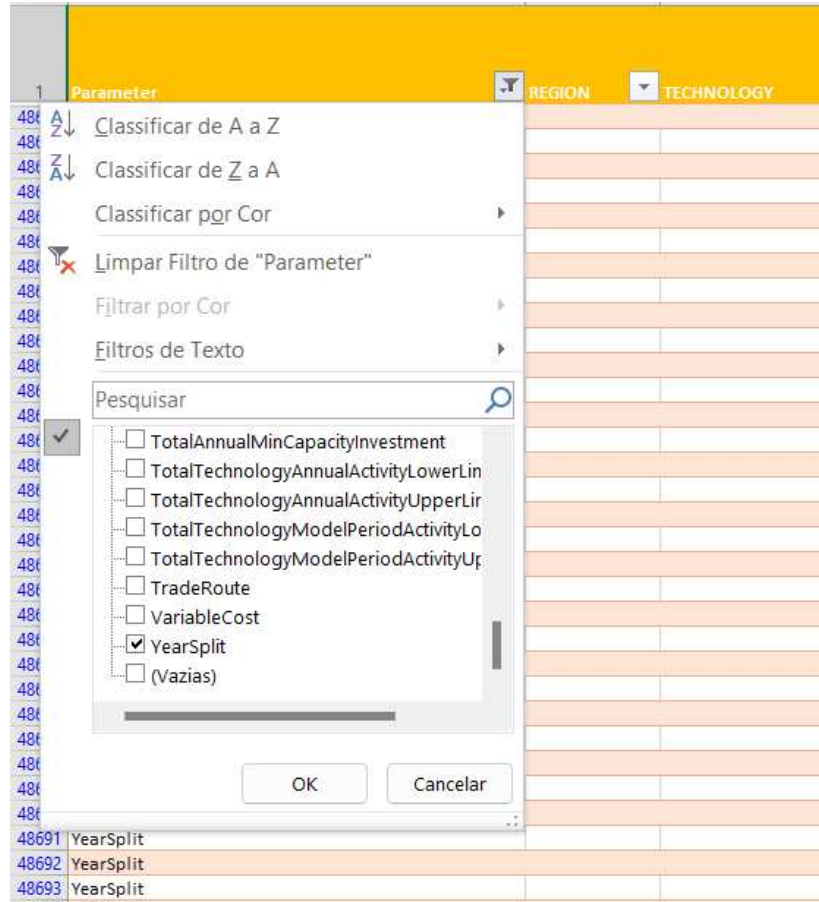
Inicia-se abrindo o arquivo que foi criado no índice 2.9.4 chamado de “CCG-SAND Interface v.12” que está na pasta *Osemosys*.

Nele, pode-se começar entendendo o que é o termo *TimeSlice* e o parâmetro *YearSplit* que são de grande importância para o programa. *TimeSlice* é uma forma de divisão do tempo em *OSeMOSYS*, ele é responsável por definir a resolução temporal do problema de otimização. Permite-se dividir 1 ano em meses, estações do ano, dias, horas, entre outras medidas temporais. Isso dependerá do problema e necessidade de cada um. *YearSplit* é o parâmetro que representa o peso que cada *TimeSlice* tem durante a otimização. No caso da *clicSAND*, a divisão do tempo é *default*, como mostrado no *Hands-On 2* (CANNONE, C.; ALLINGTON, L.; HOWELLS, M., 2021), feita em 96 fatias de tempo, representando dias de verão, dias de inverno, dias de outono, dias de primavera, noites de verão, noites de inverno, noites de outono e noites de primavera. Com isso, se dividirmos 1 ano em 96 partes, teremos cada *YearSplit* de 0,01041667.

Para definir esta variável na *clicSAND*, utilize o filtro da coluna e escolha o parâmetro *YearSplit* na coluna *Parameter* como na Figura 35. Após isso, insira na célula K48662 o valor 0,01041667, como definido acima. Replique para as demais linhas e para todos os anos. Isso pode ser visto na Figura 36.

Para completar, são definidos mais dois conceitos nesta primeira parte, o primeiro é o *DepreciationMethod* ou traduzindo, “Método de Depreciação”. O segundo conceito é o de *DiscountRate* ou traduzindo, “Taxa de Desconto”. O “Método de Depreciação” no caso de *OSeMOSYS*, é uma variável binária, aceitando o valor 1 para depreciação *Sinking Fund* ou “Fundo de Amortização” ou 2 para depreciação linear. Já a taxa de desconto representa realmente o quanto um determinado ativo está perdendo seu valor por ano. O método de depreciação tem o valor 1 como padrão da *clicSAND*, deixe como está para fins didáticos. Para a taxa de desconto a interface deixa como padrão o valor 0,1, que representa 10% e também deixe desta forma, também para fins educativos. Tanto o método de depreciação, quanto a taxa de desconto, podem ser modificados pelo usuário de acordo com a necessidade da representação de um sistema de energia. Veja a Figura 37.

Figura 35 - Escolhendo parâmetro *YearSplit*.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 36 - Inserindo valores em *YearSplit*.

1	Parameter	TIME SLICE	Time independent variables	2015	2016	2017	2018	2019
48662	YearSplit	S101		0,0104167	0,0104167	0,0104167	0,0104167	0,0104
48663	YearSplit	S102		0,0104167	0,0104167	0,0104167	0,0104167	0,0104
48664	YearSplit	S103		0,0104167	0,0104167	0,0104167	0,0104167	0,0104
48665	YearSplit	S104		0,0104167	0,0104167	0,0104167	0,0104167	0,0104
48666	YearSplit	S105		0,0104167	0,0104167	0,0104167	0,0104167	0,0104
48667	YearSplit	S106		0,0104167	0,0104167	0,0104167	0,0104167	0,0104
48668	YearSplit	S107		0,0104167	0,0104167	0,0104167	0,0104167	0,0104
48669	YearSplit	S108		0,0104167	0,0104167	0,0104167	0,0104167	0,0104
48670	YearSplit	S109		0,0104167	0,0104167	0,0104167	0,0104167	0,0104
48671	YearSplit	S110		0,0104167	0,0104167	0,0104167	0,0104167	0,0104
48672	YearSplit	S111		0,0104167	0,0104167	0,0104167	0,0104167	0,0104
48673	YearSplit	S112		0,0104167	0,0104167	0,0104167	0,0104167	0,0104
48674	YearSplit	S113		0,0104167	0,0104167	0,0104167	0,0104167	0,0104
48675	YearSplit	S114		0,0104167	0,0104167	0,0104167	0,0104167	0,0104
48676	YearSplit	S115		0,0104167	0,0104167	0,0104167	0,0104167	0,0104
48677	YearSplit	S116		0,0104167	0,0104167	0,0104167	0,0104167	0,0104
48678	YearSplit	S117		0,0104167	0,0104167	0,0104167	0,0104167	0,0104
48679	YearSplit	S118		0,0104167	0,0104167	0,0104167	0,0104167	0,0104

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 37 - Método de depreciação e taxa de desconto.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Parameter									Time independent variables	2015	2016
19962	DepreciationMethod						RE1				1	
19963	DiscountRate						RE1				0,1	

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Antes de inserir as tecnologias de geração e suas respectivas *commodities*, deve-se estabelecer uma demanda de energia. Para isso utilize os parâmetros *SpecifiedAnnualDemand* e *SpecifiedDemandProfile*. A diferença está na temporização atrelada a cada parâmetro. Enquanto no *SpecifiedAnnualDemand* o usuário insere os valores de demanda de energia de forma acumulada para cada ano. No *SpecifiedDemandProfile* o usuário consegue inserir valores de demanda específicos para cada *Timeslice*, representados em porcentagem do valor acumulado no ano que foi inserido por exemplo no *SpecifiedAnnualDemand*, por isso a soma de todos os valores representados para cada *Timeslice* deve resultar em 1. A escolha do tipo de parâmetro varia de caso para caso, se é necessário mais detalhamento temporal de horas, dias, semanas ou meses, o mais sensato seria a utilização do *SpecifiedDemandProfile*, mas seu uso também dependerá da disponibilidade de dados que o usuário possui. Já para casos onde se quer analisar um quadro mais agrupado ou macro, pode-se utilizar o *SpecifiedAnnualDemand*. Existe também o parâmetro *AccumulatedAnnualDemand* que não será utilizado neste trabalho, ademais, este último parâmetro citado não deve ser usado junto com o *SpecifiedAnnualDemand* e vice-versa.

Insira os valores de demanda acumulada por ano, utilizando como já falado o parâmetro *SpecifiedAnnualDemand*. Primeiro, crie uma *commodity* na aba *SETS* da planilha de inserção de dados. É importante lembrar da convenção de nomenclaturas para inserir os nomes corretamente. No campo *Code* escreva “ELC003” e no campo *Description* escreva “*Electricity After Distribution*”.

Na aba “Parameters”, selecione a coluna A do arquivo de entrada de dados do *OSeMOSYS* e abra o filtro em *SpecifiedAnnualDemand*.

Copie cada coluna da Tabela 1 e selecione a opção de colar na forma de transpor no arquivo de entrada de dados ou digite manualmente os valores para cada ano, conforme mostra a Figura 38.

Posteriormente, na coluna A filtre por *SpecifiedDemandProfile* e insira os valores mostrados na Tabela 2. Lembre-se, caso copie da Tabela 2 e cole os valores na planilha de entrada de dados, cole apenas os valores. Observe atentamente as faixas de *Timeslices* que estão descritos na Tabela 2 e insira os valores para cada linha, depois faça o mesmo para todos os anos, conforme mostra a Figura 39.

Tabela 1 - Valores para *SpecifiedAnnualDemand*.

Ano	Valores	Ano	Valores	Ano	Valores	Ano	Valores
2015	28,52278	2029	67,41263	2043	179,6214	2057	342,9909
2016	29,7936	2030	72,09309	2044	190,1783	2058	355,0431
2017	32,16604	2031	77,25615	2045	201,3542	2059	367,5104
2018	34,53847	2032	82,82054	2046	213,4144	2060	380,4075
2019	36,91091	2033	88,81364	2047	226,1802	2061	389,724
2020	39,28334	2034	95,26521	2048	239,6929	2062	399,2616
2021	41,40871	2035	104,3989	2049	253,9962	2063	409,0265
2022	43,68493	2036	112,4723	2050	269,1363	2064	419,0254
2023	46,12041	2037	121,1542	2051	278,6463	2065	429,2649
2024	48,72429	2038	130,4909	2052	288,484	2066	439,7515
2025	51,50643	2039	140,5323	2053	298,6607	2067	450,4915
2026	55,09547	2040	151,3321	2054	309,1876	2068	461,4919
2027	58,93177	2041	160,2298	2055	320,0764	2069	472,7599
2028	63,03171	2042	169,6494	2056	331,3398	2070	484,3029

Fonte: Hand-on 3 (2021). Adaptado pelo autor (2024).

Figura 38 - Inserindo valores de demandas anuais de energia elétrica.

1	Parameter	FUEL	Time independent variables	2015	2016	2017
41971	SpecifiedAnnualDemand	RE1 ELC003		28,52278	29,7936	32,16604
41972	SpecifiedAnnualDemand	RE1 COM002		0	0	0
41973	SpecifiedAnnualDemand	RE1 COM003		0	0	0
41974	SpecifiedAnnualDemand	RE1 COM004		0	0	0
41975	SpecifiedAnnualDemand	RE1 COM005		0	0	0

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Tabela 2 - Valores de *SpecifiedDemandProfile*.

TimeSlice	SpecifiedDemandProfile
S101 a S106	0,0092
S107 a S118	0,0113
S119 a S124	0,0092
S201 a S206	0,0091
S207 a S218	0,0113
S219 a S224	0,0091
S301 a S306	0,0092
S307 a S318	0,0117
S319 a S324	0,0092
S401 a S406	0,0096
S407 a S418	0,0120
S419 a S424	0,0096

Fonte: Hand-on 3 (2021). Adaptado pelo autor (2024).

Figura 39 - Inserindo valores de *SpecifiedDemandProfile*.

Parameter	RE1	ELC003	TIMESLICE	2015	2016	2017
SpecifiedDemandProfile	RE1	ELC003	S101	0,0091575	0,0091575	0,0091575
SpecifiedDemandProfile	RE1	ELC003	S102	0,0091575	0,0091575	0,0091575
SpecifiedDemandProfile	RE1	ELC003	S103	0,0091575	0,0091575	0,0091575
SpecifiedDemandProfile	RE1	ELC003	S104	0,0091575	0,0091575	0,0091575
SpecifiedDemandProfile	RE1	ELC003	S105	0,0091575	0,0091575	0,0091575
SpecifiedDemandProfile	RE1	ELC003	S106	0,0091575	0,0091575	0,0091575
SpecifiedDemandProfile	RE1	ELC003	S107	0,011322	0,011322	0,011322
SpecifiedDemandProfile	RE1	ELC003	S108	0,011322	0,011322	0,011322
SpecifiedDemandProfile	RE1	ELC003	S109	0,011322	0,011322	0,011322
SpecifiedDemandProfile	RE1	ELC003	S110	0,011322	0,011322	0,011322
SpecifiedDemandProfile	RE1	ELC003	S111	0,011322	0,011322	0,011322
SpecifiedDemandProfile	RE1	ELC003	S112	0,011322	0,011322	0,011322
SpecifiedDemandProfile	RE1	ELC003	S113	0,011322	0,011322	0,011322
SpecifiedDemandProfile	RE1	ELC003	S114	0,011322	0,011322	0,011322
SpecifiedDemandProfile	RE1	ELC003	S115	0,011322	0,011322	0,011322
SpecifiedDemandProfile	RE1	ELC003	S116	0,011322	0,011322	0,011322
SpecifiedDemandProfile	RE1	ELC003	S117	0,011322	0,011322	0,011322
SpecifiedDemandProfile	RE1	ELC003	S118	0,011322	0,011322	0,011322
SpecifiedDemandProfile	RE1	ELC003	S119	0,0091575	0,0091575	0,0091575

Fonte:

Elaborado pelo autor (2024).

Vá até a folha de “SETS” como apresentado anteriormente na *Figura 34*. Para este caso, quando se pensa em alguma forma de geração de energia, que nesse exemplo será uma hidrelétrica e uma termelétrica a carvão, deve-se juntamente pensar na *commodity* associada. E para este caso é a água e o carvão. Tendo isso em vista, adicione a água e o carvão, respeitando a convenção de nomenclatura visto no Subcapítulo 2.8. Segundo a convenção, adicione HYD e COA no campo *Code* e, *Hydro* e *Coal Fuel* no campo *Description*, respectivamente, para

Commodities. Nos campos de *Technologies*, inclua PWRHYD e PWRCOA no campo *Code* e em *Description* coloque *Hydro Power Plant* e *Coal Power Plant* para representar as usinas hidrelétrica e termelétrica a carvão, respectivamente. No entanto, raciocine que para obter o carvão e a água, deve existir uma tecnologia de extração. Certamente é estranho pensar em tecnologia de extração da água para uma hidrelétrica, por isso pense em potencial de água. De qualquer maneira, atenha-se a esse fato por questões de modelagem. Assim sendo, ainda nos campos de *Technologies*, faça o acréscimo de MINHYD e MINCOAL no campo *Code* e, *Hydro Potential* e *Coal Domestic Production* no campo *Description*.

Agora, uma pergunta que se faz é: como transportar esta energia? A resposta é simples. O transporte de energia pode ser modelado através das tecnologias de transmissão e distribuição. Por isso inclua também na folha de “SETS” as tecnologias PWRTRN e PWRDIST descritas por *Electricity Transmission* e *Electricity Distribution*, respectivamente. Faça o mesmo para *Commodities*, adicione ELC001, ELC002 e ELC003 descritas por *Electricity from Power Plants*, *Electricity After Transmission* e *Electricity After Distribution*, respectivamente. A ELC001 representa a energia elétrica gerada nas usinas, ELC002 representa a eletricidade que passa pelas linhas de transmissão e ELC003 representa a eletricidade após a distribuição, conforme mostra a Figura 40.

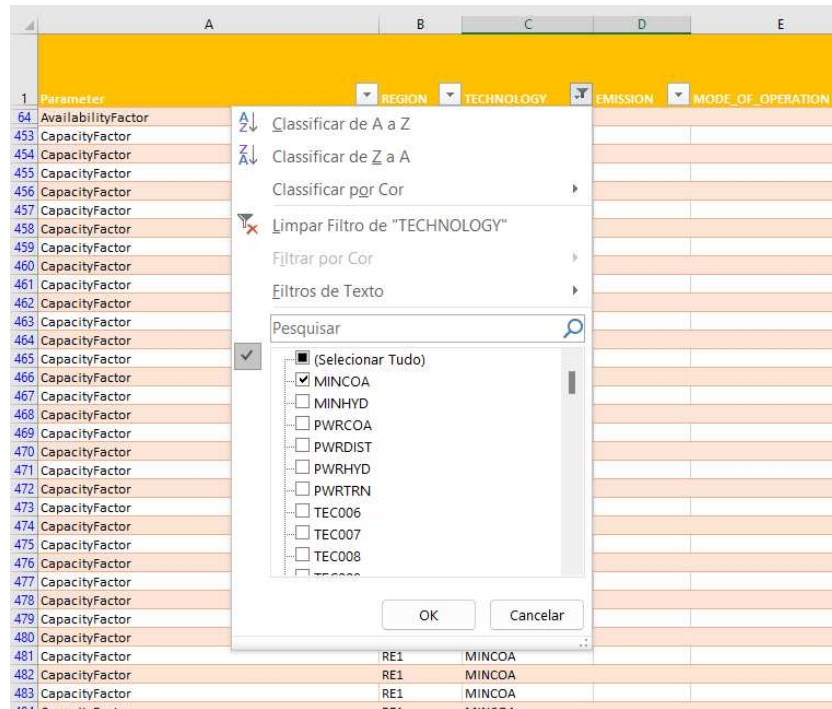
Figura 40 - Inserindo tecnologias e *commodities*.

	A	B	C	D	E	F	G
1		Technologies			Commodities		
2		<i>Code</i>	<i>Description</i>		<i>Code</i>	<i>Description</i>	
3		MINHYD	Hydro Potential		ELC003	Electricity After Distribution	
4		PWRHYD	Hydro Power Plant		COA	Coal Fuel	
5		MINCOA	Coal Domestic Production		HYD	Hydro	
6		PWRCOA	Coal Power Plant		ELC001	Electricity from Power Plants	
7		PWRTRN	Electricity Transmission		ELC002	Electricity After Transmission	
8		PWRDIST	Electricity Distribution		COM006	Additional Fuel	
9		TEC006	Additional Technology		COM007	Additional Fuel	

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Seguindo a linha de raciocínio, insira os parâmetros para as tecnologias primárias, são elas MINCOA e MINHYD. Vá na aba *Parameters* e escolha na coluna C a tecnologia MINCOA, conforme mostra a Figura 41.

Figura 41 - Escolhendo MINCOA para inserir dados.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A partir disso, serão utilizados os seguintes parâmetros: *OutputActivityRatio*, *VariableCost*, *TotalTechnologyModelPeriodActivityUpperLimit*, *TotalAnnualMaxCapacity* e *CapacityToActivityUnit*.

Defina *CapacityToActivityUnit* inserindo o valor de 1 na coluna J. Esta variável representa a quantidade de unidades de atividade são necessárias para atender uma capacidade instalada. Por exemplo, se a unidade de atividade é medida em dias e a capacidade instalada de uma tecnologia é medida em MW *CapacityToActivityUnit* representa a quantidade de dias necessário para a produção de cada MW da capacidade instalada.

Em *OutputActivityRatio* insira o valor também de 1 para todos os anos na linha que tem como combustível (coluna F) COA, pois, o carvão é o produto de saída desta tecnologia, para a tecnologia MINHYD usaríamos a linha que exige como combustível HYD. Este parâmetro define o quanto sai de energia de uma tecnologia e por convenção sempre se usa 1, representando 100%. Ele consegue determinar junto com o *InputActivityRatio*, parâmetro que será usado posteriormente, a eficiência de uma tecnologia. Por exemplo, se uma determinada usina tem 50% de eficiência global, em *OutputActivityRatio* colocaríamos 1 e em *InputActivityRatio*, 2. O *OutputActivityRatio* é um parâmetro que define o quantas unidades de energia está saindo de determinada tecnologia, já o *InputActivityRatio* é o inverso. Observe a Figura 42.

Figura 42 - Inserindo *CapacityToActivityUnit* e *OutputActivityRatio*.

1	Parameter	REGION	TECHNOLOGY	FUEL	Time independent variables	2015	2016
19566	CapacityToActivityUnit	RE1	MINCOA			1	
31422	OutputActivityRatio	RE1	MINCOA	ELC003			0
31423	OutputActivityRatio	RE1	MINCOA	COA			1
31424	OutputActivityRatio	RE1	MINCOA	HYD			0
31425	OutputActivityRatio	RE1	MINCOA	ELC001			0
31426	OutputActivityRatio	RE1	MINCOA	ELC002			0
31427	OutputActivityRatio	RE1	MINCOA	COM006			0

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

No *TotalTechnologyModelPeriodActivityUpperLimit* insira o valor de 11723 também na coluna J, este valor neste caso tem unidade de pentajoule (PJ). Esta variável limita a quantidade máxima de energia que determinada tecnologia pode fornecer em todo horizonte de planejamento.

Para *VariableCost* introduza o valor de 3,8693 para todos os anos. Este parâmetro representa custos que variam ao longo do tempo, porém, para fins didáticos será colocado um valor fixo para facilitar as inserções de dados no ambiente *clicSAND*.

E no *TotalAnnualMaxCapacity* deixe como está, com valores 99999 para todos os anos. Isso quer dizer que não será limitado anualmente a produção de carvão, pelo menos até 2070, último ano de horizonte de planejamento. Veja a Figura 43.

Figura 43 - Inserindo *TotalTechnologyModelPeriodActivityUpperLimit*, *VariableCost* e *TotalAnnualMaxCapacity*.

31471	OutputActivityRatio	RE1	MINCOA	COM050		0	0	0
46823	TotalAnnualMaxCapacity	RE1	MINCOA			99999	99999	99999
48216	TotalTechnologyModelPeriodActivityUpperLimit	RE1	MINCOA			11723		
48465	VariableCost	RE1	MINCOA			3,8693	3,8693	3,8693

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Faça o mesmo procedimento para a tecnologia MINHYD, utilizando os seguintes dados da Tabela 3.

Tabela 3 - Tabela de valores para inserir nos parâmetros de MINHYD.

Parâmetros	Valores
<i>CapacityToActivityUnit</i>	1
<i>OutputActivityRatio</i>	1 (Na linha de combustível HYD)
<i>TotalTechnologyModelPeriodActivityUpperLimit</i>	99999
<i>VariableCost</i>	0 (Para todos os anos)
<i>TotalAnnualMaxCapacity</i>	99999 (Para todos os anos)

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Precisa-se modelar as tecnologias de transmissão e distribuição. Para isso utilize dois novos parâmetros.

O primeiro, *InputActivityRatio* que representa a taxa de consumo de uma *commodity*.

FixedCost que são os custos fixos anuais de uma tecnologia em dólares por quilowatts de energia.

CapitalCost que está associado ao custo inicial ou investimento inicial para por exemplo construir um determinado tipo de usina em dólares por quilowatts. *OperationalLife*, representando o tempo de vida útil de uma tecnologia em anos.

ResidualCapacity representa os dados históricos de capacidade instalada de cada tecnologia participante de uma matriz energética. Com o tempo, os valores desse parâmetro para algumas tecnologias tendem a decrescer pois ocorre o descomissionamento de algumas usinas antigas conectadas à matriz energética modelada. Essas usinas normalmente chegam ao fim de sua vida útil ou se encontram tecnologicamente defasadas.

Com esses novos termos, repita a calibração dos parâmetros usados para modelar MINCOA e MINHYD nas tecnologias PWRTRN e PWRDIST.

Prossiga na aba *Parameters*, selecione a tecnologia PWRTRN e insira os valores nos determinados parâmetros como mostra a Tabela 4.

Figura 46 - Tela 3 de inserção de PWRTRN.

Year	Capacity	Unit	Technology	COM050	0	0	0	0
31571	OutputActivityRatio	RE1	PWRTRN	COM050	0	0	0	0
41327	RETagTechnology	RE1	PWRTRN		0	0	0	0
41577	ReserveMarginTagTechnology	RE1	PWRTRN		0	0	0	0
41776	ResidualCapacity	RE1	PWRTRN		1,40433	1,40433	1,40433	1,40433
46825	TotalAnnualMaxCapacity	RE1	PWRTRN		99999	99999	99999	999
47024	TotalAnnualMaxCapacityInvestment	RE1	PWRTRN		99999	99999	99999	999
47223	TotalAnnualMinCapacity	RE1	PWRTRN		0	0	0	0
47422	TotalAnnualMinCapacityInvestment	RE1	PWRTRN		0	0	0	0
47621	TotalTechnologyAnnualActivityLowerLimit	RE1	PWRTRN		0	0	0	0
47820	TotalTechnologyAnnualActivityUpperLimit	RE1	PWRTRN		99999	99999	99999	999
48019	TotalTechnologyModelPeriodActivityLowerLimit	RE1	PWRTRN		0			
48218	TotalTechnologyModelPeriodActivityUpperLimit	RE1	PWRTRN		99999			
48467	VariableCost	RE1	PWRTRN		0,0001	0,0001	0,0001	0,0001

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Faça os mesmos procedimentos para a inserção dos parâmetros na tecnologia PWRTRN, mas agora para PWRDIST utilizando os dados apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Tabela de valores para inserir nos parâmetros de PWRDIST.

Parâmetros	Valores
<i>InputActivityRatio</i>	1,1047 (para todos os anos)
<i>OutputActivityRatio</i>	1 (para todos os anos)
<i>CapacityToActivityUnit</i>	31,536
<i>FixedCost</i>	0 (para todos os anos)
<i>CapitalCost</i>	2502 (para todos os anos)
<i>OperationalLife</i>	70
<i>ResidualCapacity</i>	1,334113 (até o ano de 2050)

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Por último, faça a inserção dos valores referentes às usinas hidrelétrica e térmicas a carvão. Neste caso usaremos apenas mais um parâmetro novo, chamado de *CapacityFactor*, o que conhecemos como fator de capacidade. Representa qual a utilização real de uma tecnologia, vista sua capacidade instalada. Com isso, o único parâmetro a ser adicionado em comparação as tecnologias anteriores é o de fator de capacidade. Lembre-se que *CapacityFactor* deve ser introduzido em todos os *TimeSlices*, porque o fator de capacidade de uma tecnologia pode variar ao longo de um período. Exemplo disso é fator de capacidade de uma hidrelétrica que varia com os períodos de chuva.

Utilize a Tabela 6 e, baseado nos procedimentos apresentados até aqui, insira os valores nos parâmetros de PWRCOA. Na Figura 47 podemos ver o resultado final da calibração de parâmetros nas células que devem ser preenchidas com o fator de capacidade.

Tabela 6 - Tabela de valores para inserir nos parâmetros de PWRCOA.

Parâmetros	Valores
<i>InputActivityRatio</i>	2,7 (para todos os anos)
<i>OutputActivityRatio</i>	1 (para todos os anos)
<i>CapacityToActivityUnit</i>	31,536
<i>FixedCost</i>	78 (para todos os anos)
<i>CapitalCost</i>	2500 (para todos os anos)
<i>OperationalLife</i>	35
<i>ResidualCapacity</i>	0
<i>CapacityFactor</i>	0,85 (para todos os anos e <i>TimeSlice</i>)

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 47 - Inserindo valores de *CapacityFactor* para PWRCOA.

Parameter	REGION	TECHNOLOGY	FUEL	Time independent variables	2015	2016
65 AvailabilityFactor	RE1	PWRCOA				1
549 CapacityFactor	RE1	PWRCOA		S101		0,85
550 CapacityFactor	RE1	PWRCOA		S102		0,85
551 CapacityFactor	RE1	PWRCOA		S103		0,85
552 CapacityFactor	RE1	PWRCOA		S104		0,85
553 CapacityFactor	RE1	PWRCOA		S105		0,85
554 CapacityFactor	RE1	PWRCOA		S106		0,85
555 CapacityFactor	RE1	PWRCOA		S107		0,85
556 CapacityFactor	RE1	PWRCOA		S108		0,85
557 CapacityFactor	RE1	PWRCOA		S109		0,85
558 CapacityFactor	RE1	PWRCOA		S110		0,85
559 CapacityFactor	RE1	PWRCOA		S111		0,85
560 CapacityFactor	RE1	PWRCOA		S112		0,85
561 CapacityFactor	RE1	PWRCOA		S113		0,85
562 CapacityFactor	RE1	PWRCOA		S114		0,85
563 CapacityFactor	RE1	PWRCOA		S115		0,85
564 CapacityFactor	RE1	PWRCOA		S116		0,85
565 CapacityFactor	RE1	PWRCOA		S117		0,85
566 CapacityFactor	RE1	PWRCOA		S118		0,85
567 CapacityFactor	RE1	PWRCOA		S119		0,85
568 CapacityFactor	RE1	PWRCOA		S120		0,85

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Finalmente, insira os valores dos parâmetros para a usina hidrelétrica, seguindo exatamente os mesmos procedimentos utilizados para inserir os valores dos parâmetros para a termelétrica a carvão. Utilize os dados apresentados na Tabela 7, como referência de valores a serem adicionados. Para adicionar os *CapacityFactor*, observe a Figura 48.

Tabela 7 - Tabela de valores para inserir nos parâmetros de PWRHYD.

Parâmetros	Valores
<i>InputActivityRatio</i>	1 (para todos os anos)
<i>OutputActivityRatio</i>	1 (para todos os anos)
<i>CapacityToActivityUnit</i>	31,536
<i>FixedCost</i>	90 (para todos os anos)
<i>CapitalCost</i>	3000 (para todos os anos)
<i>OperationalLife</i>	50
<i>ResidualCapacity</i>	0,499 (até o ano de 2027) 0,274 (de 2028 a 2036) 0,106 (de 2037 a 2039)
<i>CapacityFactor</i>	0,396238763 (S101 a S124) 0,672067048 (S201 a S224) 0,290540363 (S301 a S324) 0,558448359 (S401 a S424)

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 48 - Inserindo valores de *CapacityFactor* para PWRHYD.

	A	B	C	E	F	G	H	I	J	K	L	M
	Parameter	REGION	TECHNOLOGY	FUEL					Time independent variables	2015	2016	2017
63	AvailabilityFactor	RE1	PWRHYD							1	1	
357	CapacityFactor	RE1	PWRHYD					S101		0,3962388	0,3962388	0,39
358	CapacityFactor	RE1	PWRHYD					S102		0,3962388	0,3962388	0,39
359	CapacityFactor	RE1	PWRHYD					S103		0,3962388	0,3962388	0,39
360	CapacityFactor	RE1	PWRHYD					S104		0,3962388	0,3962388	0,39
361	CapacityFactor	RE1	PWRHYD					S105		0,3962388	0,3962388	0,39
362	CapacityFactor	RE1	PWRHYD					S106		0,3962388	0,3962388	0,39
363	CapacityFactor	RE1	PWRHYD					S107		0,3962388	0,3962388	0,39
364	CapacityFactor	RE1	PWRHYD					S108		0,3962388	0,3962388	0,39
365	CapacityFactor	RE1	PWRHYD					S109		0,3962388	0,3962388	0,39
366	CapacityFactor	RE1	PWRHYD					S110		0,3962388	0,3962388	0,39
367	CapacityFactor	RE1	PWRHYD					S111		0,3962388	0,3962388	0,39
368	CapacityFactor	RE1	PWRHYD					S112		0,3962388	0,3962388	0,39
369	CapacityFactor	RE1	PWRHYD					S113		0,3962388	0,3962388	0,39
370	CapacityFactor	RE1	PWRHYD					S114		0,3962388	0,3962388	0,39
371	CapacityFactor	RE1	PWRHYD					S115		0,3962388	0,3962388	0,39
372	CapacityFactor	RE1	PWRHYD					S116		0,3962388	0,3962388	0,39
373	CapacityFactor	RE1	PWRHYD					S117		0,3962388	0,3962388	0,39
374	CapacityFactor	RE1	PWRHYD					S118		0,3962388	0,3962388	0,39
375	CapacityFactor	RE1	PWRHYD					S119		0,3962388	0,3962388	0,39
376	CapacityFactor	RE1	PWRHYD					S120		0,3962388	0,3962388	0,39
377	CapacityFactor	RE1	PWRHYD					S121		0,3962388	0,3962388	0,39
378	CapacityFactor	RE1	PWRHYD					S122		0,3962388	0,3962388	0,39
379	CapacityFactor	RE1	PWRHYD					S123		0,3962388	0,3962388	0,39
380	CapacityFactor	RE1	PWRHYD					S124		0,3962388	0,3962388	0,39
381	CapacityFactor	RE1	PWRHYD					S201		0,672067	0,672067	0,6
382	CapacityFactor	RE1	PWRHYD					S202		0,672067	0,672067	0,6
383	CapacityFactor	RE1	PWRHYD					S203		0,672067	0,672067	0,6
384	CapacityFactor	RE1	PWRHYD					S204		0,672067	0,672067	0,6
385	CapacityFactor	RE1	PWRHYD					S205		0,672067	0,672067	0,6
386	CapacityFactor	RE1	PWRHYD					S206		0,672067	0,672067	0,6

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

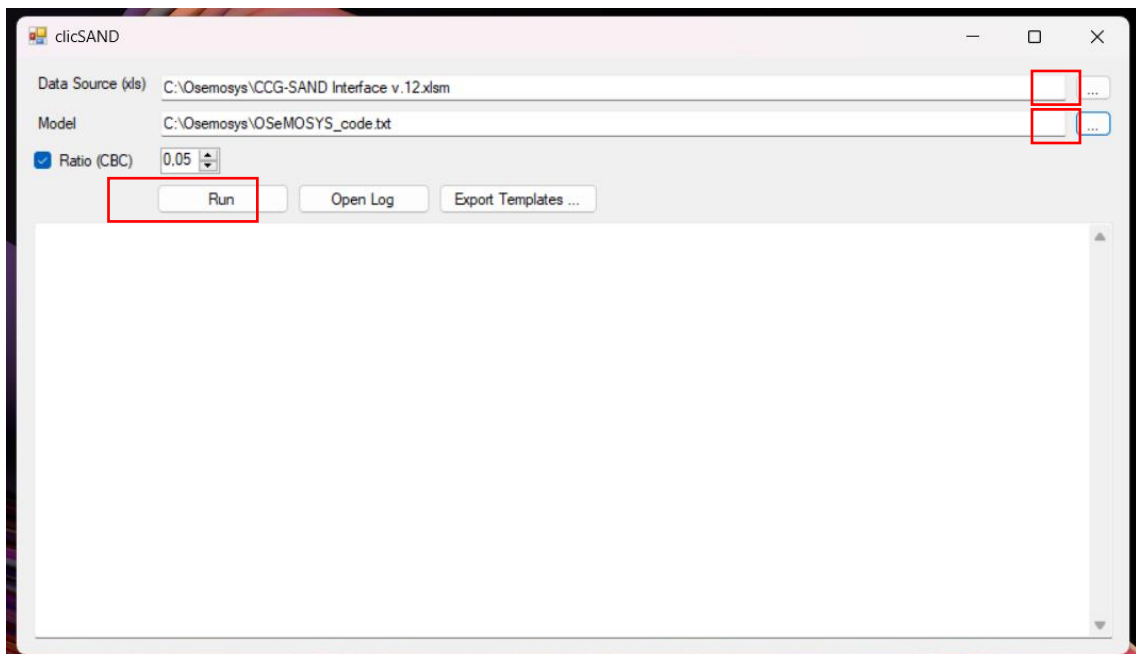
2.9.5 Execução de Resultados

Para começar, abra novamente o executável *clicSAND*. Nele insira o arquivo de entrada de dados, chamado “*SAND_Interface_TESTE*” no campo “*Data Source (xls)*”. Clique nos três pontos de cima e escolha o arquivo.

Além disso, coloque no executável o arquivo “*OSeMOSYS_code.txt*” no campo “*Model*”. Como mencionado anteriormente, este arquivo contém todas as equações necessárias para otimização do modelo. Clique nos três pontos inferiores e escolha o arquivo, conforme mostra a Figura 49.

Observe que existe um campo de “*check*” escrito “*Ratio (CBC)*” que está definido como padrão em 0,05. Não precisa modificá-lo, deixe como está. Clique em “*Run*”. Lembre-se de deixar todas as configurações de idioma em inglês do Reino Unido para evitar problemas de compilação. Como existem macros e escritos em VBA, a utilização de idiomas diferente do inglês pode fazer com que arquivos sejam referenciados com nomes diferentes durante a execução, por isso a possibilidade de erros.

Figura 49 - Inserindo arquivos no executável *clicSAND*.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

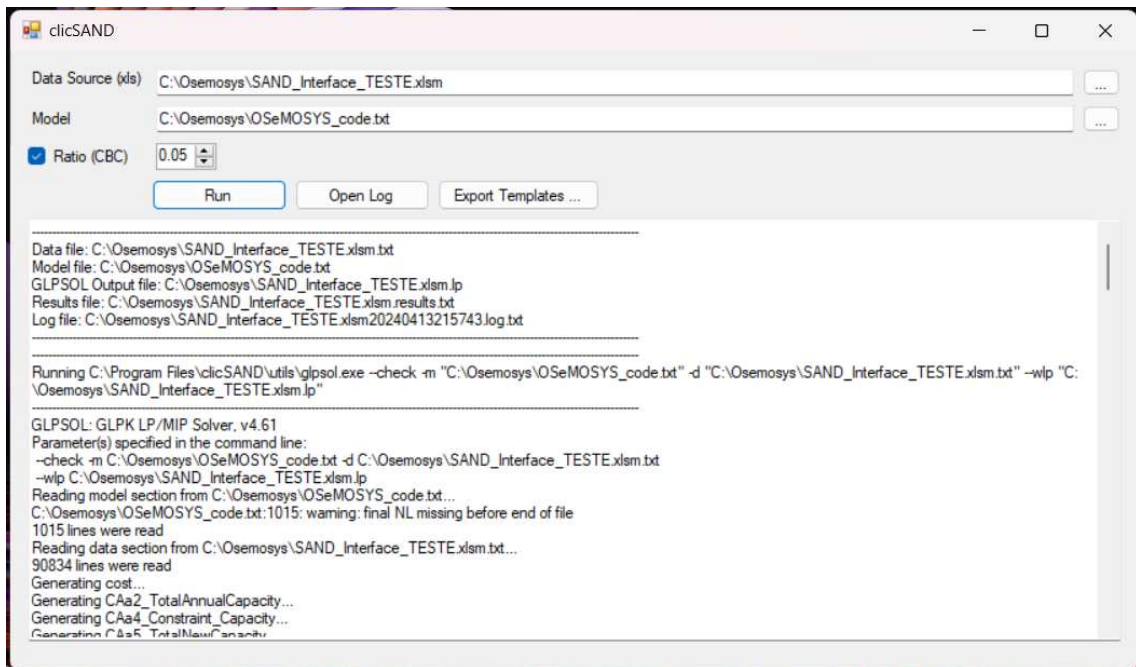
Para saber se o modelo foi executado corretamente, deve-se analisar a tela do executável *clicSAND*. Observe o relatório das simulações e as etapas do processo de otimização, conforme

mostram as Figura 50, Figura 51, Figura 52 e Figura 53. Ademais, também como forma de verificação para saber se a modelagem ocorreu corretamente, veja os arquivos criados na mesma pasta “*Osemosys*”, esta pasta deverá conter quatro arquivos a mais. Observe a Figura 54.

Após a compilação, vá até a pasta com os arquivos e renomear o arquivo do tipo texto “*SAND_Interface_TESTE.xlsm.results*” para “*TESTE_results*”.

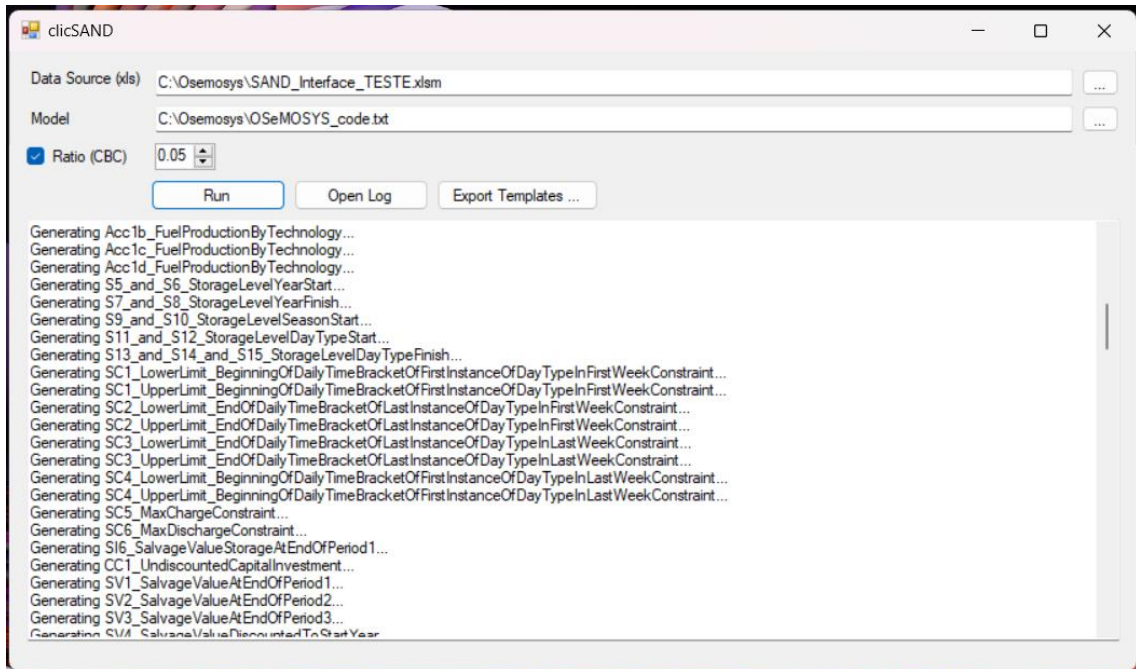
Abra o documento “*Results Database*” e clique em “Habilitar Conteúdo”. Clique com botão direito em “Macro 1” e pressione “Executar”, como mostra a Figura 55.

Figura 50 - Tela 1 de execução do *clicSAND*,



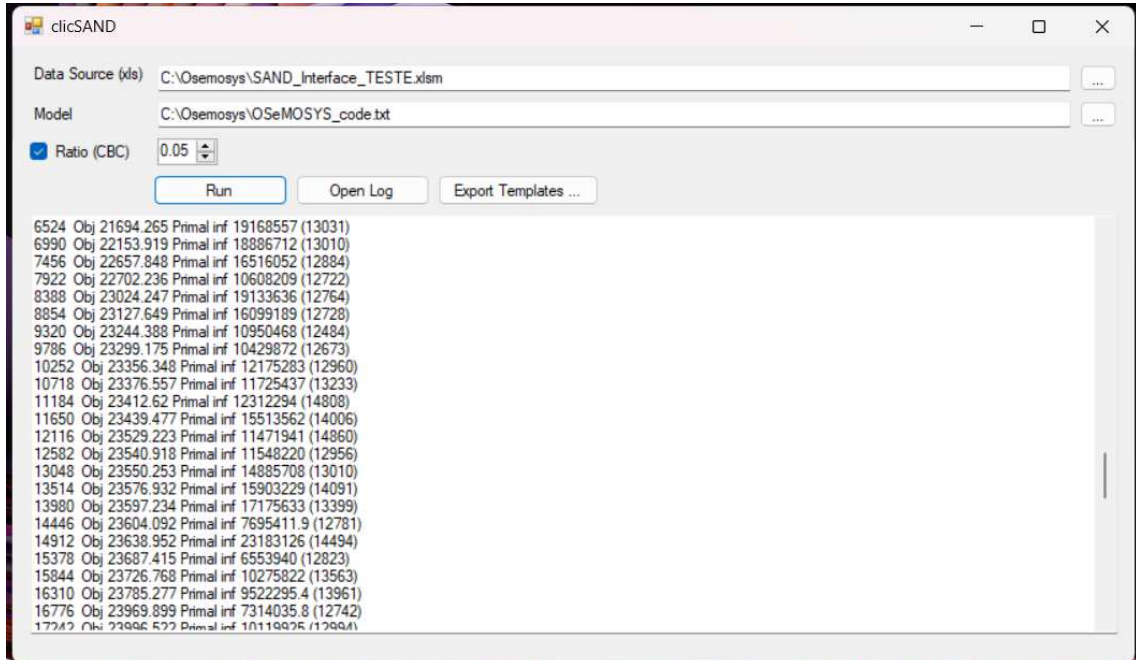
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 51 - Tela 2 de execução do *clicSAND*.

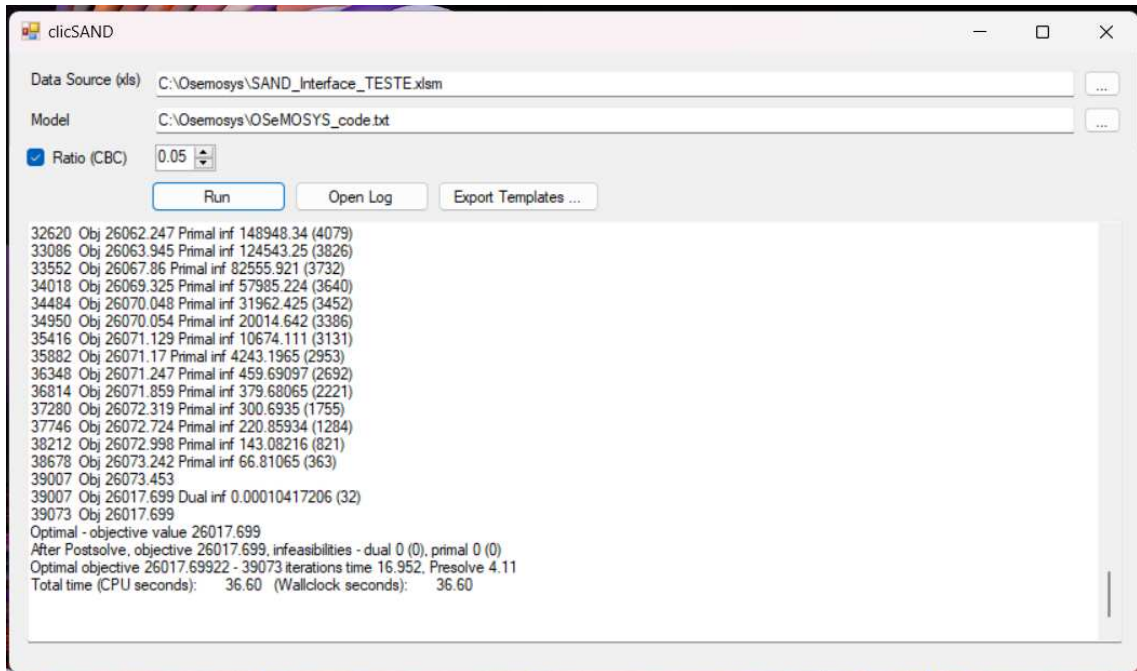


Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

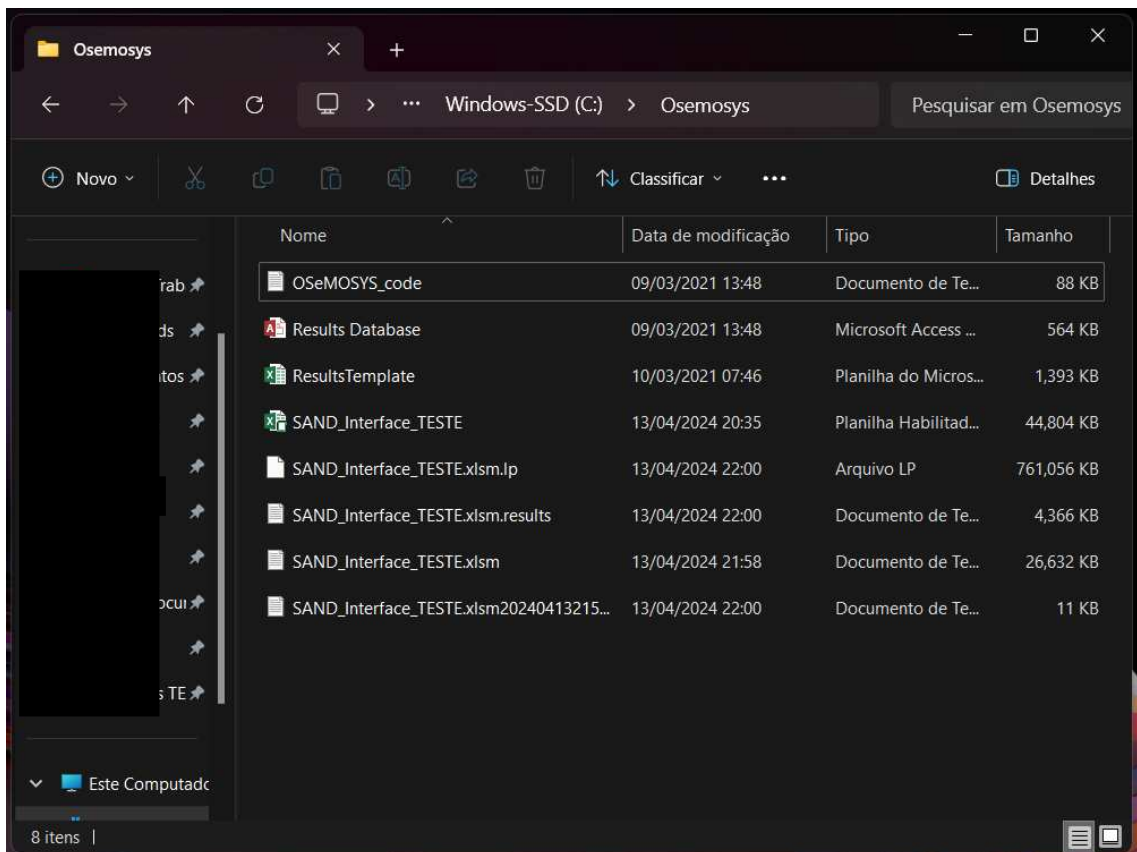
Figura 52 - Tela 3 de execução do *clicSAND*.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

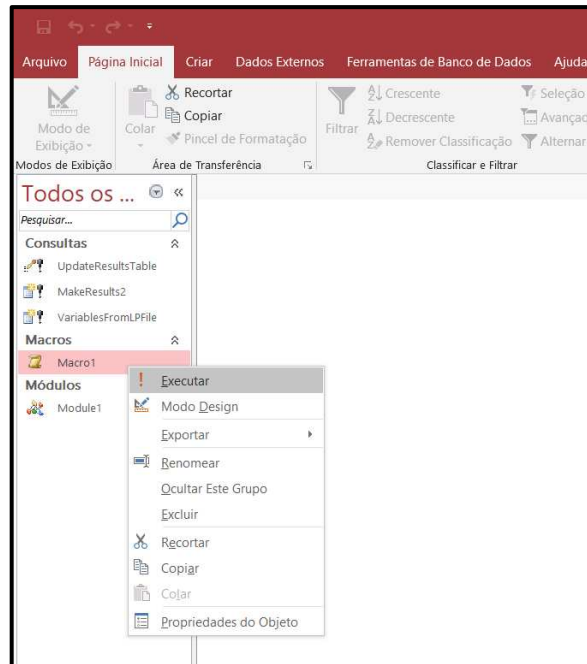
Figura 53 - Tela 4 de execução do *clisSAND*.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 54 - Tela de arquivos da pasta *Osemosys* após execução.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

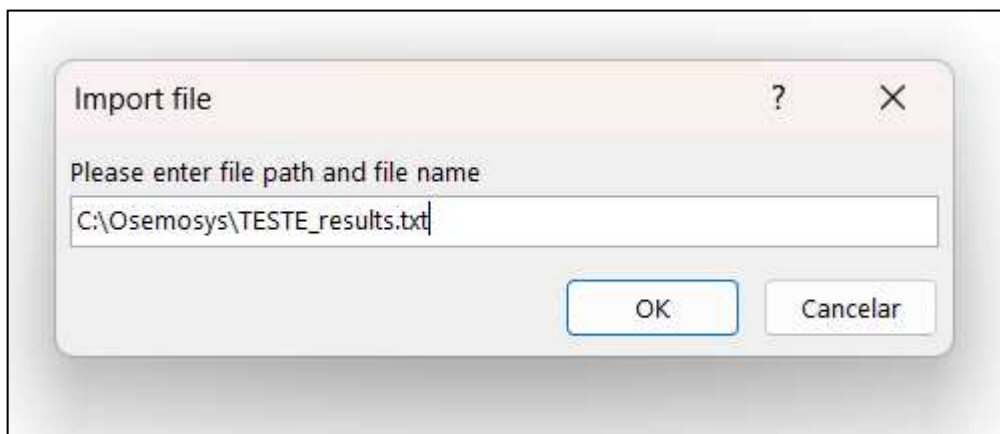
Figura 55 - Executando Macro 1 no arquivo *Results Database*.



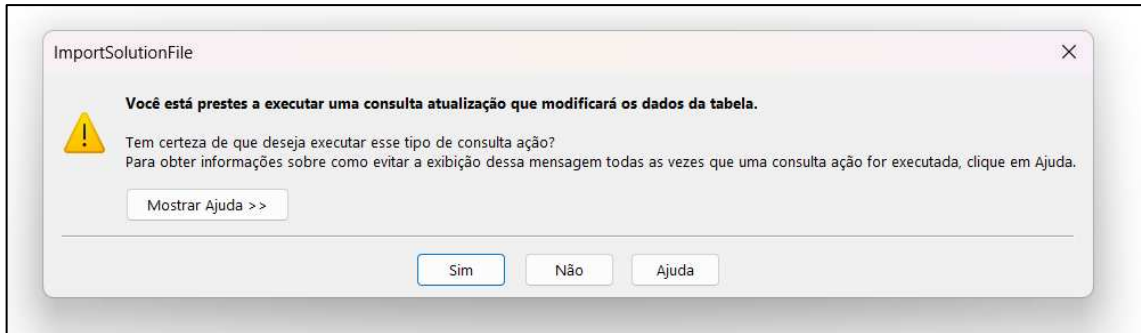
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Após executar o “Macro 1”, abrirá uma janela. Copie o caminho da pasta que contém o documento “*TESTE_results.txt*” juntamente com o nome do arquivo e cole na janela. Não devemos esquecer de colocar o “.txt”. Clique em “OK”. Após isso, clique sempre em “Sim”. Veja de Figura 56 a Figura 62.

Figura 56 - Importando resultados para Access.



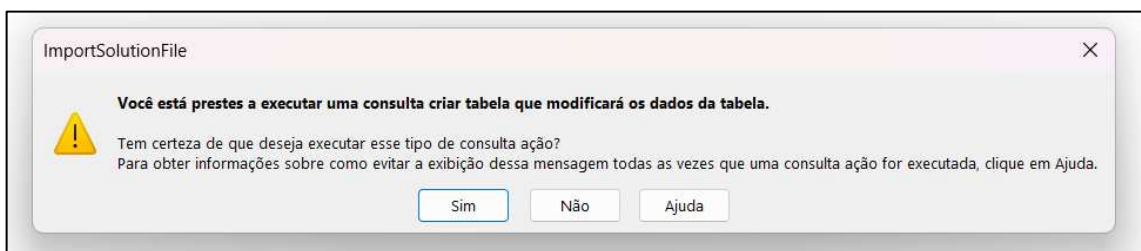
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 57 - Tela 1 confirmação de macro *Results Database*.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 58 - Tela 2 confirmação de macro *Results Database*.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

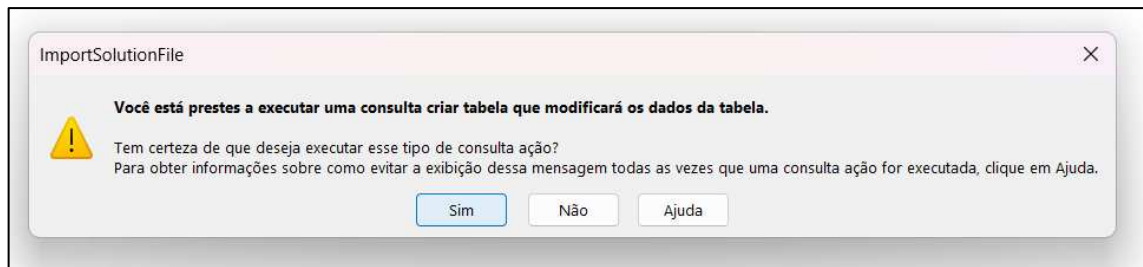
Figura 59 - Tela 3 confirmação de macro *Results Database*.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 60 - Tela 4 confirmação de macro *Results Database*.

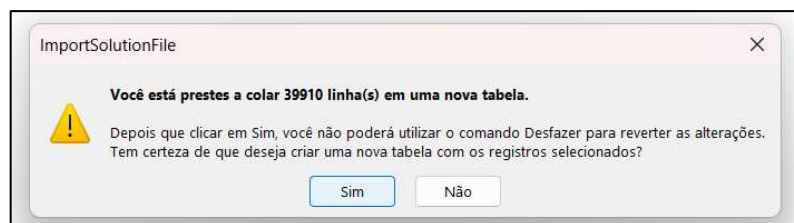
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 61 - Tela 5 confirmação de macro *Results Database*.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 62 - Tela 6 confirmação de macro *Results Database*.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Agora, abra o arquivo “*ResultsTemplate*”. Em seguida, clique na aba “*AnnualElecProduction*”. Selecione a célula A4 com o nome de “*Sum of ResultValue*”. Vá em “*Analisar*” e depois em “*Alterar Fonte de Dados*” como mostra a Figura 63.

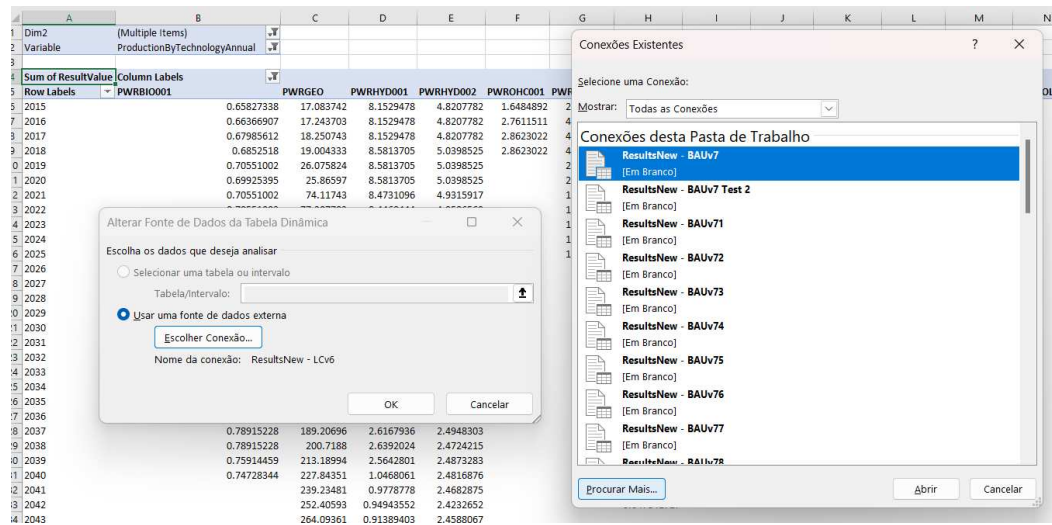
Figura 63 - Tela 1 de fonte de dados do *ResultsTemplate*.

Row Labels	PWRBIO001	PWRGEO	PWRHYD001	PWRHYD002	PWRHOC001	PWRHOC002	PWRSOL001	PWRWIND001	PWRSOL002	PWRCOA001	PWRHYD003	PWRWIND002
2015	0.65827338	17.083742	8.1529478	4.8207782	1.6484892	2.4727338	0.17086331	0.30755396				
2016	0.66366907	17.243703	8.1529478	4.8207782	2.7611511	4.1417266	0.20503597	0.33992806				
2017	0.67985612	18.250743	8.1529478	4.8207782	2.8623022	4.2934532	0.2426259	0.25899281				
2018	0.6852518	19.004333	8.5813705	5.0398525	2.8623022	4.2934532	0.29046763	1.5701439				
2019	0.70551002	26.075824	8.5813705	5.0398525		2.8179899	0.29046763	2.0071126				
2020	0.69925395	25.86597	8.5813705	5.0398525		2.6381999	0.29046763	2.0071126				
2021	0.70551002	74.11743	8.4731096	4.9315917		1.6527169	0.29046763	2.0071126				
2022	0.70551002	77.307783	8.4460444	4.9586569		1.6527169	0.29046763	2.0071126				
2023	0.70551002	80.917415	8.4911531	4.9135482		1.6527169	0.29046763	2.0071126				
2024	0.70551002	86.265258	8.5560155	3.028263		1.4361441	0.29046763	2.0071126				

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

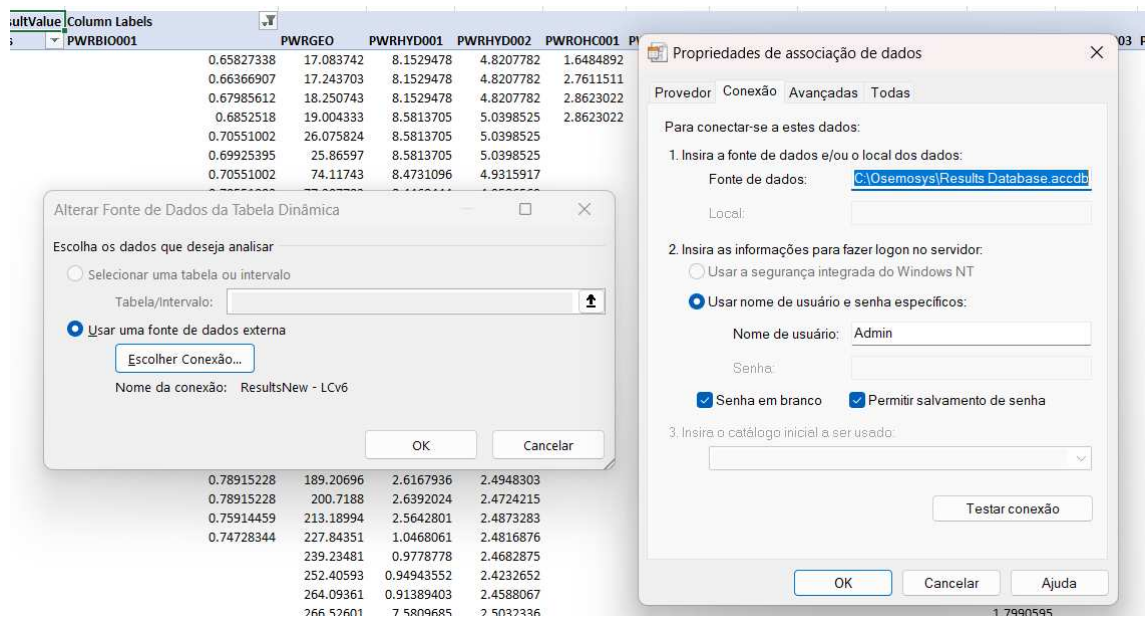
Abrirá outra tela, nela clique em “*Escolher Conexão*”, depois em “*Procurar Mais*”. Em seguida, vá na pasta “*Osemosys*” e escolha o arquivo do tipo Access nomeado “*Results Database*”. Clique sempre em “*OK*” nas próximas telas que abrirem, conforme mostram as Figura 64 a Figura 67.

Figura 64 - Tela 2 de fonte de dados de *ResultsTemplate*.



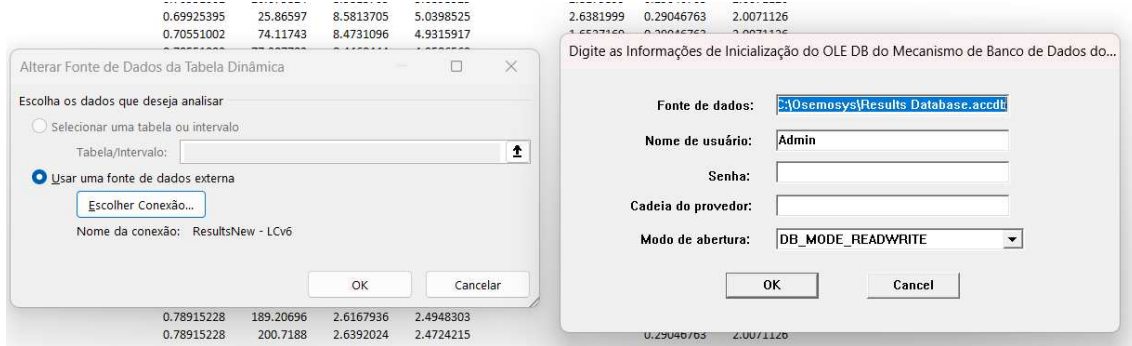
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 65 - Tela 3 de fonte de dados de *ResultsTemplate*.



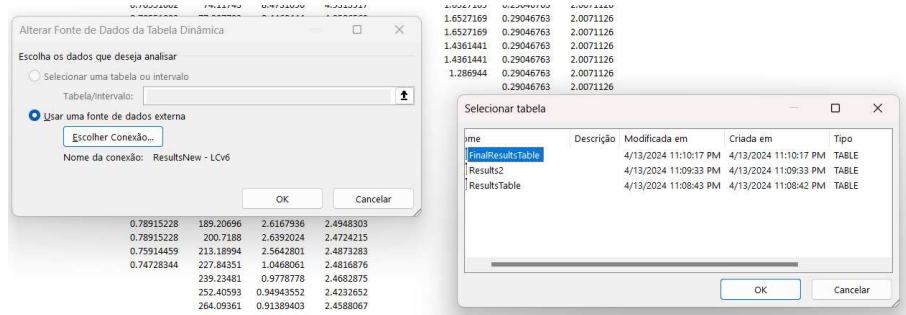
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 66 - Tela 4 de fonte de dados de *ResultsTemplate*.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

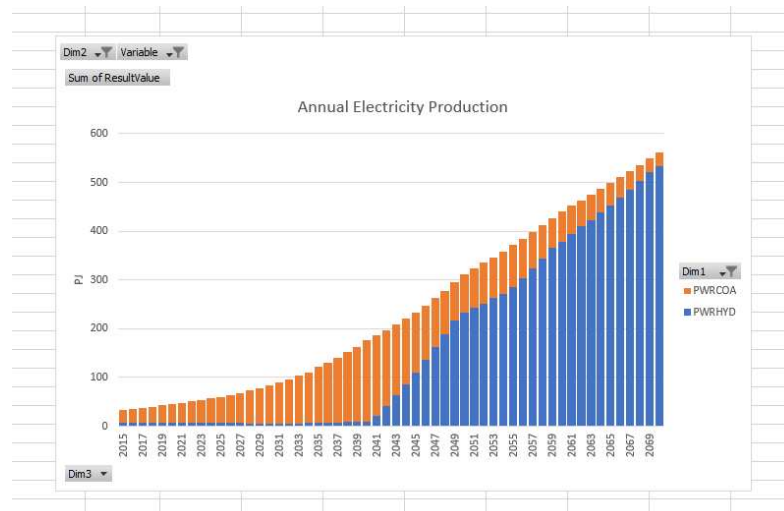
Figura 67 - Tela 5 de fonte de dados de *ResultsTemplate*.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Provavelmente a tela do arquivo de resultados ficará em branco. Para resolver isso, clique na célula B4 “Rótulos de Coluna” e selecione as tecnologias PWRHYD e PWRCOA. O resultado deve ser semelhante ao mostrado na Figura 68.

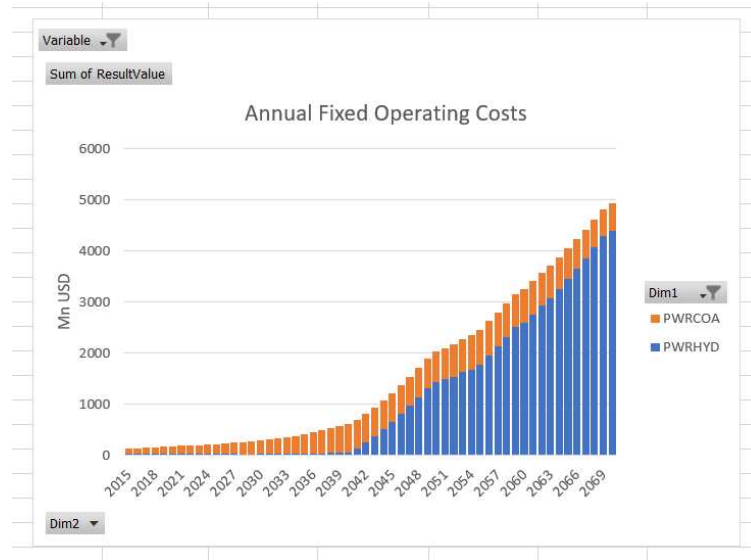
Figura 68 - Resultado produção anual de eletricidade do exemplo prático.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

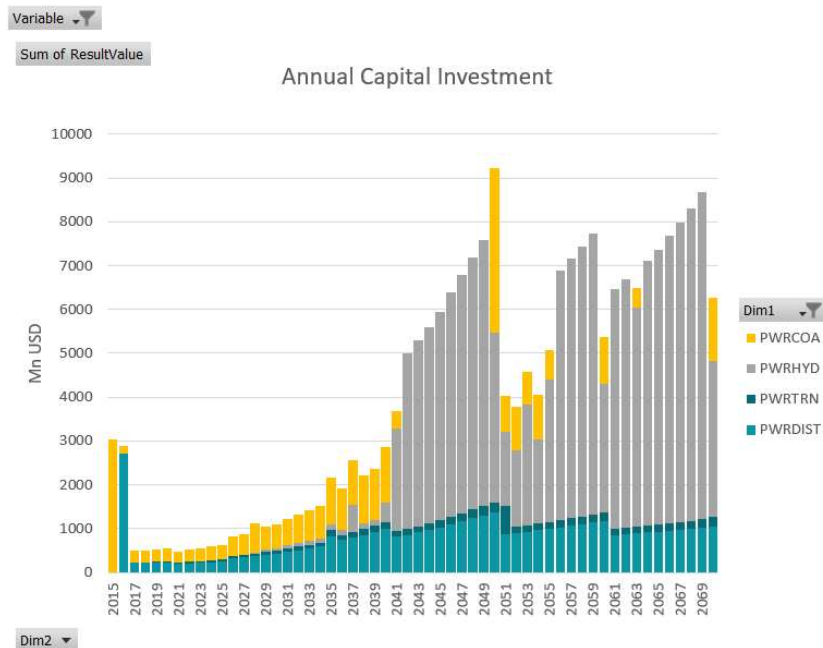
Se o usuário trocar de aba, os resultados não estarão atualizados, para isso, repita os últimos passos mostrados a partir da Figura 62 para as abas “*AnnualFixedOperatingCosts*” e “*CapitalInvestment*”. Verifique os resultados comparando as Figura 69, Figura 70 e Figura 71.

Figura 69 - Resultado de custos fixos anuais de operação do exemplo prático.



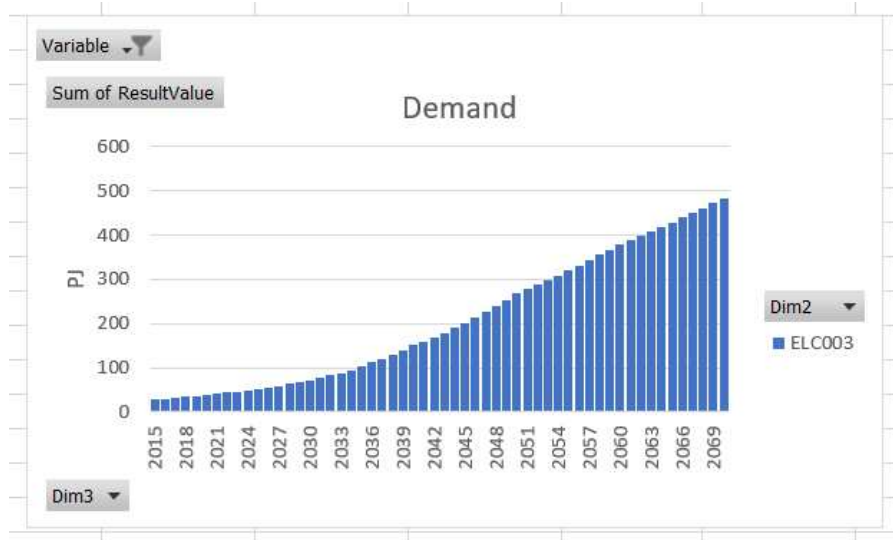
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 70 - Resultado de capital de investimento do exemplo prático.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 71 - Resultado de demanda do exemplo prático.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Deve-se salientar que os dados usados nesse exemplo foram escolhidos apenas com o intuito de ilustrar o processo de calibração de um modelo *OSeMOSYS*. Apresentando um tutorial de utilização de *OSeMOSYS* e fornecendo o conhecimento necessário ao leitor para sua utilização. A compreensão deste capítulo se faz necessária para a compreensão da descrição dos estudos de casos explicados nos próximos capítulos.

3 IRENA FLEXTOOL

Este capítulo discorrerá a respeito do software *IRENA Flextool*. O programa habilita o usuário a simular a flexibilidade de sistemas de energia elétrica no que diz respeito a suas operações, permitindo um olhar detalhado sobre os acontecimentos das redes, tanto do lado da geração quanto do lado da demanda. Neste trabalho será utilizada a interface em Excel.

3.1 SOBRE O IRENA Flextool

O *IRENA Flextool*, assim como o *OSeMOSYS*, também pode ser considerado um software de modelagem energética, porém com características voltadas para análise de flexibilidade. Ele também tem como diferencial a sua capacidade de ser consideravelmente democrático dentro das comunidades que trabalham com esses tipos de pesquisas.

Para o atual cenário em que a população mundial vive e considerando a grande escalada de inserção de energias renováveis variáveis, se faz necessário estudos minuciosos a respeito de fatores de flexibilidade da rede.

Com o *IRENA Flextool*, é possível simular cenários completos de despachos nos sistemas de energia elétrica. Baseado nas restrições impostas pelo usuário, o software consegue refletir por exemplo, melhores condições de armazenamento de energia, análise de perda ou excesso de carga, entre outras variáveis, como resultados simulações.

Além disso, é interessante o fato de que podemos utilizar os dados obtidos de resultados das simulações feitas no *OSeMOSYS* como entrada de dados do *IRENA Flextool*. Também é importante salientar que, até os dias atuais, o *Flextool* é uma das poucas ferramentas abertas e gratuita que realiza esse tipo de processo a respeito de flexibilidade em sistemas de energia, de forma completa.

3.2 OBJETIVOS DO IRENA Flextool

Segundo o próprio site oficial do (*Flextool, s.d.*), o programa foi desenvolvido pela *IRENA* (Agência Internacional para as Energias Renováveis) e o Centro de Pesquisa Técnica VTT da Finlândia Ltd. Teve como objetivo inicial dar suporte aos pesquisadores da *IRENA* nas avaliações a respeito de flexibilidade de sistemas de energia, de forma completa e rápida.

Trazendo como respostas, possíveis hiatos no comportamento da rede e fornecendo soluções com o objetivo de minimização de custos para tratar essas lacunas.

Também podemos considerar mais três objetivos bem definidos dentro do escopo de funcionamento do *IRENA Flextool*. Esses objetivos são separados como primário, secundário e terciário, como mostrado no documento (*IRENA Flextool: Summary of methodology, 2019*)

O objetivo primário é a avaliar os planos de expansão de capacidade dos sistemas de energia. Para alcançar este primeiro objetivo, os usuários devem buscar identificar possíveis carências de flexibilidade nos planos regionais. Também devem estudar a operacionalidade dos sistemas de energia, tanto para anos com natureza típica, como atípica, por exemplo, anos em que os períodos de chuva são normais e anos em que ouve seca.

O objetivo secundário é a avaliação de investimentos adicionais com bom custo-benefício. Para alcançar este objetivo, o usuário deve identificar através dos resultados, combinações de soluções de flexibilidade com os menores custos. Além disso, deve-se analisar investimentos adicionais que possibilitem a minimização dos custos operacionais e de investimentos.

Finalmente, o objetivo terciário é avaliar maiores participações de energias renováveis variáveis, as chamadas VRE, no sistema de energia. Para esse caso, o pesquisador deve executar e analisar a sensibilidade do sistema simulado a partir dos resultados numéricos e gráficos do comportamento da rede de energia, quando adicionada VRE. Deve-se também, verificar o limite da rede após o surgimento de maus resultados, como quaisquer níveis de perda de carga.

3.3 RECURSOS E ESTRUTURA SIMPLIFICADA DO IRENA *Flextool*

Este subcapítulo abordará de maneira breve e sucinta a forma como o programa *IRENA Flextool* é estruturado. Este trabalho não abordará aspectos e metodologias computacionais que são usados pelo processo de otimização do software. Para isso, é sugerido que o leitor busque pelas documentações oficiais e extra oficiais do programa, por exemplo, o documento (*IRENA FlexTool: Methodology, 2020*) e (*IRENA FlexTool: Basic Training, 2020*).

3.3.1 Premissas e Simplificações

Como ponto de partida, precisa-se definir algumas premissas e simplificações assumidas pela ferramenta. Uma dessas premissas é a otimização do modelo ser baseada no

método Simplex de programação linear envolvendo, normalmente, problemas de múltiplas variáveis e restrições.

A função objetivo se baseia na minimização de custos totais do sistema energético modelado. Estes custos incluem, por exemplo, investimentos em linhas de transmissão, entre outros; despesas com operação do sistema de energia, como, custos fixos de operação, custos variáveis de operação, custos de combustíveis e custos de partidas de usinas geradoras. Também estão inseridos no modelo custos de penalidades, como, ao ultrapassar limites de emissão de dióxido de carbono, penalidade por perda de carga e punições por margem de reserva de energia insuficiente.

Reitera-se que o leitor pode também consultar a documentação oficial sobre o modelo de otimização usado pelo programa. A documentação completa apresenta de forma mais aprofundada sobre a modelagem de otimização e computacional responsável pelo funcionamento do *IRENA Flextool*. Recomenda-se a leitura dos documentos sobre o software, como o (*IRENA FlexTool: Methodology, 2020*).

Outra simplificação do programa é a não realização de estudos relacionados a curtíssimos prazos, na casa de segundos, como os realizados para análises de estabilidade e transitórios. Também considera-se ser um modelo determinístico, baseado em um conjunto de dados conhecidos e fixos de entrada. Por conseguinte, o modelo também parte do princípio de não considerar interrupções e manutenções nos sistemas de energia estudados.

3.3.2 Dados de Entrada e de Saída

Para entender parte da estrutura do programa, o usuário deve se atentar para os dados de entrada e de resultados para saber o que se tem disponível para seus estudos. Fazendo uma relação com o *OSeMOSYS*, não conseguimos extrair dados diretamente para o *IRENA Flextool*, de forma automática, pois essas ferramentas não tem um sistema de comunicação neste nível. Porém, isso não incapacita o usuário de usar os resultados de forma manual do *OSeMOSYS* e implementar no *Flextool*.

Posto isso, a Tabela 8 apresenta a lista de dados de entrada, considerados requisitos para execução do programa, segundo o resumo de metodologia do *IRENA Flextool*.

Tabela 8 - Dados de entrada do *IRENA Flextool*.

Dados do Sistema (anual e cada nó).
Demanda, Importações, Perda e Margens de Capacidade.
Transmissão de Energia (entre os nós).
Capacidade de Transmissão e Interligação.
Dados de Capacidade de Geração (em cada nó).
Capacidade Instalada, Dados Técnicos de Geradores e Capacidade dos Reservatórios das Hidrelétricas.
Dados de Série Temporal (em cada nó e dividido em 8760 partes, representando a quantidade de horas no ano).
Demanda de Eletricidade, Fluxos Hídricos, Geração Eólica, Solar Fotovoltaica, demanda de aquecimento, caso se queira fazer estudos a respeito desse tema.
Dados de Combustíveis.
Preços de Combustíveis e Emissões.

Fonte: (*IRENA Flextool: Summary of Methodology*, 2019). Tradução do autor.

De forma complementar, a Tabela 9 mostra os dados de saída da ferramenta.

Tabela 9 - Dados de saída do *IRENA Flextool*.

Indicadores de Flexibilidade	
Perda de Carga (TWh e %)	Redução de Energias Renováveis Variáveis (TWh e %)
Escassez de Reserva (MW)	Capacidade Inadequada (MW)
Perdas (TWh)	
Despacho por Unidade Geradora e por Nó	
Transmissão entre Nós e Fator de Utilização das Linhas de Transmissão	
Custos	
Custos Operacionais	Custos de Investimentos
Custos de Combustíveis	Investimentos em Geração
Custos de Emissões de Dióxido de Carbono	Investimentos em Transmissão
Custos Gerais de Operação	Investimentos em Armazenamentos (exemplo: Baterias)
Custos de Perda de Carga	Investimentos de Acoplamento Setorial (exemplo: Veículos Elétricos)
Custos sobre a Redução de Geração (quando a geração excede a demanda)	
Preço da Eletricidade por Nó	
Informações de Rampa	
Investimentos	
Outros (custos em setores de aquecimento, por exemplo)	

Fonte: (*IRENA Flextool: Summary of Methodology*, 2019). Tradução adaptada pelo autor.

3.3.3 Indicadores para Medição de Flexibilidade

O *IRENA Flextool* permite a análise de alguns indicadores de flexibilidade do sistema elétrico representado pelo usuário. Essas evidências irão auxiliar os planejadores a conceberem melhores estratégias de projetos técnicos e realizarem melhores escolhas de investimentos futuros, visando um melhor custo-benefício.

Ainda baseado no documento de resumo da metodologia (*Summary of Methodology*, 2019) podemos ver uma metodologia para as análises de flexibilidade, fundada em quatro categorias. São elas: Perda de Carga, *Reserve Shortage*, *Curtailment* e *Spillage*.

A perda de carga acontece quando o sistema elétrico não consegue fornecer energia suficiente para uma determinada demanda. Isso, não apenas analisando a geração, mas o sistema elétrico como um todo, considerando geração, transmissão e distribuição. As causas de perda de carga podem ser variadas, incluindo-se a falta da capacidade de geração, relacionada tanto à escassez de capacidade instalada, quanto ao fator de capacidade de uma determinada usina ao longo de um ano, por exemplo. Outra causa são falhas na infraestrutura do sistema elétrico, em todos os âmbitos. Podemos também citar problemas meteorológicos, como tempestades que podem causar reduções ou interrupções nos serviços de geração ou transmissão de energia.

O *Reserve Shortage*, é a capacidade que o sistema de energia tem de se adaptar a variações de demanda ou as próprias falhas no lado da oferta, seja por aumento ou diminuição abrupta de carga ou por perdas na capacidade de geração. Garantir a capacidade de reserva de energia favorece a operação de um sistema elétrico para que este trabalhe com estabilidade, confiabilidade e flexibilidade. Novamente, a falta de infraestrutura pode atrapalhar na garantia da reserva de capacidade. Ademais, previsões erradas de carga podem ser fatais para que o sistema não consiga estabilizar essas flutuações de demanda. Por fim, as energias renováveis, podem ter grande impacto no quesito *Reserve Shortage*. Olhando especialmente para as fontes de energia eólica e solar fotovoltaica, essas fontes não apresentam controle de estabilidade naturais como hidrelétricas e termelétricas, por exemplo. A geração eólica e fotovoltaica não têm, por exemplo, eixos mecânicos com alta inércia como os geradores síncronos de hidrelétricas e termelétricas. Isso não permite, naturalmente, que essas fontes renováveis variáveis consigam manter a estabilidade a curtíssimo prazo (milissegundos ou segundos) do sistema elétrico.

O *Curtailement*, traduzindo literalmente para o português, representa redução. É a redução da geração de energia quando a carga não consegue absorver a oferta. Horários de menor demanda, como geralmente, as madrugadas e, novamente, a alta das energias renováveis, podem ser causas para o acontecimento deste efeito. A avaliação de um histórico de carga é importante para que se tenha mais controle sobre esse problema. Tecnologias de armazenamento, como baterias, que podem ser recarregadas em momentos de excesso de geração e descarregadas quando houver excesso de carga, podem ser alternativas para minimizar este tipo de efeito.

A tecnologia de *flywheels* ou também conhecidas como rodas inerciais, também podem ser consideradas, como uma alternativa. Estas últimas são eixos mecânicos nos quais a inércia é estabelecida através da energia elétrica em excesso no sistema. Quando há falta de geração, a

inércia dessas rodas, que giram em alta velocidade, consegue reverter essa energia cinética em elétrica.

Por fim, temos outro exemplo, as usinas de bombeamento, sendo muito interessantes quando se fala do cenário da matriz elétrica do Brasil, visto a capacidade hídrica que o país possui.

Produção de hidrogênio e carros elétricos também vem sendo focos de estudos pelo mundo, a fim de se desenvolver tecnologias de armazenamento.

Já o *Spillage*, representa o não aproveitamento de energia em um determinado tempo e é consequentemente desperdiçada. Por exemplo, uma usina hidrelétrica está com seus reservatórios cheios e não se pode aumentar a produção de energia, faticamente o operador da usina terá que verter a água a montante, desperdiçando-a. Em se tratando do Brasil, um estudo de qualidade sobre hidrologia e meteorologia se faz necessário para que se tenha uma otimização no nosso sistema hidrotérmico.

Esses quatro termos têm impactos significativos na flexibilidade de um sistema elétrico e também impactos consideráveis nos custos para toda cadeia de energia. A inserção de energia renováveis variáveis, principalmente eólica e solar fotovoltaica, deve ser feita com toda cautela e planejamento minucioso possível para que não se tenha surpresas no futuro, pois esses tipos de fontes podem interferir de forma bem relevante na estabilidade dos sistemas energéticos.

3.4 ABRINDO O *IRENA Flextool* PELA PRIMEIRA VEZ

Neste subcapítulo não será feito um passo-a-passo detalhado como no Capítulo 2, porém, serão apresentadas todas as informações necessárias para que um usuário consiga baixar, instalar e executar o programa pela primeira vez.

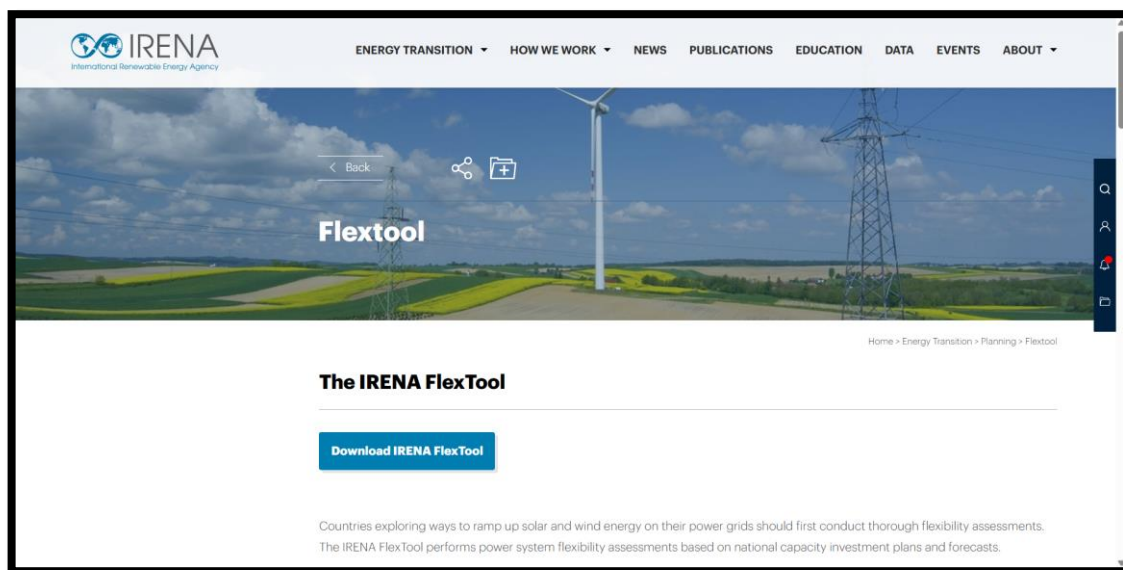
Para começar, assim como para a instalação e utilização do *OSeMOSYS*, o usuário deve se certificar de que o computador no qual rodará o programa, esteja configurado para o idioma inglês. Ademais, certifique-se de desativar quaisquer antivírus, ao menos em um primeiro momento, para a execução do programa.

3.4.1 Baixando e Instalando o *IRENA Flextool*

De início, o usuário deverá contar com o software Excel em seu computador. Depois, recomenda-se o uso do link <https://www.irena.org/energytransition/Energy-System-Models-and-Data/IRENA-FlexTool>, para acessar a página da ferramenta (*FLEXTOOL*, *s.d.*). Caso o

link não funcione, é necessário que o leitor interessado busque pelo site do *IRENA* e depois pela ferramenta, em algum motor de pesquisa de algum navegador. Após acessar o *link*, o usuário terá que preencher um formulário e fornecer um e-mail, pelo qual o órgão fornecerá o programa. Veja a Figura 72.

Figura 72 - Baixando o *IRENA Flextool*.

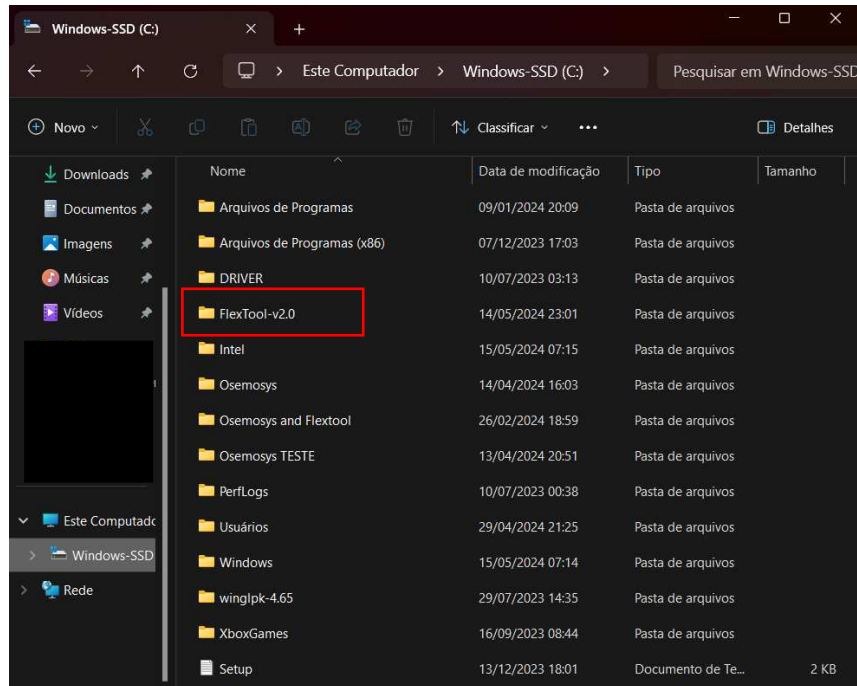


Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Feito isso, deve-se acessar o *e-mail* cadastrado no formulário preenchido e fazer o *download* do arquivo. O usuário poderá escolher qualquer pasta para alocar o programa. No caso deste trabalho, o arquivo foi inserido no disco local C (C:\FlexTool-v2.0), como mostra a Figura 73.

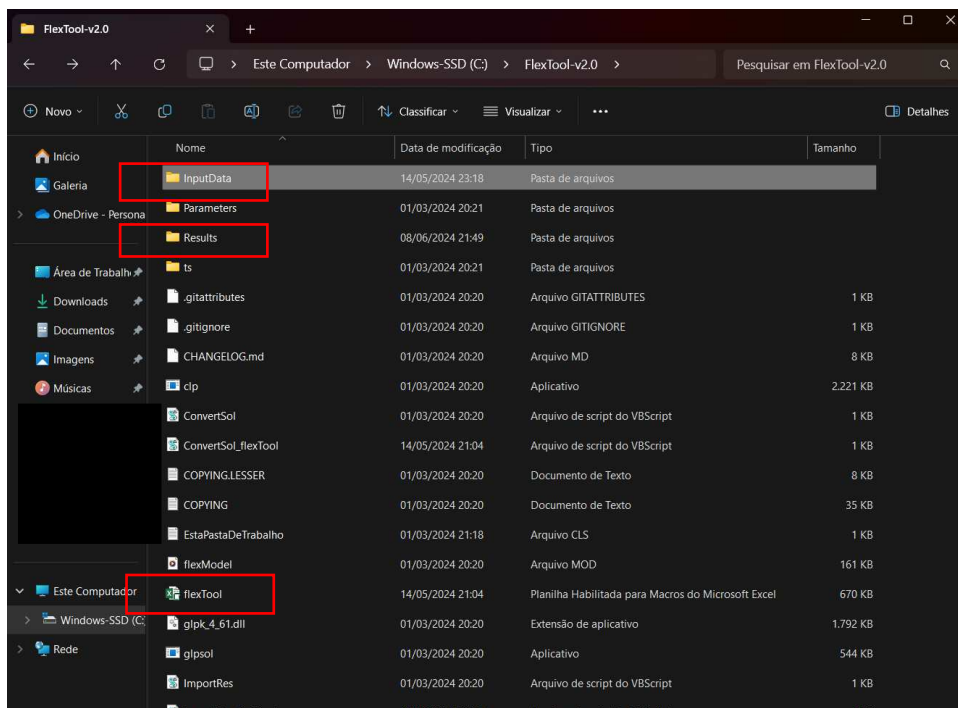
Ao abrir a pasta do programa, o usuário irá se deparar com vários arquivos. Os principais arquivos que se deve ter atenção são as pastas “*InputData*”, “*Results*” e o arquivo em Excel “*flexTool*”. Veja a Figura 74.

Figura 73 - Local de instalação do *IRENA Flextool*.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 74 - Arquivos da pasta *Flextool*.



Fonte: Elaborado pelo auto (2024).

3.4.2 Executando o IRENA *Flextool*

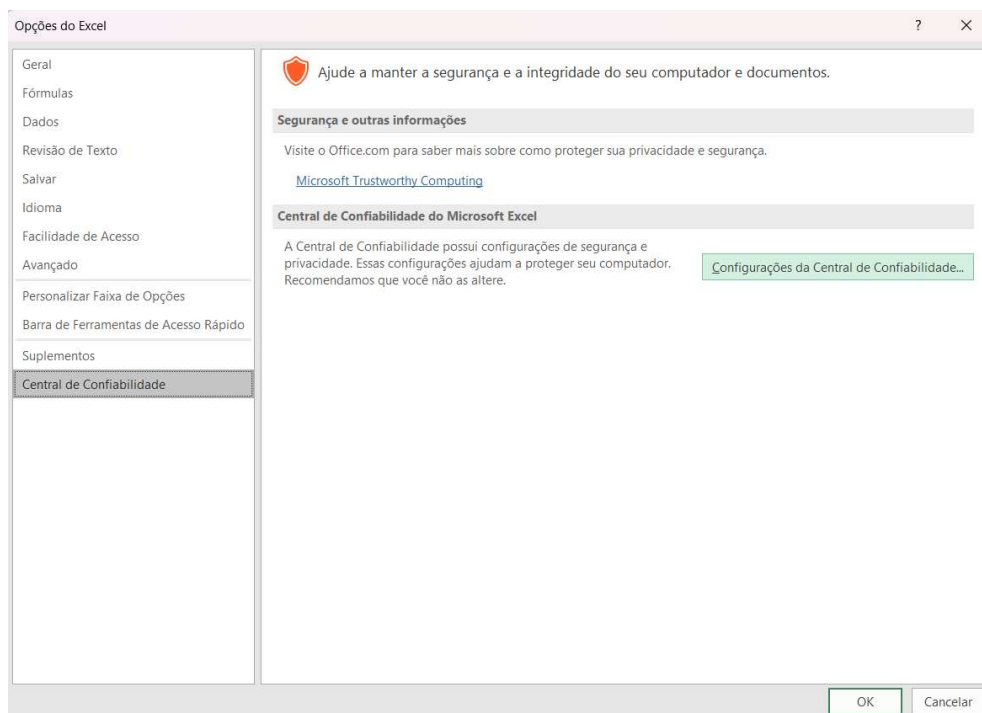
Para dar início a utilização, deve-se abrir o arquivo em Excel, intitulado “*flexTool*”, como destacado na Figura 74.

Depois, caso apareça uma mensagem pedindo para habilitar conteúdo, habilite.

Posteriormente, após aberto o arquivo em Excel, clique em “Arquivo” no canto superior esquerdo, clique em “Opções”, depois em “Central de Confiabilidade” e por fim “Configurações da Central de Confiabilidade”, como mostra a Figura 75.

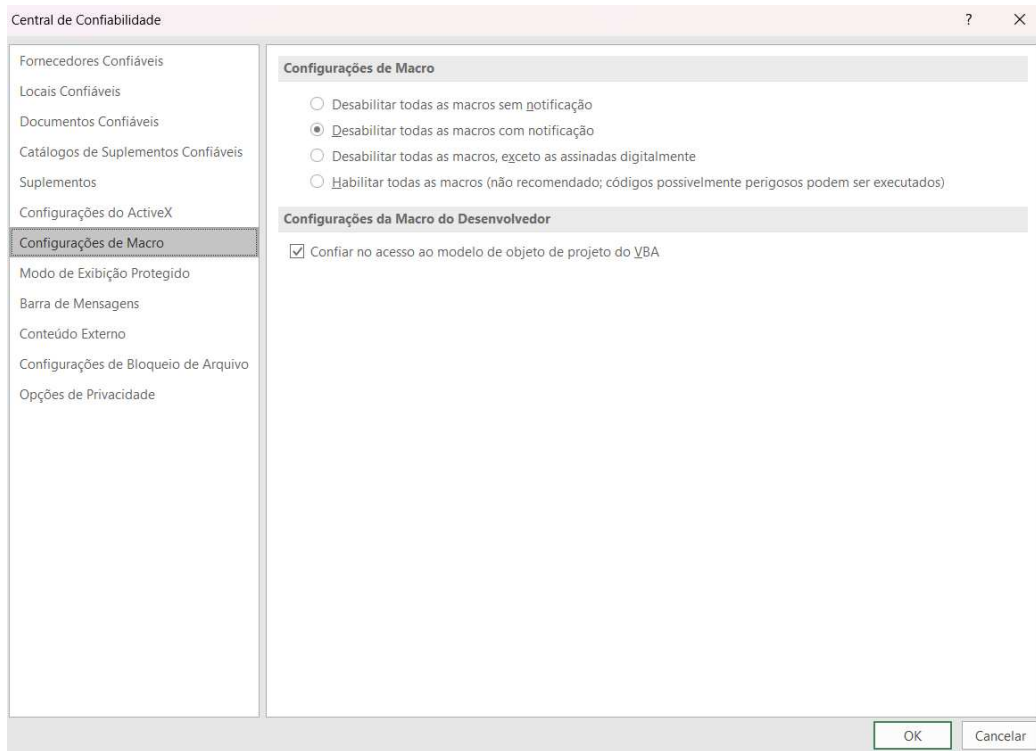
Após esse procedimento, clique em “Configurações de Macro” e depois deixe marcada a caixa “Confiar no acesso ao modelo de objeto de projeto do VBA”. Para finalizar, clique em “OK”. Observe a captura de tela da Figura 76.

Figura 75 - Opções do Excel.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

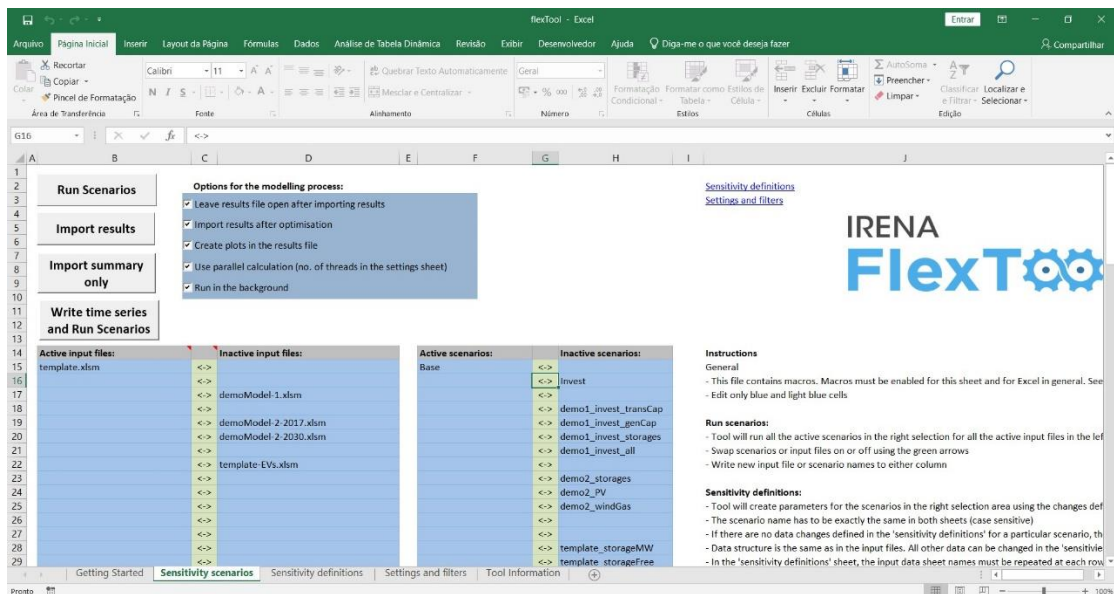
Figura 76 - Central de confiabilidade do Excel.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Após isso, o usuário terá a seguinte tela, conforme mostra a Figura 77.

Figura 77 - Tela inicial do IRENA Flextool.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Certifique-se que esteja na aba “*Sensitivity scenarios*”. Como estas orientações são apenas para título de testes, o usuário pode deixar as informações pré-estabelecidas como mostra a Figura 77.

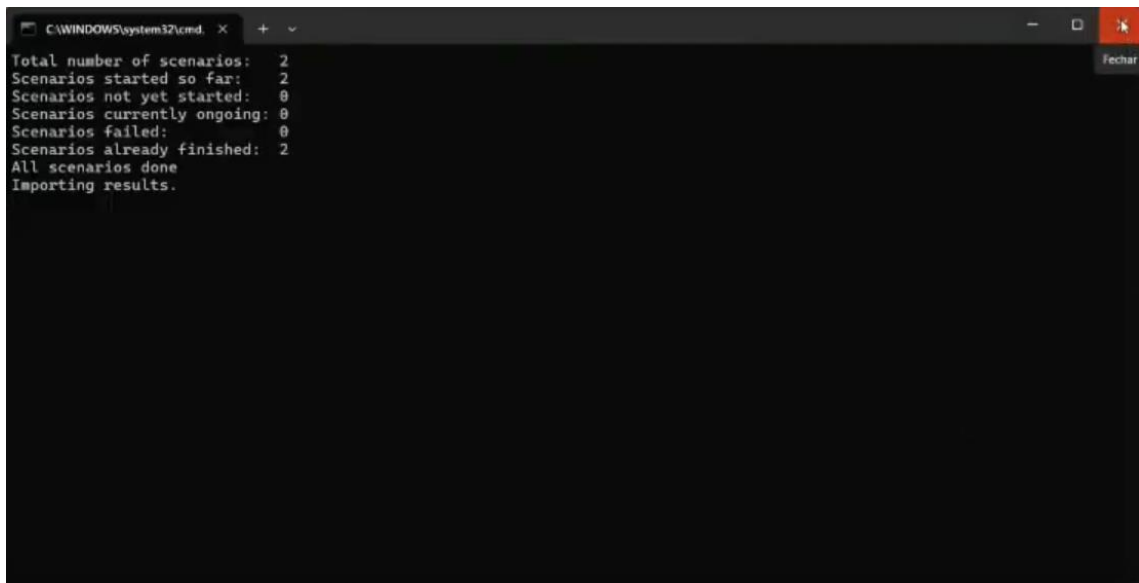
Na coluna de “*Active input files*” deixe o arquivo “*template.xlsm*” selecionado. Caso não esteja selecionado, dê um duplo clique na linha 15 e escolha o documento “*template.xlsm*” na pasta “*InputData*” no local onde se instalou a ferramenta.

Na coluna “*Active scenarios*”, o usuário pode deixar apenas o cenário “*Base*” e pode adicionar ou não na execução, o cenário “*Invest*”.

Após isso, deixe tudo marcado em relação a coluna “*Options for the modelling process*” e clique em “*Run Scenarios*”.

Ao clicar em “*Run Scenarios*” o programa começará a executar a otimização do modelo e aparecerá no visor do computador uma tela preta, semelhante ao prompt de comando do Windows. Depois disso, deverá aparecer outra tela, esta tela representa o arquivo de resultados do modelo e pode ser encontrado na pasta “*Results*”, conforme mostram as Figura 78 e Figura 79, respectivamente.

Figura 78 - Execução dos cenários no *IRENA Flextool*.



```
C:\WINDOWS\system32\cmd. x + v
Total number of scenarios: 2
Scenarios started so far: 2
Scenarios not yet started: 0
Scenarios currently ongoing: 0
Scenarios failed: 0
Scenarios already finished: 2
All scenarios done
Importing results.
```

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 79 - Tela de resultados do *IRENA Flextool*.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Update sheets window	template						
2		Base						
3	Status	Optimal		If the status is not optimal, then the results are not correct				
4	Optimal objective	1,06E+11		Objective value as given by the solver				
5	Iterations	211		Number of iterations the solver performed before finding the optimal solution				
6	Solving time (s)	0,382		How long the solver took to find the solution - does not including data processing before and after the solver				
7								
8	Total cost obj. function (M EUR)	106431		Minimized total system cost as given by the solver (includes all penalty costs and curtailment payment for VRE generation not curtailed)				
9	Total cost calculated (M EUR)	107108,2721		Total cost calculated from variables and cost parameters				
10	...Operational cost of units (M EUR)	1357,965577						
11	...Investment cost of units (M EUR)	0						
12	...Investment cost for transfers (M EUR)	0						
13	...Penalty costs (M EUR)	105750,3066						
14	...Curtailment payments (M EUR)	55,37235204						
15								
16	Time in use in years	0,022146119		The amount of time selected by the in_use or in_use_invest in the ts_time sheet of the input data				
17	Full time series in years	1		The selected plus non-selected time defined in the ts_time sheet				
18								
19	Emissions							
20	CO2 (Mt)	5,38523		System-wide annualized CO2 emissions				
21								
22	General results	elec						
23	VRE share (% of annual demand)	26,59		Energy share of VRE				
24	Loss of load (% of annual demand)	21,06		Share of unserved energy				
25	-> ramp up constrained (% of annual demand)	0		Unserved energy caused by upward ramp limitations				
26	Excess load (% of annual demand)	0,4634		Additional demand caused by minimum generation constraints				
27	Insufficient reserves (% of reserve demand)	0		Share of unserved reserve				
28	Insufficient inertia (% of inertia demand)	0		Share of unserved inertia (out of total required MWs)				
29	Curtailment (% of VRE gen.)	11,9		Share of curtailed VRE out of total available VRE				

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

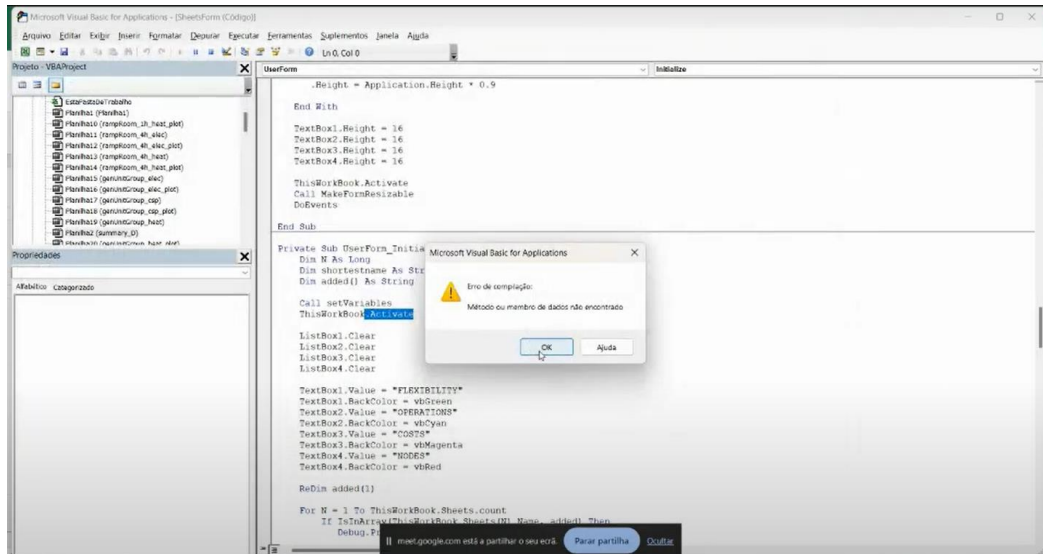
Este arquivo de resultados, mostra todos os parâmetros de saída que o *IRENA Flextool* pode oferecer. No canto direito, pode-se observar um sumário que facilita a navegação do usuário em busca das variáveis de saída do programa. Este sumário está dividido em dados de flexibilidade, dados de operações, custos e por nós. Na aba “*summary_D*” pode-se obter grande parte dos dados mais relevantes a respeito do sistema simulado.

3.4.3 Resolvendo Problema com Idioma

Este subcapítulo relatará um problema ocorrido com o autor e que pode vir acontecer com usuários que possuem computadores com sistema operacional *Windows Single Language* e tenham a opção de idioma fixada em português. A falta flexibilidade de trocar o idioma pode ocasionar um problema na execução do software. Isso não impactará em resultados errados, porém o usuário não conseguirá contar com a barra de sumário para que a navegação fique mais fluida.

Neste problema, ao decorrer da simulação a ferramenta trava a execução e surge a seguinte tela, conforme mostra a Figura 80. Nela podemos ver as seguintes mensagens: “Erro de compilação” e “Método ou membro de dados não encontrados”.

Figura 80 - Erro de compilação (incompatibilidade de idioma).



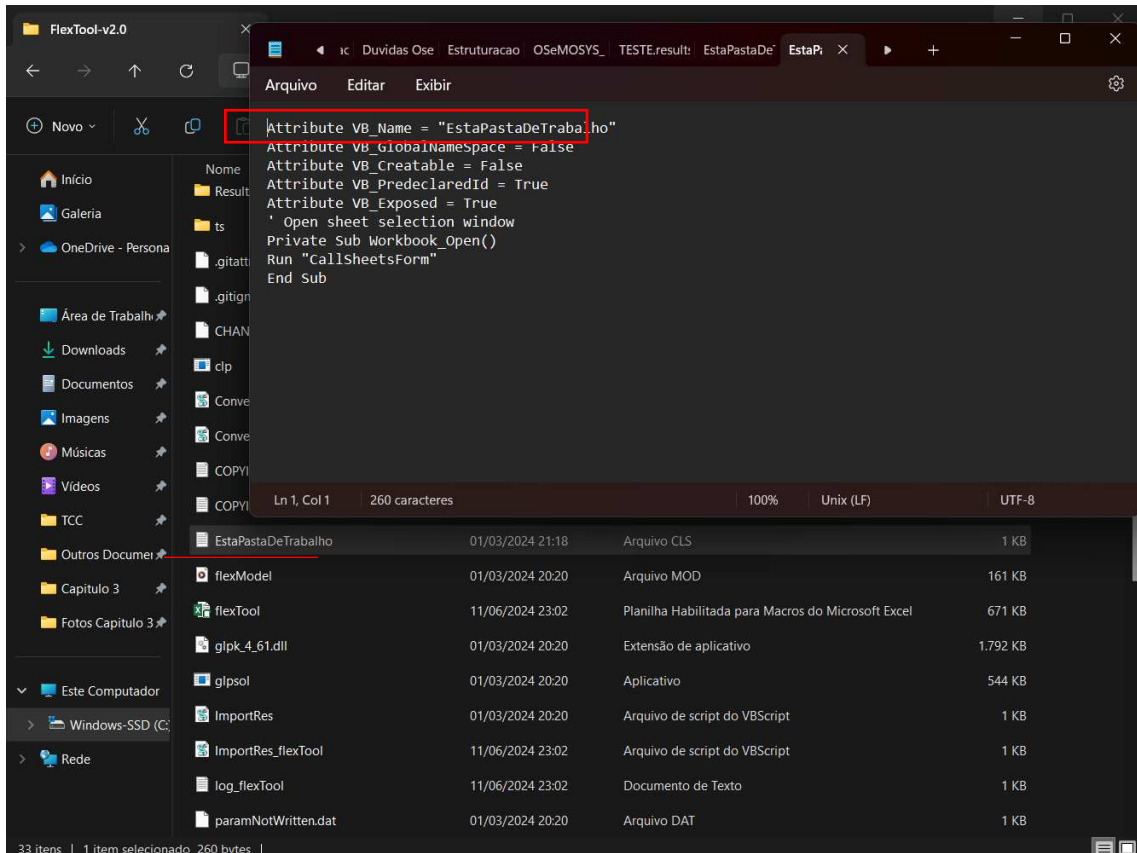
Fonte: Elaborado pelo Autor (2024).

Para a solução deste ocorrido, o usuário deve seguir as seguintes etapas.

Primeiramente deve-se fechar o programa caso esteja aberto. Posteriormente, deve-se ir na pasta onde se encontra a ferramenta e abrir o arquivo “*ThisWorkbook*”, nele o usuário deve trocar a linha “*Attribute VB_Name = “ThisWorkbook”*” para “*Attribute VB_Name = “EstaPastaDeTrabalho”*”. Tem-se que salvar o arquivo de texto e também trocar o nome do arquivo “*ThisWorkbook*” para “*EstaPastaDeTrabalho*”. Siga o procedimento da Figura 81.

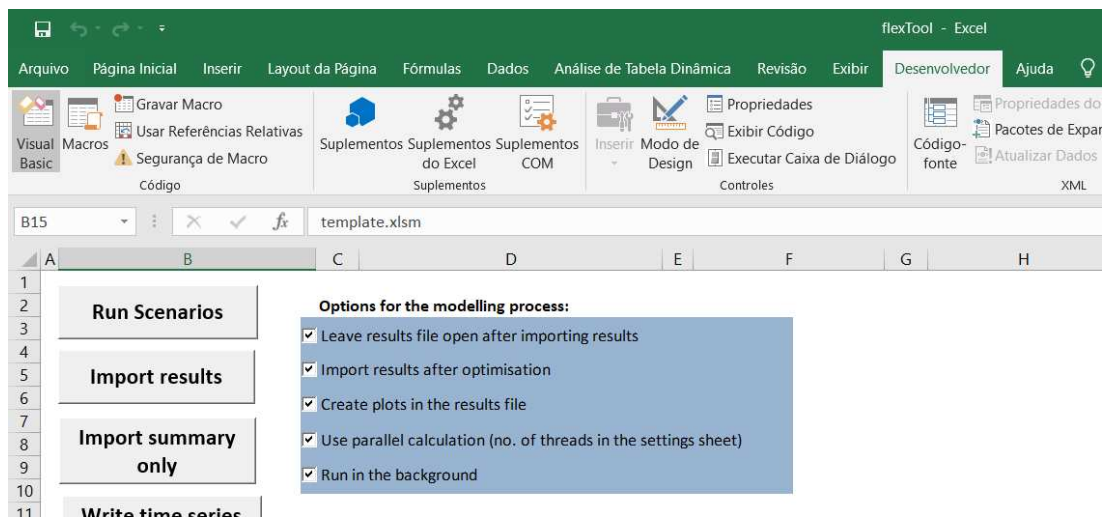
Feito isso, o usuário deve abrir o arquivo novamente. Ao iniciar, clique na aba “Desenvolvedor” na parte superior do Excel, caso não esteja habilitada a aba “Desenvolvedor”, habilite-a. Posteriormente clique em “*Visual Basic*” no canto superior esquerdo. Siga o exemplo da Figura 82.

Figura 81 - Pasta a ser modificada (erro de idioma).



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

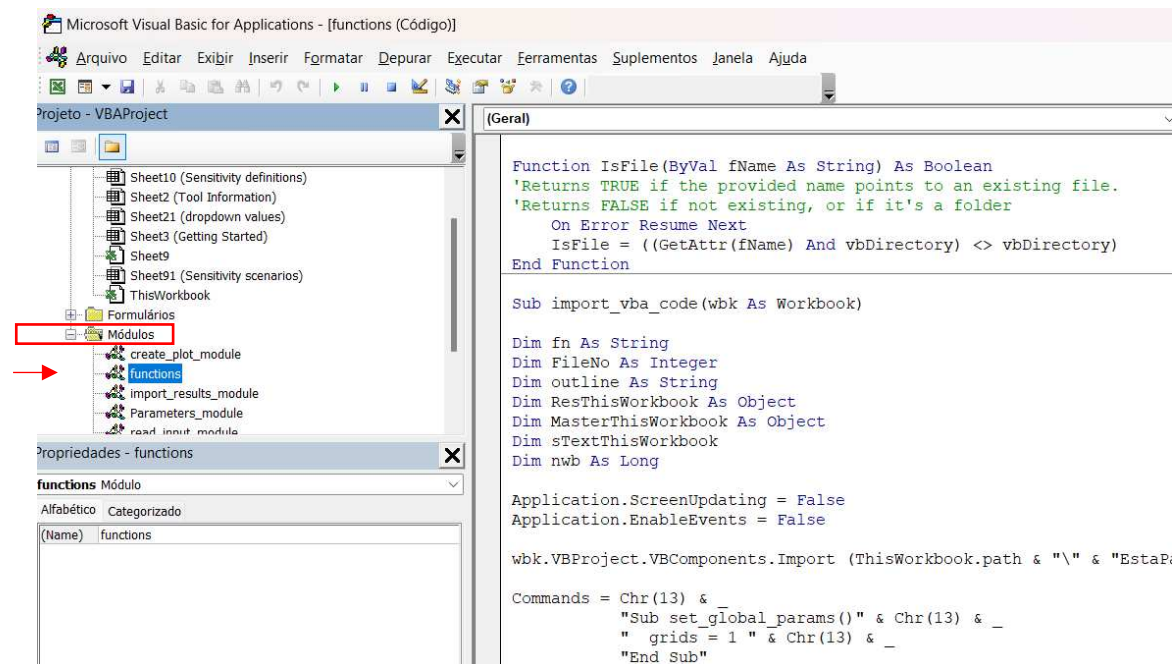
Figura 82 - Acessando *Visual Basic* do *IRENA Flextool*.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Já no ambiente de desenvolvimento do Excel, no canto superior esquerdo, escolha a pasta “Módulos” e dê um duplo clique em “*functions*”, como mostrado em destaque na Figura 83 .

Figura 83 - Ambiente de desenvolvimento do Excel.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

No ambiente de desenvolvimento procure pela linha 553 do código e troque a linha que contém o escrito “wbk.VBProject.VBComponents.Import (ThisWorkBook.path & “\” & “ThisWorkBook.cls)”” por “wbk.VBProject.VBComponents.Import (ThisWorkBook.path & “\” & “EstaPastaDeTrabalho.cls)””. Salve o ambiente de desenvolvimento e feche os arquivos. Ao abrir novamente, o usuário não terá mais problemas de compilação do código e com o surgimento do sumário no documento de resultados.

Este problema decorre do fato de existir um conflito de idiomas entre os arquivos. O arquivo principal, denominado “*flextool*” é escrito em inglês, com seus módulos dos macros consequentemente vindo neste idioma. Mas, se o usuário tiver o Excel em outro idioma, o arquivo “*Results*” será criado com o idioma do Excel instalado na máquina do usuário. Esse fato, cria um conflito nas chamadas das funções dos macros entre os arquivos.

3.5 RECOMENDAÇÕES

Viu-se neste capítulo um pouco de como o *Flextool* funciona e suas capacidades no que diz respeito a oferecer ao usuário resultados a custo zero e boa sensibilidade de acordo com os parâmetros passados ao programa.

Esta ferramenta poderosa tem a capacidade de ajudar comunidades, independentemente de sua dimensão, seja regional ou nacional, a planejarem a criação e execução de políticas para seus respectivos sistemas de energia, envolvendo tanto partes técnicas quanto partes econômicas, otimizando custo e operacionalidade. Além disso, países pouco desenvolvidos ou emergentes podem se beneficiar muito com o programa, já que o mesmo se encontra de forma gratuita.

A capacidade de otimização entre custos e flexibilidade, além da relativa facilidade do seu uso por tratar-se de envolver uma interface em Excel, são os pontos fortes/favoráveis ao uso do *Flextool*. Por mais que se apresente como um recurso para um nicho de estudiosos e usuários, ele se apresenta como uma ferramenta intuitiva e seus documentos oficiais de apoio e ensino também são bons. Aliás, por ser um programa de código aberto, se reforça cada vez mais ao longo do tempo como um uma ferramenta extremamente útil quando se tem grande penetração de energias renováveis variáveis como energia solar fotovoltaica e eólica.

Porém, o *software* também apresenta pontos a serem melhorados. Por mais que se tenha documentações por escrito de como funciona o *IRENA Flextool*, seria interessante que os desenvolvedores criassem vídeos e exercícios práticos, como acontece com o *OSeMOSYS*.

O fortalecimento e expansão da comunidade, com a criação de fóruns, também seria de grande valia, já que permitiria uma maior integração e comunicação dos usuários, compartilhamento de experiências, dificuldades, melhorias. Essa dinâmica propicia possíveis ganhos quando se trata de disseminação de informações e desenvolvimento do sistema.

Em resumo, o *IRENA Flextool*, assim como o *OSeMOSYS*, também é um grande aliado, poderoso e democrático, para estudos de planejamento energético ao redor do planeta.

4 SIMULAÇÕES

Este capítulo apresentará as simulações propostas pelo autor. Serão mostradas cinco simulações em *OSeMOSYS* e uma em *Flextool* para posteriormente, averiguar os resultados analisando as combinações de gerações preestabelecidas. Serão 5 casos representados em *OSeMOSYS*, são eles:

1. termelétrica a óleo combustível e hidrelétrica;
2. termelétrica a óleo, hidrelétrica e eólica;
3. termelétrica a óleo, hidrelétrica, eólica e fotovoltaica;
4. termelétrica a biomassa (bagaço de cana-de-açúcar), hidrelétrica, eólica e fotovoltaica;
5. termelétrica nuclear, hidrelétrica, eólica e fotovoltaica.

Já no *Flextool*, será simulado apenas um modelo baseado no caso 5, o qual em *OSeMOSYS* se mostra mais diversificado e com menores custos.

O trabalho não simulará um sistema energético real, porém utilizará dados realísticos da região Nordeste do Brasil, captados de diversas fontes oficiais do governo brasileiro e prestadores de serviços do setor energético, que ao longo do texto serão citadas.

Para facilitar o entendimento do leitor, este capítulo será dividido entre as simulações em *OSeMOSYS* e posteriormente simulações em *Flextool*.

4.1 METODOLOGIA PARA PARÂMETROS: *OSeMOSYS*

As simulações em *OSeMOSYS*, como já dito no Capítulo 2, foram realizadas na interface *ClicSAND*. Este subcapítulo começará abordando os parâmetros comuns a todos os casos simulados. Estes parâmetros são: *CapacityToActivityunit*, *DepreciationMethod*, *DiscountRate*, *SpecifiedAnnualDemand*, *SpecifiedDemandProfile*, *ReserveMargin*, *ReserveMarginTagTechnology*, *AnnualEmissionLimit*, *OutputActivityRatio* e o *TimeSlice*, este último parâmetro, definido por *YearSplit*.

AnnualEmissionLimit foi definido como 70 milhões de toneladas de CO₂, valor baseado (ENERGIA E AMBIENTE, 2021), na qual diz que entre os anos de 2000 a 2018, no setor de energia houve um salto de 30 milhões de toneladas de emissões de CO₂ para 70 milhões. É importante ressaltar que este parâmetro é utilizado no segundo caso em diante.

Em *CapacityToActivityUnit*, foi utilizado o valor de 8760 GWh para todas as tecnologias de geração (PWROHC, PWRHYD, PWRWND, PWR SOL, PWRBIO e PWRNUC) e 1 para as tecnologias de energias primárias (MINOIL, MINHYD, MINWND, MINSOL, MINBIO e MINURN). O *CapacityToActivityUnit* pode ser entendido uma constante de conversão representando a quantidade de energia produzida por uma unidade de capacidade, que para este trabalho será de 1 GW, durante as 8760 horas do ano. Por isso, considerando que a fonte geradora gere energia durante todo o ano, tem-se os 8760 GWh.

DiscountRate e *DepreciationMethod* tiveram valores de 0,1 e 1, respectivamente. Estes valores são tidos como padrão quando se cria um arquivo de inserção de dados no programa e assim foram mantidos.

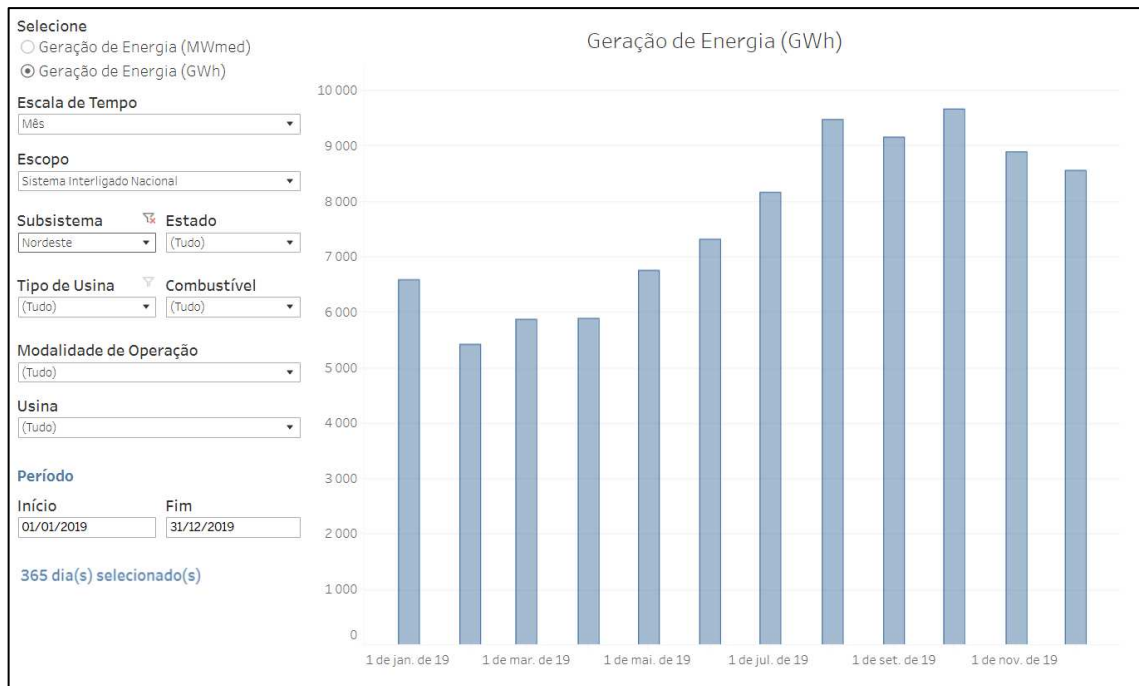
OutputActivityUnit teve como valor padrão para todas as tecnologias, 1.

Após isso, a próxima variável a se definir é o *TimeSlice* através do *YearSplit*. Neste trabalho foi definido um *TimeSlice* de 8 divisões, representando o dia e noite das 4 estações do ano. O valor para cada *TimeSlice*, portanto foi de 0,125 (iguais para todos os *TimeSlices*), válidos para todos os anos.

SpecifiedAnnualDemand que representa a demanda anual de energia do sistema modelado em GWh, foi baseada na demanda de energia elétrica total do Nordeste brasileiro. Os dados de 2015 a 2023 foram retirados do documento “Consumo Mensal de Energia Elétrica por Classe (regiões e subsistemas)” que pode ser encontrado em (EPE, s.d.). Após o ano de 2023 foi acrescentado um valor de 2,47% ao ano para a demanda de energia elétrica até 2070. Esse valor de crescimento foi baseado na média de crescimento de demanda do mesmo documento entre os anos de 2015 e 2023.

Para *SpecifiedDemandProfile* os valores foram baseados nos perfis de geração também do nordeste brasileiro. Por inspeção visual e numérica, a análise da geração de energia elétrica no Nordeste foi feita através do site do ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico) na página de Histórico de Operação - Geração de Energia, (ONS, s.d.a.). Pode-se observar um perfil de geração ao longo do ano conforme mostra a Figura 84. Este perfil de geração não muda consideravelmente no período observado entre 2015 e 2023.

Figura 84 - Perfil de geração do nordeste brasileiro.



Fonte: (ONS, s.d.a).

ReserveMargin e *ReserveMarginTagTechnology* são parâmetros que não são abordados no Capítulo 2. *ReserveMargin* ou traduzindo, “margem de reserva”, é um parâmetro que visa impor um limite mínimo de capacidade instalada de energia elétrica para que um determinado sistema consiga suprir picos inesperados de demanda elétrica. Por exemplo, observa-se que um determinado sistema elétrico tem um pico de demanda de 1 GW sazonalmente e se quer ter uma margem de reserva de 20% superior a este valor. Portanto, o sistema elétrico deve ter uma capacidade instalada de 1,2 GW.

Já o *ReserveMarginTagTechnology*, é um parâmetro binário, com valores de 0 ou 1, sendo 1 utilizado para marcar as tecnologias que precisarão disponibilizar margem de reserva e 0 para as que não precisam. Geralmente, usa-se 1 para marcar tecnologias de geração que são despacháveis, como, usinas termelétricas e hidrelétricas.

Para as simulações foi utilizado um *ReserveMargin* de 15% a mais, ou seja, 1,15 para todos os anos modelados. Para *ReserveMarginTagTechnology* foi utilizado o valor de 1, também para todos os anos, para marcar as seguintes usinas: hidrelétrica, termelétrica a óleo combustível, termelétrica a biomassa e term nuclear.


É válido salientar que todos os campos no documento de inserção de dados que tem valores padrões de 99.999 e 0,0001, passaram a ter valores de 9.999.999.999 e 1e-8. Esta mudança foi essencial para os obtenção dos resultados, visto que a representação do 99.999 é

de um valor muito alto, porém os valores de entrada obtidos para modelagem, ultrapassavam o valor de 99.999, ao mesmo tempo que $1e-4$ representa valores pequenos. Porém, como algumas unidades de medida não foram mantidas como padrão, também se fez necessário a atualização destes valores.

Outra abordagem comum a todos os casos é para as tecnologias PWRTRN, representando a transmissão de energia elétrica e BACKSTOP, funcionando como uma tecnologia que visa promover a segurança energética no sistema modelado, garantindo que a demanda seja sempre atendida, mesmo em ocasiões extremas.

Para a tecnologia PWRTRN o valor de *CapacityFactor* foi de 1 para todos os *TimeSlices* e para todos os anos. O *CapacityToActivityUnit* teve valor de 8760, representado em GWh. O valor de *CapitalCost* foi de US\$300,00 por ano e o *FixedCost* de US\$36,00 por ano. Estes últimos dois valores foram retirados de (EPE e MME, 2021) para uma linha de transmissão construída entre os subsistemas Norte e Nordeste. Observe a Figura 85.

Figura 85 - Custos de transmissão.



Interligação	Vida útil (anos)	Investimento (R\$/kW)	Custo Anual/Investimento	Custo (R\$/kW/Mês)
N-SE, N-S	25	1.800	13%	19,50
NE-SE, N-NE	25	1.400	13%	15,17
SE-S	25	800	13%	8,67

Fonte: (EPE e MME, 2021).

Para *InputActivityRatio* foi utilizado o valor de 1,05 para todos os anos, considerando uma perda de 5% nas linhas de transmissão. Este valor é padrão dos *Hands-on* do curso citado no Capítulo 2 de *OSeMOSYS* e foi mantido. Além disso, o combustível de entrada foi ELC001 (energia produzida na geração).

O tempo de vida ou *OperationalLife* foi de 25 anos, como mostra a Figura 85.

Para a tecnologia de BACKSTOP, o objetivo foi deixá-la a mais custosa possível. Para isso, altera-se apenas os campos de *TotalAnnualMaxCapacity*, *TotalAnnualMaxCapacityInvestment*, *TotalTechnologyAnnualActivityUpperLimit*, *TotalTechnologyModelPeriodActivityUpperLimit*, *CapitalCost*, *FixedCost* e *VariableCost*

para o valor de 9999999999. Colocou-se o valor de 1 para *CapacityToActivityUnit* e *OutputActivityUnit* (combustível ELC002). Para *OperationalLife* preencheu-se com o valor de 80 anos.

Por fim, as tecnologias de extração ou potencial, representadas neste trabalho por MINOIL, MINHYD, MINWND, MINSOL E MINURN, foram padronizadas com os mesmos valores para todos os parâmetros. O valor de *CapacityToActivityUnit* e *OperationalLife* foi de 1. *CapitalCost* e *VariableCost* valor de 0,00000001. Os valores de *TotalAnnualMaxCapacity*, *TotalTechnologyModelPeriodActivityUpperLimit*, *TotalAnnualMaxCapacityInvestment*, *TotalTechnologyAnnualActivityUpperLimit* e foram 9999999999.

4.1.1 Caso 1 (OSeMOSYS): PWROHC E PWRHYD

Neste primeiro caso, será abordado um sistema energético utilizando uma termelétrica a óleo combustível e hidrelétrica. Para isso, foram adicionadas 4 tecnologias no sistema, são elas: MINOIL, MINHYD, PWROHC, PWRHYD. Além de 4 combustíveis, representados por: ELC001, ELC002, OIL e HYD.

4.1.1.1 Modelagem da Usina Termelétrica a Óleo Combustível

Para modelagem de PWROHC (termelétrica a óleo combustível) foi empregado um *CapacityFactor* de 0,8 para todos os anos e *TimeSlices*, baseado no fator de capacidade fornecido pelos *Hands-on* do curso citado no Capítulo 2 sobre OSeMOSYS. Para os valores de *CapitalCost*, *FixedCost* e *VariableCost* foram analisados os documentos: PNE 2030 – Geração Termelétrica: Carvão Mineral; PNE 2030 – Geração Termelétrica: Gás Natural; PNE 2030 – Geração Termelétrica: Petróleo e Derivados, (EPE e MME, 2006-2007, 2006-2007b, 2006-2007c). Por conta da data de publicação, tinha-se alguns valores distorcidos dos custos para utilizar atualmente. Ao analisar estes documentos, foi constatado que as termelétricas a carvão mineral e óleo combustível, tem valores próximos para os custos. Após isso, foi observado na “Nota Técnica PR 07/18 de premissas e custos de energia elétrica” (EPE e MME, 2018), os valores de custos de uma térmica a carvão e utilizado para PWROHC. Baseado nessa situação, o valor selecionado para *CapitalCost* de PWROHC foi de US\$1.500,00/kW. Para *FixedCost* e *VariableCost*, foram utilizados os valores de US\$70,00/kW/ano e US\$0,15/kWh, respectivamente.

Foi considerado para PWROHC uma eficiência global de 32%, com isso o *InputActivityRatio* ficou em 3,125. Para a mesma tecnologia, também foi considerado um tempo de vida, ou *OperationalLife* de 30 anos. Em relação a esta fonte, não foi considerada nenhuma restrição de produção acerca de limites de investimentos e produção, portanto os valores de *TotalAnnualMaxCapacity*, *TotalAnnualMaxCapacityInvestment*, *TotalTechnologyAnnualActivityUpperLimit* e *TotalTechnologyModelPeriodActivityUpperLimit* ficaram em 9999999999.

Já o *ResidualCapacity* tem como referência os dados de geração obtidos em (ONS, s.d.b.). Foram capturados dados de geração das seguintes usinas termelétricas a óleo combustível: Arembepe, Bahia 1, Geramar 1, Geramar 2, Global 1, Global 2, Maracanau 1, Muricy, Pernambuco 3, Petrolina, Suape 2, Termocabo, Termonordeste e Termoparaíba, entre os anos de 2015 a 2023. Juntas essas usinas têm somadas uma capacidade instalada de aproximadamente 2,235 GW, por isso de 2015 a 2023 foi utilizado este valor. A partir de 2023 começa um declínio no *ResidualCapacity* até 2052, completando a vida útil de 30 anos dessas usinas. Para calcular essa queda, foi feita uma interpolação entre 2023 e 2052, com os valores começando em 2,235 GW até chegar em 0 GW. Este processo foi utilizado para que não tivessem resultados atípicos e abruptos de quedas de capacidade instalada e foi realizado para todas as tecnologias que possuem capacidade residual.

Para finalizar esta tecnologia, foi colocado um *EmissionActivityRatio* de 0,000814 Mt/GWh para dióxido de carbono (CO₂), baseado na usina de Arembepe que se situa no município de Camaçari, na Bahia. Este valor foi visto na publicação do IEMA (Instituto de Energia e Meio Ambiente) intitulada de “Emissões de gases de efeito estufa de usinas termelétricas cresceram 75%” (ENERGIA E AMBIENTE, 2022). Nas primeiras simulações descartadas, foi visto que se tinha perda de geração e a tecnologia de BACKSTOP começava a atuar, o que não se queria neste trabalho. Por isso, neste primeiro caso não foi utilizado limites de emissões de dióxido de carbono (CO₂).

4.1.1.2 Modelagem da Usina Hidrelétrica

Em se tratando de PWRHYD (usina hidrelétrica), foi utilizado um *CapacityFactor* baseado na produção e capacidade instalada das usinas hidrelétricas do Nordeste brasileiro, pegando como base as páginas de geração de energia (ONS, s.d.a.) e capacidade instalada de geração no site do ONS (ONS, s.d.b.). Considerou-se as estações do ano da seguinte maneira: Verão de 21 de dezembro a 21 de março, Outono de 21 de março a 21 de junho, Inverno de 21

de junho a 23 de setembro e Primavera de 23 de setembro a 21 de dezembro. Posteriormente, dividiu-se a energia total produzida pelas hidrelétricas no Nordeste no período de cada estação, pela multiplicação entre o tempo total em horas de cada estação e a capacidade instalada total dessa tecnologia no Nordeste. Por último, segundo inspeção visual do perfil de geração das hidrelétricas no Nordeste, fez-se uma divisão entre dia e noite. No entanto, para essa tecnologia foi utilizado o mesmo fator de capacidade, tanto para noite, quanto para o dia.

Como *InputActivityRatio* usou-se 1 para todos os anos, baseado nos *Hands-on*, considerando uma eficiência global de 100% para a conversão de energia.

Para *CapitalCost*, *FixedCost* e *VariableCost* foram utilizados valores baseados na nota técnica PR 07/18 de premissas e custos da oferta de energia elétrica para o horizonte de 2050, (EPE e MME, 2018). O *CapitalCost* foi utilizado considerando o valor de investimento da UHE de Estreito (US\$1.448,82/kW), como este valor foi referenciado em 2015, foi arredondado para US\$1.600,00/kW para todos os anos.

Segundo o mesmo documento citado anteriormente (EPE e MME, 2018), na literatura internacional, destacam-se os valores divulgados em (US-EIA, 2013), um custo médio de US\$14,00/kW/ano para usinas acima de 500MW, por isso foi utilizado como *FixedCost* um valor de US\$20,00/kW/ano para todos os anos.

Em *VariableCost*, como a água é um recurso natural e de certa forma gratuito para fins de geração de energia, utilizou-se o valor de US\$0,00000001/kWh/ano.

A vida útil representada pelo parâmetro *OperationalLife*, considerada para usinas hidrelétricas foi de 70 anos.

O *ResidualCapacity* também foi averiguado de acordo com a página de “Capacidade Instalada de Geração”, (ONS, s.d.b.). Como se tinha valores bem próximos de capacidade instalada entre os anos de 2015 e 2023, foi considerado o valor de capacidade instalada do ano de 2023 (11,036 GW) e replicado como capacidade residual para todos os anos de representação no *OSeMOSYS*, ou seja, de 2015 a 2070 (foi considerado essa capacidade residual para todos os anos, pois a vida útil da usina hidrelétrica é considerada de 70 anos, o que ultrapassa a representação temporal da ferramenta).

Outro parâmetro modelado nesta tecnologia foi o *TotalAnnualMaxCapacity*. Segundo o “Plano Nacional de Energia 2030 – Geração Hidrelétrica” (EPE e MME, 2006-2007d), o potencial hidrelétrico no Nordeste brasileiro está estimado em 26 GW. Como já se tem 11,036 GW instalados de capacidade residual, resta para o nordeste aproximadamente 15 GW estimados para utilização. Considerando também, que não se tenha capital de investimento para construir os 15 GW de um ano para o outro, o *TotalAnnualMaxcapacity*, de forma arbitrária,

foi dividido da seguinte forma: 13 GW de 2015 a 2028; 18,2 GW de 2029 a 2043; 22,1 GW de 2044 a 2060 e 26 GW de 2061 a 2070.

Os valores de *TotalTechnologyModelPeriodActivityUpperLimit*, *TotalAnnualMaxCapacityInvestment*, e *TotalTechnologyAnnualActivityUpperLimit* ficaram em 9999999999.

4.1.2 Caso 2 (OSeMOSYS): PWROHC, PWRHYD e PWRWND

O segundo caso trata / aborda / simula um sistema utilizando as tecnologias de termelétrica a óleo combustível, hidrelétrica e usina eólica. Utiliza-se os mesmos dados do caso anterior, adicionando apenas o valor de *EmissionactivityRatio* para CO₂ na tecnologia PWROHC. Baseado na publicação (ENERGIA e AMBIENTE, 2022b) e olhando para a usina termelétrica de Arembepe, tem-se um valor de 814 toneladas de CO₂ por GWh, no entanto neste trabalho é utilizada a unidade de Mt/GWh, por isso foi utilizado 0,000814 Mt/GWh.

Dando sequência ao raciocínio, agora olhando para o setor eólico do sistema modelado neste caso, soma-se a modelagem anterior, as tecnologias MINWND (representando o potencial eólico) e PWRWND (representando a usina eólica), além do combustível WND representando o vento.

O *InputActivityRatio* foi de 2,5, representando uma eficiência de 40% do conjunto de turbinas eólicas.

Para *CapitalCost*, *FixedCost*, *VariableCost* e *OperationalLife* foi utilizado como embasamento, a mesma norma técnica do caso anterior (EPE E MME, 2018), com valores de US\$1.600,00/kW para capital de investimento, US\$100,00/kW/ano para os custos fixos e US\$0,00000001/kWh para custos variáveis de operação, visto que o vento, assim como a água, para fins de geração é um componente que podemos considerar como gratuito. Para a vida útil foi utilizado o valor de 30 anos.

Em *ResidualCapacity* os valores, assim como no Caso 1, foram baseados nos dados de capacidade instalada no site do ONS, na página de Capacidade Instalada (ONS, s.d.b.).

O *CapacityFactor* foi baseado também no site do ONS, porém na página de fator de capacidade (ONS, s.d.c, s.d.c). Foi tirado como exemplo a usina eólica de Paratama (Pernambuco) e analisado o fator de capacidade de forma horária e para cada estação do ano, ao passo que se observou o gráfico de fator de capacidade médio mensal. Para isso, foi utilizado como base o ano de 2023.

As estimativas apontam um potencial eólico *onshore* de aproximadamente 306 GW (PEREIRA, 2016), porém, para este trabalho foi considerado apenas 195 GW. Este potencial é utilizado em *TotalAnnualMaxCapacity*, no qual foi atribuído, de forma arbitrária, um valor de 30 GW para 2015 e um crescimento de 3 GW por ano até o ano de 2070, chegando a uma capacidade máxima de 195 GW.

4.1.3 Caso 3 (*OSeMOSYS*): PWROHC, PWRHYD, PWRWND e PWR SOL

O Caso 3 fornece um sistema energético considerando as tecnologias de usina termelétrica a óleo combustível, hidrelétrica, eólica e solar.

Repetidamente, foram utilizados os mesmos valores do Caso 2, somando a eles, dados de recursos para se ter geração fotovoltaica. Para isso, foram adicionadas as tecnologias de MINSOL, PWR SOL, representando o potencial solar e as usinas fotovoltaicas, assim como a adição do combustível SOL, representando a energia solar.

Para este caso, foi considerado um *InputActivityRatio* de 4 para atividade solar, resultando em um rendimento estipulado de 25% para PWR SOL.

Assim como nos casos anteriores, os valores de *CapitalCost*, *FixedCost* e *VariableCost*, foram baseados também na nota técnica PR 07/18, (EPE E MME, 2018). Por esse motivo, estipulou-se o valor de US\$1.300,00/kWp em capital de investimento. Para custos fixos usou-se US\$25,00/kWp/ano e para custos variáveis, assim como a água da hidrelétrica e o vento da usina eólica, foi considerado US\$1e-8/kWh.

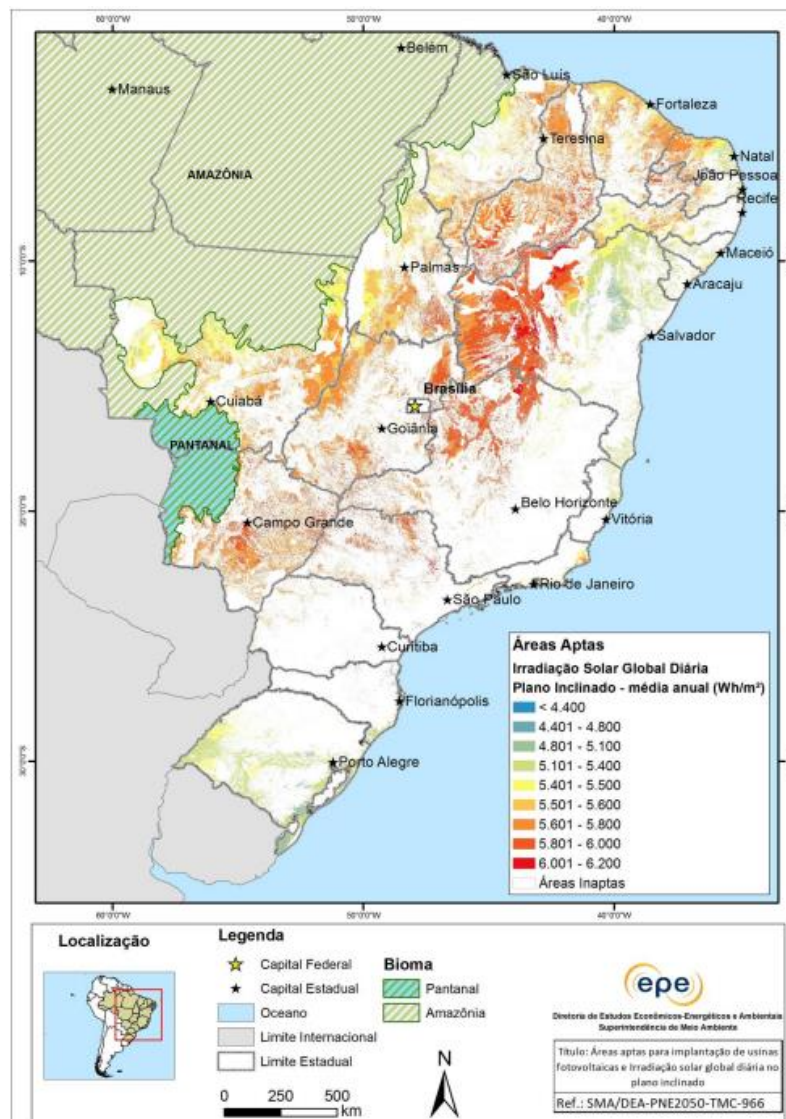
Segundo o PNE 2050 – Relatório Final (EPE e MME, 2020), o Brasil possui um potencial solar de 307 GWp, considerando apenas áreas antropizadas e que tenham radiação global média diária acima de 6kWh/m², como representado na Figura 86. Ainda, baseado na mesma Figura 84, por inspeção visual do mapa, arbitrou-se que o Nordeste tenha uma estimativa de 196 GWp como potencial solar e isso foi colocado em *TotalAnnualMaxCapacity*, começando em 3,5 GWp disponíveis em 2015, com um crescimento de 3,5 GWp por ano, até 2070, completando 196 GWp.

Através, novamente, da página de “Capacidade Instalada” no site do ONS (ONS, s.d.b), observou-se a capacidade residual que a região Nordeste possui de usinas fotovoltaicas entre os anos de 2015 a 2023 e o *ResidualCapacity* foi baseado nisso. A partir de 2023 também foi utilizado uma interpolação para calcular o decréscimo deste tipo de energia residual até 2042, ano que termina a vida útil desse tipo de tecnologia.

Em se tratando de vida útil, o *OperationalLife* utilizado em PWR SOL foi de 20 anos, baseado também em (EPE E MME, 2018). A nota considera uma vida útil de 25 anos, porém, como nos anos finais, a eficiência dessa tecnologia já caiu consideravelmente, foi arbitrado 20 anos como vida útil.

Por fim, o fator de capacidade foi calculado análogo ao feito para tecnologia eólica. Foi pegado como exemplo a usina do conjunto de Paracatu (Minas Gerais) na página de fator de capacidade do site do ONS (ONS, s.d.c, s.d.d.). Neste caso, também foi analisado o fator de capacidade de forma horária para cada estação do ano, assim como a média mensal e também utilizado como base o ano de 2023. Todos os *TimeSlices* que representam a noite das estações do ano, tiveram valor 0 para *CapacityFactor*.

Figura 86 - Áreas aptas para instalação de usinas fotovoltaicas.



Fonte: (EPE e MME, 2020).

4.1.4 Caso 4 (*OSeMOSYS*): PWRBIO, PWRHYD, PWRWND e PWR SOL

Para o quarto e penúltimo caso, temos um sistema com usina hidrelétrica, usina eólica, fotovoltaica e a substituição da usina termelétrica a óleo combustível por termelétrica a biomassa.

Neste caso, assim como nos casos anteriores, manteve-se os dados para as tecnologias e trocou-se as tecnologias PWROHC, MINOIL e o combustível BIO, pelas tecnologias PWRBIO e MINBIO, e pelo combustível BIO.

Baseado, novamente, na nota técnica PR 07/18 (EPE E MME, 2018), já citada nos casos anteriores, para *CapitalCost*, *FixedCost* e *VariableCost* os valores utilizados foram de US\$1.200,00/kW, US\$18,00/kW/ano e US\$0,00000001/kWh, respectivamente, para todos os anos.

A capacidade residual para termelétrica a biomassa foi calculada de uma forma diferente dos casos anteriores. Para este caso, segundo o documento da EPE, “Expansão da Geração – Termelétricas a biomassa nos leilões de energia do Brasil: Características técnicas dos empreendimentos e resultados dos últimos leilões”, (EPE e MME, 2019). Observa-se que o Brasil possui 13,517 GW de capacidade instalada em geração termelétrica a biomassa considerando a geração centralizada em 2018. O Nordeste brasileiro possui 12% dessa capacidade, no entanto, para este trabalho está sendo considerado biomassa de bagaço de cana-de-açúcar e este tipo de biomassa representa cerca de 78% das instalações. Por isso, com essas restrições, foi considerado um *ResidualCapacity* de 1,3 GW entre os anos de 2015 e 2023, com o decréscimo feito através da mesma interpolação utilizada nos casos anteriores até terminar a vida útil dessa tecnologia. Aliás, já antecipando, o *OperationalLife* para PWRBIO, o valor utilizado foi de 30 anos.

Para *TotalAnnualMaxCapacity* foi arbitrado um valor de 3 GW por ano. O raciocínio foi baseado no fato de o Nordeste ter em torno de 1,3 GW de potência instalada, porém, biomassa é um recurso mais limitado por depender de áreas cultiváveis, safras anuais, entre outros fatores. Por isso, se arbitrou os 3 GW de capacidade instalada anual.

Para *InputActivityRatio* foi utilizado o valor de 2,85 para todos os anos, pensando em plantas termelétricas com 35% de rendimento global.

O fator de capacidade também foi baseado na nota técnica PR 07/18 (EPE E MME, 2018), na qual diz que o fator de capacidade para este tipo de usina é cerca de 33%. Entretanto, foi utilizado o valor de 40% ou 0,4. Este fator de capacidade baixo, se deve ao fato de a

termelétrica a biomassa depender da produção de cana-de-açúcar que está sujeita a uma sazonalidade de safra. Segundo o documento “A Geração Termoelétrica com a Queima do Bagaço de Cana-de-Açúcar no Brasil – Análise do Desempenho da Safra 2009-2010”, (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2011), o calendário de geração elétrica dessa tecnologia coincide com o calendário de colheita da cana, que dura aproximadamente 7 meses do ano. Segundo o mesmo documento, para a safra de 2009 - 2010 o fator de capacidade era de 38,7%.

Por fim, para *EmissionActivityRatio* o valor utilizado foi de 0,000268 Mt/GWh, valor este embasado em (OLIVEIRA, 2007).

4.1.5 Caso 5 (*OSeMOSYS*): PWRNUC, PWRHYD, PWRWND e PWR SOL

Por fim, temos o quinto e último caso simulado em *OSeMOSYS*. Neste sistema, também temos os mesmos dados e tecnologias vindas dos casos anteriores, com exceção da tecnologia PWRBIO, MINBIO e o combustível BIO, que foram substituídos pelas tecnologias PWRNUC, MINURN e pelo combustível URN, representando as usinas termonucleares, a extração de urânio e o combustível urânio, respectivamente.

Novamente, baseado na nota técnica PR 07/18 (EPE E MME, 2018), utilizou-se US\$5.000,00/kW para *CapitalCost*. Para custos fixos, o recomendado é utilizar US\$110,00/kW/ano, porém, arbitrariamente, utilizou-se US\$70,00/kW/ano em *FixedCost*. Já para custos variáveis, a nota recomenda US\$9,00/MWh, relacionado a custos com combustíveis. Este último valor foi mantido, apenas modificando a unidade de medida para manter os padrões do das simulações, por isso, em *VariableCost* utilizou-se o valor de US\$0,009/kWh.

Foi considerado um rendimento de 40% deste tipo de tecnologia, portanto, o valor de 2,5 para *InputActivitRatio*.

Um *OperationalLife* de 70 anos também foi considerado, baseado em (EPE E MME, 2018), apesar do documento sugerir 60 anos.

ResidualCapacity foi mantido como 0, pois foi considerado que não existisse nenhuma usina termonuclear no sistema.

Ao mesmo tempo, foi considerado um *TotalAnnualMaxCapacity* de 9999999999 GW. O intuito é analisar como o sistema se comporta com este tipo de fonte, por esse motivo não foi colocada nenhuma restrição que impedisse o fornecimento de energia por meio da mesma.

Por último, temos o fator de capacidade. Apoiado em (ELETRONUCLEAR, 2019), tem-se que os fatores de capacidade do ano de 2019 bateram recordes, assumindo 98,21% para usina de Angra 1 e 89,38% para usina de Angra 2. Também, olhando para a nota técnica PR 07/18 (EPE E MME, 2018), sugere-se um valor de 85% de fator de capacidade para este tipo de tecnologia. Portanto, para este trabalho foi utilizado o valor de 90%, representado por 0,9 no parâmetro de *CapacityFactor* em *OSeMOSYS*. Finalizando assim, a metodologia de modelagem e coleta de dados para as simulações propostas.

4.2 AVALIAÇÃO DE RESULTADOS DOS CENÁRIOS DE *OSeMOSYS*

A avaliação dos resultados das simulações de *OSeMOSYS* será baseada nos seguintes parâmetros de resposta do programa: produção anual de eletricidade, capacidade instalada anual, custos fixos de operação, custos variáveis de operação e capital de investimento. Emissões foram modeladas a fim de servir como restrições, porém os resultados de emissões em si, não serão levados em consideração.

Em todos os casos a demanda foi suprida pelas tecnologias propostas. Isso é verdade para todos os casos, porém, para o Caso 1, foi necessário que não tivesse um valor máximo de emissões de dióxido de carbono. Caso houvesse o mesmo limite de emissões (70Mt de CO₂) dos outros casos, a tecnologia de BACKSTOP precisaria ser acionada, ainda que os custos fossem muito altos.

Os resultados se mostraram satisfatórios, uma vez que ao passar dos casos o sistema se mostra cada vez mais diversificado, ainda que uma tecnologia ou outra se sobressaísse.

No que tange a produção de energia, a tecnologia PWRHYD foi a que se mostrou mais constante, assim como em capacidade instalada. Praticamente, toda sua disponibilidade ao longo dos anos foi aproveitada. Assim como a tecnologia PWRWND que a partir de quando foi instalada até o Caso 4, praticamente manteve seu perfil de geração e capacidade instalada durante todos os anos.

A tecnologia PWROHC foi diminuindo consideravelmente a produção e capacidade instalada com a inserção das renováveis variáveis eólica e solar. Isso se deve ao fato de o modelo apresentar uma capacidade com fontes de energias eólica e hidráulicas suficientes para manter uma segurança energética.

As tecnologias renováveis fizeram a matriz ficar mais limpa e menos custosa. Apesar dos custos fixos operacionais serem maiores quando se tem energias renováveis olhando para

os Casos 2 e 3, o Caso 1 tem um valor menor de custos fixos, porém altíssimo para custos variáveis, em função da utilização exacerbada de óleo combustível.

A tecnologia PWR SOL não se mostrou muito utilizada nos Casos 3 e 5. Primeiro porque as tecnologias PWRHYD e PWRWND conseguem dar grande parte do suporte ao sistema e segundo, porque as tecnologias PWROHC e PWRNUC foram modeladas sem restrições de produção, com exceção de PWROHC que tinha emissões como restrição. O fator de capacidade dessas usinas térmicas é consideravelmente alto, principalmente das usinas nucleares, já que este tipo de fonte de geração é utilizada como base de sistemas elétricos e não como uma geração de ponta. A PWR SOL, por outro lado, tem fator de capacidade muito baixo e custos específicos (custos em função da potência instalada ou energia produzida) que não são tão vantajosos em relação as térmicas, com exceção dos custos variáveis. Observe as Figura 101 e Figura 103.

Essa situação muda no Caso 4, quando a tecnologia PWROHC é substituída por PWRBIO. Por questões de safra da cana-de-açúcar, ou seja, devido a sazonalidade e restrições produtivas, essa tecnologia tem um fator de capacidade baixo, ainda que seja caracterizada como termelétrica. Em cenários reais, podem servir para atendimento de ponta, mas não como atendimento de base. Ademais, PWRBIO foi modelada com um valor de capacidade instalada máximo de 3 GW por ano. Com isso, a tecnologia PWR SOL se sobressaiu neste caso. Observe a Figura 102.

Ao contrário dos Casos 3 e 5, nos quais não se teve investimentos em energia fotovoltaica, apenas a utilização da energia residual, no Caso 4 essa fonte foi de menos de 5 GW instalados em 2015 para mais de 60 GW instalados a partir de 2068. Apesar disso, se tratando de produção de energia, essa tecnologia não deslanchou tanto quanto a capacidade instalada e o quarto caso continuou sendo tracionado pelas tecnologias PWRHYD e PWRWND. A tecnologia PWRBIO, mesmo tendo a restrição de safra, teve toda sua capacidade (3 GW disponíveis anuais) utilizada. É interessante ressaltar que os custos para o Caso 4 foram os maiores, tanto em investimentos para construção, quanto para custos de operação fixos anuais. No entanto, teve custos de operação variáveis baixíssimos, visto que todos os combustíveis utilizados são gratuitos (água, sol, vento e biomassa, aqui considerando que o próprio produtor da cana que será utilizada no setor sucro-alcooleiro, será o responsável pela planta termelétrica).

No Caso 5, o sistema muda novamente. Até 2030 as tecnologias PWR SOL e PWRWND tem suas capacidades residuais bem aproveitadas no que diz respeito a produção, a partir disso a tecnologia PWRNUC entra com muita relevância no sistema, dando um suporte mais do que

necessário para o atendimento à demanda. Esse fato importante, ocorre por conta do alto fator de capacidade das usinas termoeletricas que tem função, ao menos no Brasil, de dar suporte a base de todo Sistema Interligado Nacional (SIN). Outro evento importante que contribuiu para o sucesso dessa tecnologia no sistema, é o fato de não emitir gases de efeito estufa, portanto, ao contrário das tecnologias PWR-OHC e PWR-BIO, essa tecnologia não teve sua produção restringida por emissões de dióxido de carbono. Veja Figura 103.

Ademais, somando todos os tipos de gastos (fixos anuais, variáveis anuais e de investimento) em todos os anos, o sistema energético que se mostrou mais rentável é o do Caso 5, com valor total gasto na casa dos 427 bilhões de dólares, seguido pelos Casos 3, 2, 4 e 1.

Se tratando de custos, o Caso 1 é o que menos necessitou de investimentos para construção, seus custos fixos também foi o menor, contudo, seu custo variável foi muito alto, levando o sistema como o que possui maior custo total.

Os Casos 2 e 3 são muito parecidos no que diz respeito aos investimentos, com o Caso 3 tendo uma pequena vantagem neste aspecto. No entanto, os custos de investimento para construção e custos fixos, são consideravelmente altos quando se tem inserção de energias renováveis. Isso impactou diretamente no Caso 4, onde encontra-se custos variáveis baixíssimos, porém, com o empecilho da safra de cana, o fato das usinas a biomassa terem fator de capacidade baixo, atrelado às limitações de capacidade instalada e de emissões, forçam o sistema do Caso 4, investir em mais fontes renováveis em relação aos Casos 2 e 3, elevando os custos operacionais fixos e de construção. Observe a Tabela 16.

Por fim, o quinto caso se mostra o mais bem estruturado. Nele, existem duas tecnologias despacháveis que dão segurança ao sistema da forma mais econômica possível, dentro dos 5 cenários. As usinas hidrelétrica e nuclear são consideravelmente utilizadas no caso 5, esse fato se deve aos valores de custos operacionais fixos e variáveis dessas tecnologias, mas principalmente pelo fator de capacidade alto, principalmente da nuclear. Além disso, ainda que de forma mais sóbria, temos a utilização de energias renováveis, diversificando a matriz elétrica desse sistema, ajudando no custeio e no atendimento de ponta.

4.3 METODOLOGIA USADA NO *FLEXTOOL*

No *Flextool* as simulações foram simplificadas por questões de complexidade do programa em relação ao *OSeMOSYS*. Por isso, foi utilizado o arquivo *OSeMOSYS_filled* encontrado no *Hands-on 16* (HOSEINPOORI, P.; KELL, A.; HAWKES, A), como base da

simulação, fazendo algumas modificações para que o modelo representasse a saída do caso 5 de *OSeMOSYS*.

Para ter algo a se comparar no *Flextool*, foram utilizados dois cenários: de despacho, que também pode ser chamado de base e o cenário de investimento. O cenário base vai utilizar os dados de entrada do modelo e fazer a otimização sem nenhuma implementação de investimento. Já o cenário de investimento promove novos investimentos na infraestrutura do sistema, como criação de unidades geradoras, maior produção de energia e infraestrutura de transmissão, caso seja necessário.

O cenário base é importante porque ele reflete como o sistema está e os pontos de melhoria, baseado nas entradas do usuário. Já o cenário de investimento, é importante pois pode dar soluções de como sanar os possíveis problemas encontrados no cenário de despacho.

Diferente do *OSeMOSYS*, que faz uma projeção de 2015 até 2070, o *Flextool* faz uma análise dentro de um ano preestabelecido. Visto isso, todas as entradas utilizadas no *Flextool* foram baseadas no ano de 2035 da simulação do caso 5 em *OSeMOSYS*.

É válido lembrar que as abas *fuel*, *unitGroup*, *nodeNode*, *ts_inflow*, *ts_import* e *ts_unit*, não foram modificadas em nenhum momento e portanto, vão apenas serem mostradas(os) abas e valores que foram remodelados.

No *Flextool*, na aba *master*, foi inserido apenas nos parâmetros *mode_dispatch* e *use_capacity_margin* o valor de 1. Esses e outros parâmetros binários servem para decidir se a ferramenta irá considerar ou não determinados aspectos na otimização.

Ao observar a Tabela 10, salienta-se que do parâmetro *use_capacity_margin* ao *print_unit_results* tem-se as variáveis binárias. Já de *co2_cost* até *reserve_duration* são valores não binários e que foram mantidos do arquivo *OSeMOSYS_filled*. Vale ressaltar que todos os valores inseridos no *Flextool* relacionado a custos, está na moeda de dólar americano.

Tabela 10 - Parâmetros da aba *master* em *Flextool*.

Parâmetros	Valor
co2_cost	20
loss_of_load_penalty	100000
loss_of_reserves_penalty	20000
lack_of_inertia_penalty	30000
curtailment_penalty	50
lack_of_capacity_penalty	5000
time_in_years	1
time_period_duration	60
reserve_duration	0,5
use_capacity_margin	1
use_online	0
use_ramps	0
use_non_synchronous	0
use_inertia_limit	0
mode_invest	0
mode_dispatch	1
print_duration	0
print_durationRamp	0
print_unit_results	0

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Na aba *nodeGroup* foi mantido os dados do arquivo *OSeMOSYS_filled*, com exceção dos parâmetros de *capacity margin* no qual foi adotado o valor de 2180 MW, baseado nos cálculos definidos no *Hands-on 15* (CANNONE, C.; ALLINGTON, L.; HOWELLS, M, 2021), no qual diz que para calcular o *capacity margin*, deve-se multiplicar o fator da margem de capacidade pela demanda de energia no ano (em MWh) e depois dividir pela quantidade de horas do ano. Com isso, para o caso da simulação tem-se uma demanda de 127.282.869 MWh, multiplicada por 0,15 e dividida por 8760 horas, resultando em um *capacity margin* de 2180 MW.

A demanda foi retirada do próprio *OSeMOSYS*, resultando nos já citados 127.282.869 MWh.

Na aba *unit_type* existem 23 parâmetros a serem preenchidos para cada fonte geradora de energia. No entanto, apenas 5 parâmetros podem ser carregados com valores de saída do *OSeMOSYS*, são eles: *efficiency*, *fixed costkW/year*, *inv.cost/kW*, *lifetime* e *interest*. Os valores para cada tipo de geração podem ser observados na Tabela 11. Os outros parâmetros não mencionados foram mantidos com os valores do arquivo original.

Na Figura 87 pode-se observar os parâmetros requeridos na aba *unit_type*. Nela consta mais tecnologias do que as 4 utilizadas no caso 5 de *OSeMOSYS*, porém, na aba *units*, será mostrada uma manipulação para a não utilização dessas tecnologias.

Tabela 11 - Parâmetros da aba *unit_type*.

	<i>Efficiency</i> (%)	<i>fixed cost/kW/year</i> (US\$)	<i>inv.cost/kW</i> (US\$)	<i>Lifetime</i> (Anos)	<i>Interest</i> (%)
PWRHYD	1	20	1600	70	0,1
PWRNUC	0,4	110	5000	60	0,1
PWRSOL	0,2	25	1300	25	0,1
PWRWND	0,4	100	1600	30	0,1

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 87 - Aba de *unit_type*.

<i>unit type</i>	<i>efficiency</i>	<i>min load</i>	<i>eff at min load</i>	<i>ramp up (p.u. per min)</i>	<i>ramp down (p.u. per min)</i>	<i>O&M cost/MWh</i>	<i>availability</i>	<i>max reserve</i>	<i>inertia constant (MWs/MW)</i>	<i>fixed cost/kW/year</i>	<i>inv.cost/kW</i>	<i>inv.cost/kWh</i>	<i>fixed kW/kWh ratio</i>	<i>conversion eff</i>	<i>startup cost</i>	<i>min uptime (h)</i>	<i>min downtime (h)</i>	<i>eff charge</i>	<i>self discharge loss</i>	<i>lifetime</i>	<i>interest</i>	<i>annuity</i>	<i>non synchronous</i>
PWRCOA	0.39	0.40	0.34	0.02	0.02	36.0	1.00	1.00	6.00	78	2500			2.00						35	0.10	0.104	0
PWROHC	0.35	0.50	0.30	0.05	0.05	108.0	1.00	1.00	6.00	35	1200			1.00		5.00				25	0.10	0.110	0
PWRNGS001	0.59	0.20	0.54	0.20	0.20	53.0	1.00	1.00	6.00	35	1200				0.50	4.00				30	0.10	0.106	0
PWRNGS002	0.39	0.20	0.34	0.20	0.20	63.0	1.00	1.00	6.00	20	700				0.50	4.00				25	0.10	0.110	0
PWRBIO	0.35	0.40	0.30	0.02	0.02	16.0	1.00	1.00	6.00	75	2500			2.00						30	0.10	0.106	0
PWRHYD	1	0.10	1.00	0.20	0.20		1.00	1.00	6.00	20	1600									70	0.10	0.100	0
PWRGEO	0.35	0.30	0.30	0.02	0.02	12.0	1.00	1.00	6.00	120	4000			1.00						25	0.10	0.110	0
PWRNUC	0.4	0.75	0.28	0.00	0.00	9.0	1.00	1.00	7.00	110	5000			6.00						60	0.10	0.100	0
PWRSOL	0.25			1.00	1.00		1.00	0.90		25	1300									20	0.10	0.117	1
PWRWND	0.4			1.00	1.00		1.00	0.90		100	1600									30	0.10	0.106	1

Fonte: Arquivo *OSeMOSYS_filled* (HOSEINPOORI, P.; KELL, A.; HAWKES, A., 2021). Modificado pelo autor (2024).

Na aba *units* existem 35 colunas (parâmetros) a serem modificados, no entanto, foram modificados apenas 2, são eles: *capacity* (MW), representando a capacidade instalada de determinada tecnologia e *max invest* (MW), representando o máximo investimento realizado em determinada tecnologia. Nessa aba é que foi feita a manipulação necessária para que outras tecnologias que não estavam no caso 5 de *OSeMOSYS*, mas que estavam no arquivo original de entrada do *Flextool*, o *OSeMOSYS_filled*. Para que isso ocorresse, foi limitada a capacidade instalada dessas tecnologias extras em 0 e seu máximo investimento também limitado em 0.

Baseado nos resultados de capacidade instalada de *OSeMOSYS*, foram utilizados os valores encontrados na Tabela 12, para as variáveis de *capacity* e *max invest*. Além disso, foi permitido um investimento máximo de capacidade instalada de 200 MW para cada tecnologia de geração modelada. Os outros parâmetros foram mantidos de acordo com o arquivo original. Observe a Figura 88.

Tabela 12 - Parâmetros modificados na aba *units*.

	<i>capacity</i> (MW)	<i>max invest</i> (MW)
PWRHYD	18200	200
PWRNUC	5442	200
PWRSOL	2643	200
PWRWIND	15580	200

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 88 - Aba *units* modificada.

Add empty row		Choose one input option (none, fuel, cf profile, inflow or input grid+node)					Output #1		capacity (MW)	invested capacity (MW)	max invest (MW)	storage (MWh)	invested storage (MWh)	max invest (MWh)	storage start	storage finish	reserve increase ratio	time efficiency
unitGroup	unit type	fuel	cf profile	inflow	input grid	input node	output grid	output node										
Fossil	PWRCOA	COA					elec	nodeA	0	0	0							
Fossil	PWRHOC	OIL					elec	nodeA	0	0								
Fossil	PWRNGS001	NGS					elec	nodeA	0	0								
Fossil	PWRNGS002	NGS					elec	nodeA	0	0								
Bio	PWRBIO	BIO					elec	nodeA	0	0								
Hydro	PWRHYD		Hydro_A				elec	nodeA	18200	200								
Geo	PWRGEO	GEO_heat					elec	nodeA	0	0								
NUC	PWRNUC						elec	nodeA	5442	200								
PV	PWRSOL		PV_A				elec	nodeA	2643	200								0.10
Wind	PWRWIND		wind_A				elec	nodeA	15580	200								0.10

Fonte: Arquivo *OSeMOSYS_filled* (HOSEINPOORI, P.; KELL, A.; HAWKES, A., 2021). Modificado pelo autor (2024).

Neste momento, serão mostradas as abas modificadas que tem relação com aspectos temporais, elas têm as iniciais de “ts”. É importante saber que essas abas devem ser preenchidas e/ou modificadas com muito cuidado, pois seu uso errado, possivelmente acarretará em resultados errados ou até mesmo erros e travamento na compilação.

Antes de falar do *ts_cf*, *ts_energy*, *ts_reserve_node*, *ts_reserve_nodeGroup* e *ts_time*. É preciso entender que foi necessário realizar um ajuste temporal entre o *OSeMOSYS* e o *Flextool*.

Como visto no subcapítulo 4.1, em *OSeMOSYS* foram utilizados apenas 8 *timeslices*, no *Flextool* são 8760. Este ajuste foi feito da seguinte maneira: dividindo as 8760 horas do ano em 8 partes, tem-se 1095 partes. Ou seja, por exemplo, 1 *timeslice* de *OSeMOSYS* é representado

no *Flextool* por 1095 partes, ou 1095 horas. Veja a Tabela 13, para visualizar como ficaram os ajustes.

Tabela 13 - Manipulação dos recortes temporais entre *Flextool* e *OSeMOSYS*.

Recorte de Tempo no <i>Flextool</i>	<i>timeslice</i> em <i>OseMOSYS</i>	Representação do Ano
t0000 à t1094	S101	Dias de Verão
t1095 à t2189	S102	Noites de Verão
t2190 à t3284	S103	Dias de Outono
t3285 à t4379	S104	Noites de Outono
t4380 à t5474	S105	Dias de Inverno
t5475 à t6569	S106	Noites de Inverno
t6570 à t7664	S107	Dias de Primavera
t7665 à t8760	S108	Noites de Primavera

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Para *ts_cf*, pegou-se os valores de cada fator de capacidade de cada tecnologia em *OSeMOSYS* e repetiu-se os valores para cada período representado pelas 1095 partes no *Flextool*. Por exemplo, em *OSeMOSYS*, para a tecnologia PWRWND tem-se 0,4618 para o *timeslice* 1 e 0,7415 para o *timeslice* 2. No *Flextool* fica, 0,4618 indo de t0000 à t1094 e 0,7415 indo de t1095 à t2189. Os valores podem ser vistos na Tabela 14.

É interessante observar o comportamento dos fatores de capacidade das energias eólica e solar, elas se complementando ao longo do tempo. Enquanto a noite PWRWND tem fator de capacidade maior em relação ao dia, em PWRWND é zero. Já durante o dia o fator de capacidade de PWRWND cresce, ficando maior que o de PWRWND.

Tabela 14 - Ajuste de fator de capacidade no *Flextool*.

Recorte de Tempo no Flextool	<i>timeslice</i> em <i>OseMOSYS</i>	FC PWRHYD	FC PWR SOL	FC PWRWND	FC PWRNUC
t0000 à t1094	1	0,4324	0,2027	0,4618	0,9
t1095 à t2189	2	0,4324	0	0,7415	0,9
t2190 à t3284	3	0,3761	0,1492	0,2198	0,9
t3285 à t4379	4	0,3761	0	0,3364	0,9
t4380 à t5474	5	0,4689	0,1595	0,2577	0,9
t5475 à t6569	6	0,4689	0	0,3212	0,9
t6570 à t7664	7	0,4537	0,1635	0,3881	0,9
t7665 à t8760	8	0,4537	0	0,5021	0,9

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Em *ts_reserve_node* e *ts_reserve_nodeGroup* usa-se o valor de 2180 MW utilizado em *capacity margin* para todos as 8760 horas da modelagem. A diferença é que em *ts_reserve_node*, utiliza-se o nó A, já em *ts_reserve_nodeGroup*, utiliza-se o nó *reserve1*. Essa definição de qual nó utilizar, também vem do arquivo original.

Em *ts_energy* o raciocínio é da seguinte maneira: usa-se o valor de demanda total (*SpecifiedAnnualDemand*) do ano de 2035, retirado do *OSeMOSYS*. Posteriormente multiplica-se pelo *SpecifiedDemandProfile*, que representa a porcentagem de energia que será demandada naquele determinado *timeslice*. Por último, se divide o resultado pelas 1095 partes da conversão para *Flextool*.

Por exemplo, utilizando o *timeslice* 1 de *OSeMOSYS*, tem-se uma demanda total no ano de 127.282.869 MWh representado por *SpecifiedAnnualDemand*. O *SpecifiedDemandProfile*

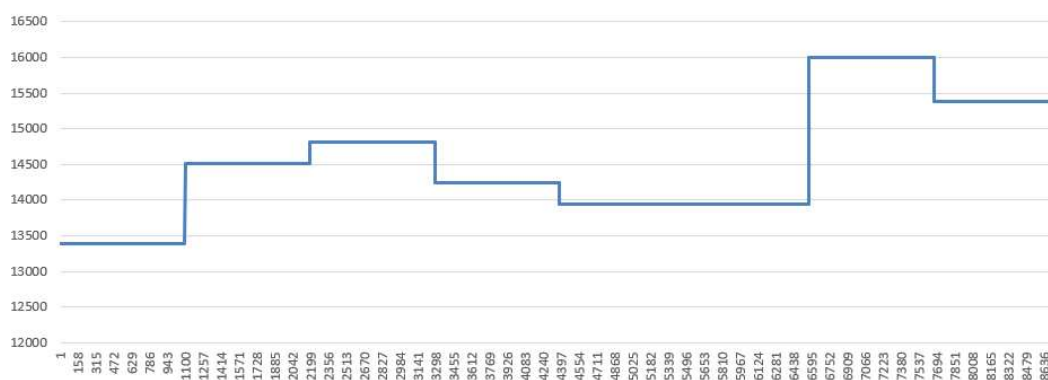
deste *timeslice* é de 0,1152. Multiplicando, temos o valor de 14.662.986,5088 MWh para o *timeslice* 1, representando os dias de verão. Para traduzir este valor no *Flextool*, deve-se dividir este valor em 1095 partes, resultando em 13.390,8552 MWh e repete-se para as 1905 primeiras horas do *Flextool*. Isso pode ser observado na Tabela 15. Pode-se observar também o perfil de demanda para o problema proposto, na Figura 89.

Tabela 15 - Aba *ts_energy*.

Recorte de Tempo no Flextool	<i>Timeslice</i> em <i>OseMOSYS</i>	Energia (MWh)
t0000 à t1094	1	13390,8552
t1095 à t2189	2	14506,7598
t2190 à t3284	3	14820,6080
t3285 à t4379	4	14239,4077
t4380 à t5474	5	13948,8075
t5475 à t6569	6	13948,8075
t6570 à t7664	7	16006,2566
t7665 à t8760	8	15378,5603

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 89 - Comportamento da demanda ao longo do ano.



Fonte: Arquivo *OSeMOSYS_filled*. Modificado pelo autor (2024).

Por fim, tem-se a aba *ts_time*. Esta aba é fundamental para os resultados da modelagem. Nesta aba, escolhe-se os recortes temporais que vão ser analisados pela ferramenta. Ela é uma aba que contém os recortes temporais e os valores de entrada são binários (0 ou 1). O valor de

0 representa a não utilização daquela hora, já 1 representa a utilização da determinada hora. Por exemplo, se o usuário marcar 1 de t0000 à t0300, o *Flextool* irá utilizar apenas este período para fazer as análises de otimização.

Existe 4 colunas, mas as mais importantes são 2, a coluna *in_use* e *in_use_invest*. Em *in_use* marca-se as horas que serão modeladas para o cenário de despacho ou base. Já em *in_use_invest*, marca-se as horas que serão modeladas no cenário de investimento.

Neste trabalho foram marcadas todas as horas para a simulação no modelo de despacho. No entanto, para o cenário de investimento foram utilizadas as horas de t6570 à t7664. Esta escolha foi baseada em duas situações. A primeira, porque era previsto atribuir 1 para todas as horas no cenário de investimento, porém o esforço computacional é muito considerável, fazendo isso, depois de 2 horas e 30 minutos de simulação não se tinha retornado nenhum resultado ainda. Segundo, visto que analisar todas as horas do ano era inviável, partiu-se para a premissa de contornar o período de maior demanda de energia durante o ano, representado nos dias de primavera.

Nas simulações também foi utilizado o período de t0000 à t0168 para *in_use_invest* e não foi observada nenhuma mudança para os resultados do cenário de investimento.

4.4 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS PARA *FLEXTOOL*

Conforme já informado, foi proposto uma análise do caso 5 olhando para os cenários base e de investimento. Existem diversos resultados que a ferramenta fornece, porém assim como para *OSeMOSYS*, serão avaliados os que o autor julga mais relevantes para este trabalho.

Em resultados gerais, temos que os resultados energéticos entre *OSeMOSYS* e *Flextool*, são parecidos, porém com algumas diferenças em função de metodologias diferentes adotadas por cada ferramenta em particular.

No *Flextool*, temos uma participação alta de energias renováveis variáveis, representadas pelas tecnologias PWRWIND e PWRWIND, na casa dos 92%, tanto para o cenário base, quanto para o de investimento.

Não existiu nenhuma perda ou excesso de carga no sistema, o que contribui para garantir uma flexibilidade do sistema, suprindo a demanda de energia.

No entanto, nos períodos de verão e noites de primavera, há cortes de geração de energia elétrica das fontes renováveis (*curtailment*). Isso implica em energia desperdiçada e consequentemente custos com penalidades elevados, contribuindo para os custos do sistema como um todo. Isso pode ser observado na Figura 90.

De forma geral, o *curtailment* pode ser dividido em duas categorias principais: redução por limitações na rede de transmissão e por redução de econômica. Porém, é necessário fazer uma ponderação entre os custos para se implementar linhas de transmissão ou tecnologias que absorvam esse excedente de energia renovável ou de produção desse tipo de energia, em relação aos custos de redução de energia e suas penalidades (ARONNE, 2024).

Para evitar esses excessos de geração pode-se recorrer à algumas alternativas, como por exemplo a implementação de bancos de baterias para absorver esses excedentes, a criação de uma infraestrutura de transmissão e distribuição para escoamento dessa sobra de energia, além de alternativas voltadas para áreas mais sociais, como o gerenciamento de demanda como incentivo aos consumidores a utilizarem energia elétrica mais durante os períodos de maior produção de energias renováveis.

Figura 90 - *Summary D*: Resultados gerais e de flexibilidade no *Flextool*.

General results	elec	elec
VRE share (% of annual demand)	92.28	92.65
Loss of load (% of annual demand)	0	0
-> ramp up constrained (% of annual demand)		
Excess load (% of annual demand)	0	0
Insufficient reserves (% of reserve demand)	3.951	3.619
Insufficient inertia (% of inertia demand)		
Curtailement (% of VRE gen.)	7.296	7.512
-> ramp down constrained (% of VRE gen.)		
Peak load (MW)	16006.3	16006.3
Peak net load (MW)	4156.77	4081.55
Flexibility issues	elec	elec
Loss of load (max MW)	0	0
Excess load (max MW)	0	0
Reserve inadequacy (max MW)	1789.54	1639.1
Insufficient inertia (TWh/a)	0	0
Curtailement (max MW)	4915.49	5001.97
Curtailement (TWh/a)	8.56989	8.85864
Model leakage (TWh/a)	0	0
Capacity inadequacy (max MW)	0	0
Spill (TWh/a)	0	0

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Em relação aos custos, pode-se observar uma economia na casa dos 3 bilhões de dólares se comparados os cenários de base e investimento, em favor ao cenário de investimento. Essa diferença se dá pela insuficiência de reservas, porém este não é um parâmetro relevante, visto que não houve uma modelagem nesse sentido. Portanto, se for comparado apenas os custos de

investimentos e operacionais, o cenário de despacho leva uma vantagem de 50 milhões de dólares.

Em relação aos investimentos construção no modelo, tem-se apenas um custo de investimento em hidrelétrica, em torno de 32 milhões de dólares. Esses fatos podem ser vistos na Figura 91.

Figura 91 - *Summary D*: Custos.

Costs	elec	elec
Cost operations (M CUR)	88.3902	84.165
Cost investments (M CUR)	0	32.0406
Fixed annual costs (M CUR)	2586.69	2590.69
Cost loss of load (M CUR)	0	0
Cost excess load (M CUR)	0	0
Cost curtailment (M CUR)	428.494	442.932
Cost of insufficient reserves (M CUR)	39190.8	35896.2
Cost of insufficient inertia (M CUR)	0	0
Cost of insufficient capacity (M CUR)	0	0

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Como já dito, anteriormente, os resultados de geração do modelo em OSeMOSYS e Flextool, foram bem parecidos para o ano de 2035. Houve uma maior geração de hidrelétrica na casa dos 68 TWh, acompanhada pela energia eólica que teve uma produção na casa dos 47 TWh, para os dois cenários. A energia nuclear se mostra como uma coadjuvante menos requisitada neste ano de 2035, representando algo em torno de 7% da energia produzida. No entanto, em OSeMOSYS ela pouco acionada em 2035 também, porém, para os anos finais de representação de OSeMOSYS ela se mostra como a principal fonte geradora, produzindo cerca de 62% da energia consumida em 2070, por exemplo. Veja Figura 92.

O comportamento da geração também pode ser observado na Figura 93. Esse padrão de comportamento e valores pode ser resumido tanto para interpretação dos resultados do cenário base, quanto do cenário de investimento, pois os gráficos apresentados como resultado do Flextool, nesse sentido, de forma visual, são iguais.

Os resultados, partindo de todas as premissas utilizadas e já citadas, são considerados satisfatórios, já que, os resultados observados em OSeMOSYS e Flextool, para o ano de 2035 estão casados.

Além disso, não se tem, principalmente, problemas com perdas de carga. Caso tivesse, seria necessário criar formas de conter esse efeito. Isso possivelmente implicaria em mais custos, sejam em criação de novos geradores de energia, criação de linhas de transmissão (que não foi modelado neste trabalho, visto a utilização apenas de 1 nó).

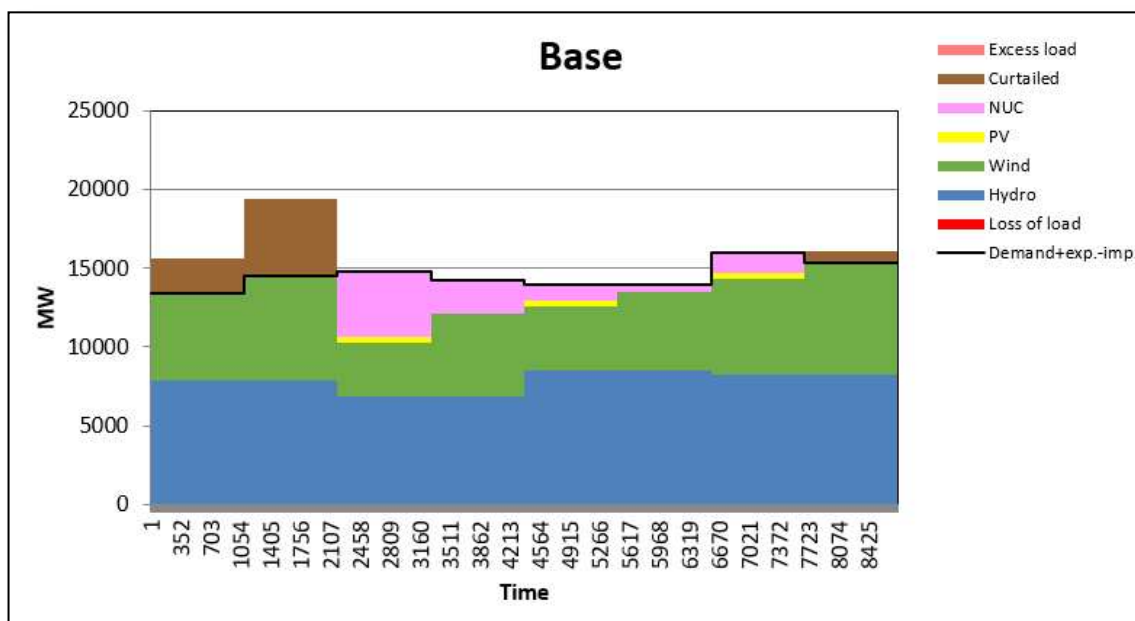
O modelo nos traz o problema de *curtailment*, mas este, pode ser considerado menos grave que o efeito de perda de carga. No entanto, o *curtailment*, também deve ser observado e passar pelo estudo de viabilidade econômica, no sentido da seguinte pergunta: vale o investimento com tecnologias para mitigação ou eliminação do *curtailment* ou não?

Figura 92 - Geração de energia por tipo de fonte

Unit type	Energy (TWh)	Energy (TWh)
PWRCOA	0	0
PWROHC	0	0
PWRNGS001	0	0
PWRNGS002	0	0
PWRBIO	0	0
PWRHYD	68.962	69.719
PWRGEO	0	0
PWRNUC	9.82114	9.35167
PWRSOL	1.36873	1.36873
PWRWND	47.1311	46.8434

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 93 - Comportamento da geração no *Flextool*.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

5 CONCLUSÕES

O mais importante deste documento é criar no leitor a oportunidade de entender de forma geral um pouco do funcionamento do *OSeMOSYS* e do *Flextool*. Isso, permite atender aos objetivos deste trabalho, assim como os das ferramentas, no sentido de democratizar sua compreensão e utilização.

Pode-se observar que as duas ferramentas são competentes e principalmente, gratuitas, para trabalhos com planejamento de expansão energética. No entanto, seus métodos são diferentes.

O *OSeMOSYS*, parte para uma visão mais macro do sistema, enquanto o *Flextool* vai por um caminho mais minucioso. Isso pode ser percebido principalmente pelo horizonte que foi utilizado neste trabalho. Enquanto em *OSeMOSYS* o horizonte temporal variava de 2015 a 2070 com recortes de tempos divididos em dias e noites das quatro estações do ano, no *Flextool* utilizou-se 1 ano de horizonte, porém com um recorte temporal horário. Além disso, *Flextool* conta com parâmetros que modelam nós, estudos de rampas de subidas e descidas de termelétricas e variáveis de inércia, corroborando com a ideia de ser uma ferramenta com uma visão mais micro do problema.

O *OSeMOSYS* traz 5 casos interessantes, cada um com suas particularidades. De maneira geral, entre todos, o caso 5 se mostra o menos custoso e consideravelmente diversificado, apesar da baixa utilização de energia solar fotovoltaica, perante as outras fontes. Nas simulações, a energia nuclear destaca-se bastante a partir de 2035 e como foram utilizados dados realistas, trazendo o mundo real, nota-se que apesar de se ter uma fama marcada por acidentes catastróficos, como o de Chernobyl, na Ucrânia e Fukushima, no Japão, a energia nuclear deveria ser olhada de forma mais benéfica. Apesar do custo de construção ser muito alto em relação as outras fontes, sua operação apesar de complexa, não é muito custosa comparando com as outras fontes do trabalho, ponderando pelo kWh produzido. Além disso, seu fator de capacidade é muito alto, podendo ser considerada muito confiável e estável no sistema elétrico.

Sem pormenorizar, tira-se a conclusão de que a diversificação da matriz, no sentido de utilização de energias renováveis, torna o sistema mais barato também, considerando todos os custos trabalhados neste documento. Isso acontece pela não utilização de recursos de extração, como, óleos combustíveis, urânio, carvão e gás natural.

Na Tabela 16, pode-se observar um comparativo de custos e emissões de cada caso em *OSeMOSYS*, para o horizonte de 2015 até 2070.

Tabela 16 - Comparativo dos casos de *OSeMOSYS*

	CASO 1	CASO 2	CASO 3	CASO 4	CASO 5
Custos de Investimento (Milhões de US\$)	115.071,00	207.149,00	206.871,00	325.423,00	195.286,00
Custos Operacionais Fixos (Milhões de US\$)	127.760,00	273.114,00	274.721,00	309.070,00	196.159,00
Custos Operacionais Variáveis (Milhões de US\$)	831.526,00	89.337,00	86.490,00	0,00	35.770,00
Custos Totais (Milhões de US\$)	1.074.357,00	569.600,00	568.082,00	634.493,00	427.215,00
Emissões de CO₂ (Mt)	4512.415	484.8032	469.3542	55.2155	0

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.1 CONCLUSÕES FINAIS

O estudo de um planejamento energético, principalmente nos tempos atuais, é fundamental para que se tenha uma segurança energética em qualquer nível territorial, seja estadual, regional ou nacional. A inserção de energias renováveis variáveis traz consigo bons impactos, principalmente no que diz respeito a sustentabilidade e emissões. Entretanto, traz também desafios em relação a flexibilidade dos sistemas elétricos por conta da intermitência inerente das fontes de energias primárias que são transformadas em eletricidade.

Visto isso, tem-se *OSeMOSYS* e *Flextool*, ferramentas gratuitas, que estão disponíveis para clarear a visão de estudiosos, pesquisadores, gestores e políticos, no caminho pelo amadurecimento dessas fontes variáveis em nosso cotidiano.

Em relação ao *Flextool*, apesar dos bons resultados, houve um grande desafio para geri-lo, desde o começo das pesquisas e simulações. Passando pelos problemas de idioma entre sistema operacional e os macros da ferramenta, que já foram citados no capítulo 3, até chegar no entendimento correto de como usar os recursos temporais corretamente e evitar resultados atípicos, como a FOB negativa nas simulações deste trabalho.

Apesar de ser um recurso gratuito, não é de fácil entendimento, se comparado ao *OSeMOSYS*. Por apresentar parâmetros mais técnicos, como, variáveis de inércia e rampas de geração, exige do usuário um conhecimento mais minucioso, além disso, esses tipos de parâmetros são consideravelmente mais difíceis de se achar em acessos públicos.

Outro fato, é que o *Flextool* não apresenta materiais de aprendizado com recursos tão bons como o de *OSeMOSYS*. Para *OSeMOSYS*, existem vídeos no *Youtube* que facilitam muito o aprendizado do usuário, pois os vídeos contêm a utilização de quase todas as variáveis disponíveis na ferramenta e exercícios práticos.

No entanto, isso não ocorre com o *Flextool*. Existem apenas documentos oficiais do *IRENA*, sendo estes, não tão entendíveis de forma fácil. A falta de exemplos e exercícios também é algo preponderante para a dificuldade do aprendizado do *Flextool*.

Apesar das dificuldades, os dois programas se mostram muito eficazes e democráticos para os fins que foram criados, com destaque para o *OSeMOSYS*.

5.2 TRABALHOS FUTUROS

Para uma análise detalhada dos modelos simulados no *OSeMOSYS* recomenda-se para trabalhos futuros utilizar mais divisões temporais, os chamados, *Timeslices*, por exemplo, em vez de representar dos dias e noites de cada estação do ano, representar os dias e noites de cada mês, isso pode dar ainda mais informações a respeito do comportamento das tecnologias ao longo do tempo em *OSeMOSYS*.

Além disso, para trabalhos futuros seria interessante que se avançasse nas interfaces do *OSeMOSYS*, pois como já foi dito, neste trabalho foi utilizado a interface *clisand* e esta permite apenas o estudo de 1 região. Seria fundamental que se tivesse estudos com mais de 1 região para permitir observar um comportamento mais dinâmico da energia entre regiões.

Por fim, em *OSeMOSYS*, seria ideal modelar os sistemas de distribuição ou até ir mais a fundo, modelando sistemas de consumo comercial, industrial e residencial, para entender como o sistema de energia atinge a ponta da organização.

Para *Flextool*, recomenda-se para os próximos trabalhos, que se utilize os dados de inércia e rampas de geração para deixar o problema mais realista. Aliás, é necessária uma busca por dados de entrada no *Flextool*, com exceção dos dados oriundos do *OSeMOSYS*, para que se tenha uma simulação mais condizente com o que vem de *OSeMOSYS*, por exemplo, foram utilizados alguns valores do arquivo *OSeMOSYS_filled*, (HOSEINPOORI, P.; KELL, A.; HAWKES, A., 2021), no entanto recomenda-se começar uma folha de entrada de dados em branco e preenchê-la com os dados coletados para o problema proposto.

REFERÊNCIAS

HOWELLS, M., et al. "OSeMOSYS: the open source energy modeling system: an introduction to its ethos, structure and development." 2011. Energy Policy, 39(10), 5850-5870.

HOWELLS, M., et al. "OSeMOSYS: A new modeling tool - An introduction to the Open Source Energy Modeling System (OSeMOSYS)." 2011. Energy, 34(10), 1776-1782.

MICROSOFT. How to determine which .NET Framework versions are installed. Disponível em: <https://learn.microsoft.com/pt-br/dotnet/framework/migration-guide/how-to-determine-which-versions-are-installed>. Acesso em: 08 out. 2023.

OSEMOSYS. GLPK installation guide for Windows 10. Disponível em: http://www.osemosys.org/uploads/1/8/5/0/18504136/glpk_installation_guide_for_windows10_-_201702.pdf. Acesso em: 08 out. 2023.

OSEMOSYS. Interfaces. Disponível em: <http://www.osemosys.org/interfaces.html>. Acesso em: 08 out. 2023.

OPEN UNIVERSITY. Introduction to sustainability. [s.l.]: Open University, [s.d.]. Disponível em: <https://www.open.edu/openlearncreate/course/view.php?id=6817>. Acesso em: 7 set. 2024.

MICROSOFT. .NET Framework 4.8.1. [s.l.]: Microsoft, [s.d.]. Disponível em: <https://dotnet.microsoft.com/pt-br/download/dotnet-framework/net481>. Acesso em: 7 set. 2024.

WINGLPK. Winglpk. [S.l.]: SourceForge, [s.d.]. Disponível em: <https://sourceforge.net/projects/winglpk/>. Acesso em: 7 set. 2024.

CANNONE, Carla; ALLINGTON, Lucy; HOWELLS, Mark. Prática 1: Modelagem de Energia e Flexibilidade (Versão 3.1). Zenodo, março de 2021. Disponível em: <http://doi.org/10.5281/zenodo.4604532>. Acesso em: 08 out. 2023.

CANNONE, C.; ALLINGTON, L.; DE WET, N.; SHIVAKUMAR, A.; GOYNES, P.; VALDERAMMA, C.; HOWELLS, M. ClimateCompatibleGrowth/clickSAND: v1.1 (versão v1.1). Zenodo, 10 mar. 2021. Disponível em: <http://doi.org/10.5281/zenodo.4593100>. Acesso em: 08 out. 2023.

CANNONE, Carla; ALLINGTON, Lucy; HOWELLS, Mark. Hands-on 2: Energy and Flexibility Modelling (Version 3.1). Zenodo, março de 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4605256>. Acesso em: 02 out. 2023.

CANNONE, Carla; ALLINGTON, Lucy; HOWELLS, Mark. Hands-on 3: Energy and Flexibility Modelling (Version 2.0). Zenodo, março de 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4605358>. Acesso em: 05 fev. 2024.

CANNONE, C.; ALLINGTON, L.; HOWELLS, M. Hands-on 4: Energy and Flexibility Modelling. Zenodo, March 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4609733>. Acesso em: 05 fev. 2024.

CANNONE, C.; ALLINGTON, L.; HOWELLS, M. Hands-on 5: Energy and Flexibility Modelling. Zenodo, March 2021. Version 3.2. Disponível em: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4609758>. Acesso em: 05 fev. 2024.

CANNONE, C.; ALLINGTON, L.; HOWELLS, M. Hands-on 6: Energy and Flexibility Modelling. Zenodo, March 2021. Version 2.0. Disponível em: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4609769>. Acesso em: 06 fev. 2024.

CANNONE, C.; ALLINGTON, L.; HOWELLS, M. Hands-on 7: Energy and Flexibility Modelling. Zenodo, March 2021. Version 2.0. Disponível em: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4609932>. Acesso em: 06 fev. 2024.

CANNONE, C.; ALLINGTON, L.; HOWELLS, M. Hands-on 8: Energy and Flexibility Modelling. Zenodo, March 2021. Version 2.0. Disponível em: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4609947>. Acesso em: 07 fev. 2024.

CANNONE, C.; ALLINGTON, L.; HOWELLS, M. Hands-on 9: Energy and Flexibility Modelling. Zenodo, March 2021. Version 2.0. Disponível em: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4609954>. Acesso em: 07 fev. 2024.

CANNONE, C.; ALLINGTON, L.; HOWELLS, M. Hands-on 10: Energy and Flexibility Modelling. Zenodo, March 2021. Version 3.0. Disponível em: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4609961>. Acesso em: 08 fev. 2024.

HOSEINPOORI, P.; KELL, A.; HAWKES, A. Hands-on 11: Energy and Flexibility Modelling. Version 1.3. Zenodo, March 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4618320>. Acesso em: 08 fev. 2024.

KELL, A.; HOSEINPOORI, P.; HAWKES, A. Hands-on 12: Energy and Flexibility Modelling. Version 1.3. Zenodo, March 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4618333>. Acesso em: 16 fev. 2024.

KELL, A.; HOSEINPOORI, P.; HAWKES, A. Hands-on 13: Energy and Flexibility Modelling. Version 1.2. Zenodo, March 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4618351>. Acesso em: 16 fev. 2024.

HOSEINPOORI, P.; KELL, A.; HAWKES, A. Hands-on 14: Energy and Flexibility Modelling. Version 1.4. Zenodo, March 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4617028>. Acesso em: 17 fev. 2024.

CANNONE, C.; ALLINGTON, L.; HOWELLS, M. Hands-on 15: Energy and Flexibility Modelling. Zenodo, March 2021. Version 3.0. Disponível em: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4610005>. Acesso em: 17 fev. 2024.

HOSEINPOORI, P.; KELL, A.; HAWKES, A. Hands-on 16: Energy and Flexibility Modelling. Version 1.4. Zenodo, March 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4616943>. Acesso em: 20 fev. 2024.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). IRENA FlexTool Basic Training. [s.l.]: IRENA, 2020. Disponível em: https://www.irena.org/-/media/Irena/Files/IRENA-flextool/IRENA_FlexTool_BasicTraining.pdf. Acesso em: 17 fev. 2024.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). IRENA FlexTool: Methodology. [s.l.], 2020. Disponível em: https://www.irena.org/-/media/Irena/Files/IRENA-flextool/IRENA_FlexTool_Methodology.pdf. Acesso em: 17 fev. 2024.

TAIBI, Emanuele; NIKOLAKAKIS, Thomas; GUTIERREZ, Laura; FERNANDEZ, Carlos (IRENA); KIVILUOMA, Juha; LINDROOS, Tomi J.; RISSANEN, Simo (VTT). Summary of Methodology. [s.l.]: IRENA, 2019. Disponível em: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Nov/IRENA_FlexTool_summary_2019.pdf. Acesso em: 17 fev. 2024.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). Modelling different flexibility options. [s.l.]: IRENA, 2020. Disponível em: https://www.irena.org/-/media/Irena/Files/IRENA-flextool/IRENA_FlexTool_FlexibilityOptions.pdf. Acesso em: 17 fev. 2024.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). IRENA FlexTool. Disponível em: <https://irena-flextool.github.io/flextool/>. Acesso em: 17 fev. 2024.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). FlexTool. Abu Dhabi: IRENA, s.d. Disponível em: <https://www.irena.org/Energy-Transition/Planning/Flextool>. Acesso em: 7 set. 2024.

FREIRE, Felipe. O que é sistema de armazenamento de energia. *Share Energy*. Disponível em: <https://www.shareenergy.com.br/o-que-e-sistema-de-armazenamento-de-energia/>. Acesso em: 10 jun. 2024.

VOJTA, João Lucas. Inércia síncrona. *Mercurio Partners*. Disponível em: <https://mercuriopartners.com.br/inercia-sincrona/>. Acesso em: 10 jun. 2024.

TUTORIALS FOR ENERGY AND FLEXIBILITY MODELLING: OSEMOSSYS & FLEXTOOL. YouTube, [S.l.], 2021. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=A8KS2iMGizU&list=PLhLN8V8JSUnIw5osZPtOW-U4s87Qey115>. Acesso em: 7 set. 2024.

HITACHI. Tipos de armazenamento de energia: quais são? Entenda! Disponível em: <https://www.hitachi.com.br/blog-q3-p6.php>. Acesso em: 10 jun. 2024.

NEVES, Lívia. Tecnologias para armazenar energia. *Way2*, 20 ago. 2021. Disponível em: <https://www.way2.com.br/blog/tecnologias-para-armazenar-energia/>. Acesso em: 10 jun. 2024.

SCHWERZ, Lucas; VELENZUELA TURDERA, Eduardo Mirko. Balanço das emissões de gases do efeito estufa (CO₂) em usinas sucroenergéticas, de Mato Grosso do Sul de acordo com a potência instalada em suas centrais de cogeração. *In: ENCONTRO NACIONAL DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE (ENEPEX)*, 3., 2023, Dourados. Anais... Dourados: UFGD, 2023. Disponível em: <http://eventos.ufgd.edu.br/enepep/anais/arquivos/329.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2024.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Termoeletrica com a queima do bagaço de cana-de-açúcar no Brasil: safra 2009/2010. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, mar. 2011. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/agroenergia/arquivos-termoeletrica-com-a-queima-do-bagaco-de-cana-de-acucar/termoeletrica-com-a-queima-do-bagaco-de-cana-de-acucar-no-brasil-safra-2009-2010.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2024.

OLIVEIRA, Janaína Garcia de. Perspectivas para a cogeração com bagaço de cana-de-açúcar: potencial do mercado de carbono para o setor sucro-alcooleira paulista. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007. Orientador: Prof. Dr. Wilson Kendy Tachibana. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18140/tde-03052007-160128/publico/Texto.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2024.

ELETRONUCLEAR. Relatório Anual 2019. Rio de Janeiro: Eletronuclear, 2019. Disponível em: <https://www.eletronuclear.gov.br/Quem-Somos/Governanca/Documents/Relatorios-Anuais/Relatorio-Anual-2019.pdf>. Acesso em: 15 mai. 2024.

ENERGIA E AMBIENTE. Subsistema Sul tem as termoelétricas mais emissoras de GEE, mostra estudo do IEMA. Junho 2022. Disponível em: <https://energiaeambiente.org.br/subsistema-sul-tem-as-termeletricas-mais-emissoras-de-gee-mostra-estudo-do-iema-20220630>. Acesso em: 7 jun. 2024.

ENERGIA E AMBIENTE. Agropecuária impulsiona emissões no Nordeste: dados do SEEG Municípios. Abril 2021. Disponível em: <https://energiaeambiente.org.br/agropecuaria-impulsiona-emissoes-no-nordeste-dados-do-seeg-municipios-20210422>. Acesso em: 7 jun. 2024.

ENERGIA E AMBIENTE. Emissões de gases de efeito estufa de usinas termoelétricas cresceram 75%. Dezembro 2022b. Disponível em: <https://energiaeambiente.org.br/emissoes-de-gases-de-efeito-estufa-de-usinas-termeletricas-cresceram-75-20221215>. Acesso em: 7 jun. 2024.

ELETRONUCLEAR. Angra 2 completa 20 anos de excelência em segurança e produtividade. 2 fev. 2021. Disponível em: <https://www.eletronuclear.gov.br/Imprensa-e-Midias/Paginas/Angra-2-completa-20-anos-de-excel%C3%Aancia-em-seguran%C3%A7a-e-productividade.aspx>. Acesso em: 15 jun. 2024.

ELETRONUCLEAR. Angra 2 alcança produção de 200 milhões de MWh. 25 jun. 2020. Disponível em: <https://www.eletronuclear.gov.br/Imprensa-e-Midias/Paginas/Angra-2-alcan%C3%A7a-produ%C3%A7%C3%A3o-de-200-milh%C3%B5es-de-MWh.aspx>. Acesso em: 15 jun. 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Análise dos leilões de biomassa: 2019. Rio de Janeiro: EPE, 2019. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-433/EPE-DEE-089-2019-r0%20-%20NT%20BIOMASSA%20LEILOES.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2024.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO (ONS). Geração de energia. [s.l]: ONS, s.d.a. Disponível em: https://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/geracao_energia.aspx. Acesso em: 10 jun. 2024.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO (ONS). Capacidade instalada. [s.l]: ONS, s.d.b Disponível em: https://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/capacidade_instalada.aspx. Acesso em: 10 jun. 2024.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO (ONS). Fator de capacidade. [s.l]: ONS, s.d.c Disponível em: <https://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/fator-capacidade.aspx>. Acesso em: 10 jun. 2024.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO (ONS). Geração: fator de capacidade – Médios mensais. [s.l]: ONS, s.d.d Disponível em: <https://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/geracao-fator-capacidade-medios-mensais.aspx>. Acesso em: 10 jun. 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE); MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). Relatório final do PNE 2050. Rio de Janeiro: EPE, 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-563/Relatorio%20Final%20do%20PNE%202050.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE); MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). PNE 2030 – Geração termelétrica (petróleo e derivados). Rio de Janeiro: EPE, 2006-2007. Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-165/topico-173/PNE%202030%20-%20Gera%C3%A7%C3%A3o%20Termel%C3%A9trica%20\(Petr%C3%B3leo%20e%20Derivados\).pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-165/topico-173/PNE%202030%20-%20Gera%C3%A7%C3%A3o%20Termel%C3%A9trica%20(Petr%C3%B3leo%20e%20Derivados).pdf). Acesso em: 10 jun. 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE); MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). PNE 2030 – Petróleo e derivados. Rio de Janeiro: EPE, 2006. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-165/topico-175/PNE%202030%20-%20Petr%C3%B3leo%20e%20Derivados.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE); MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). NT PR 007-2018: Premissas e custos da oferta de energia elétrica. Rio de Janeiro: EPE, 2018. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-456/NT%20PR%20007-2018%20Premissas%20e%20Custos%20Oferta%20de%20Energia%20El%C3%A9trica.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE); MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). Caderno de parâmetros de custos – PDE 2030. Rio de Janeiro: EPE, 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-490/topico-522/Caderno%20de%20Par%C3%A2metros%20de%20Custos%20-%20PDE%202030.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Consumo de energia elétrica. [S.l.]: EPE, s.d. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/consumo-de-energia-eletrica>. Acesso em: 7 set. 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE); MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). PNE 2030 – Geração termelétrica (carvão mineral). Rio de Janeiro: EPE, 2006-2007b. Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-165/topico-173/PNE%202030%20-%20Gera%C3%A7%C3%A3o%20Termel%C3%A9trica%20\(Carv%C3%A3o%20Mineral\).pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-165/topico-173/PNE%202030%20-%20Gera%C3%A7%C3%A3o%20Termel%C3%A9trica%20(Carv%C3%A3o%20Mineral).pdf). Acesso em: 10 jun. 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE); MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). PNE 2030 – Geração termelétrica (gás natural). Rio de Janeiro: EPE, 2006-2007c.

Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-165/topico-173/PNE%202030%20-%20Gera%C3%A7%C3%A3o%20Termel%C3%A9trica%20\(G%C3%A1s%20Natural\).pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-165/topico-173/PNE%202030%20-%20Gera%C3%A7%C3%A3o%20Termel%C3%A9trica%20(G%C3%A1s%20Natural).pdf).

Acesso em: 10 jun. 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE); MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). PNE 2030 – Geração hidrelétrica. Rio de Janeiro: EPE, 2006-2007d. Disponível em:

<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-165/topico-175/PNE%202030%20-%20Gera%C3%A7%C3%A3o%20Hidrel%C3%A9trica.pdf>. Acesso em: 7 set. 2024.

ARONNE, Roberta. Desperdício de energia renovável é ineficiência controlável. 2023.

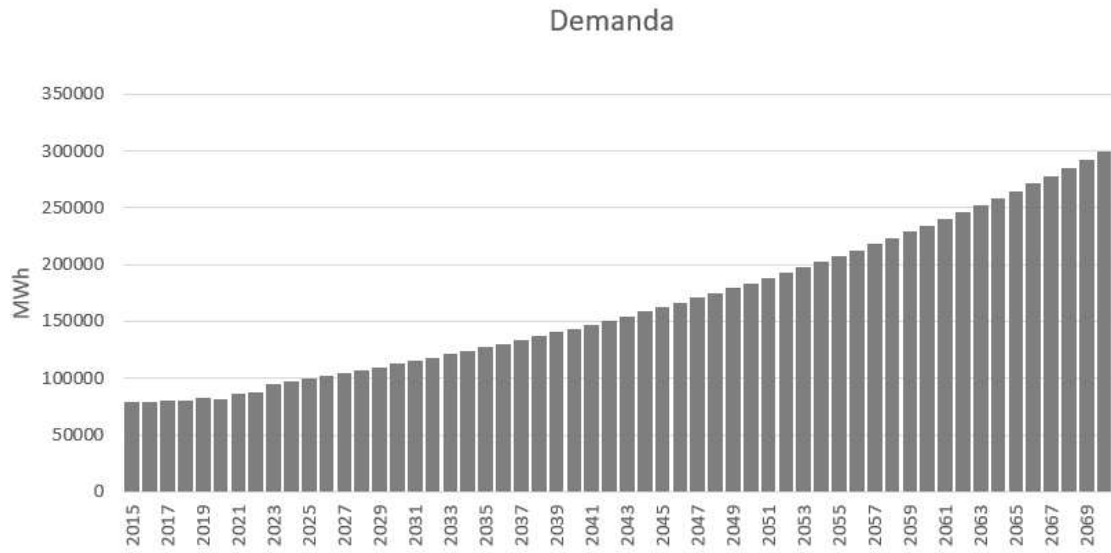
Disponível em: <https://brasilenergia.com.br/energia/desperdicio-de-energia-renovavel-ineficiencia-controlavel>. Acesso em: 07 set. 2024.

XP INVESTIMENTOS. O que é depreciação. Disponível em:

<https://conteudos.xpi.com.br/aprenda-a-investir/relatorios/o-que-e-depreciacao/>. Acesso em: 7 set. 2024.

APÊNDICE A – GRÁFICO DE DEMANDA DE ENERGIA EM OSEMOSSYS

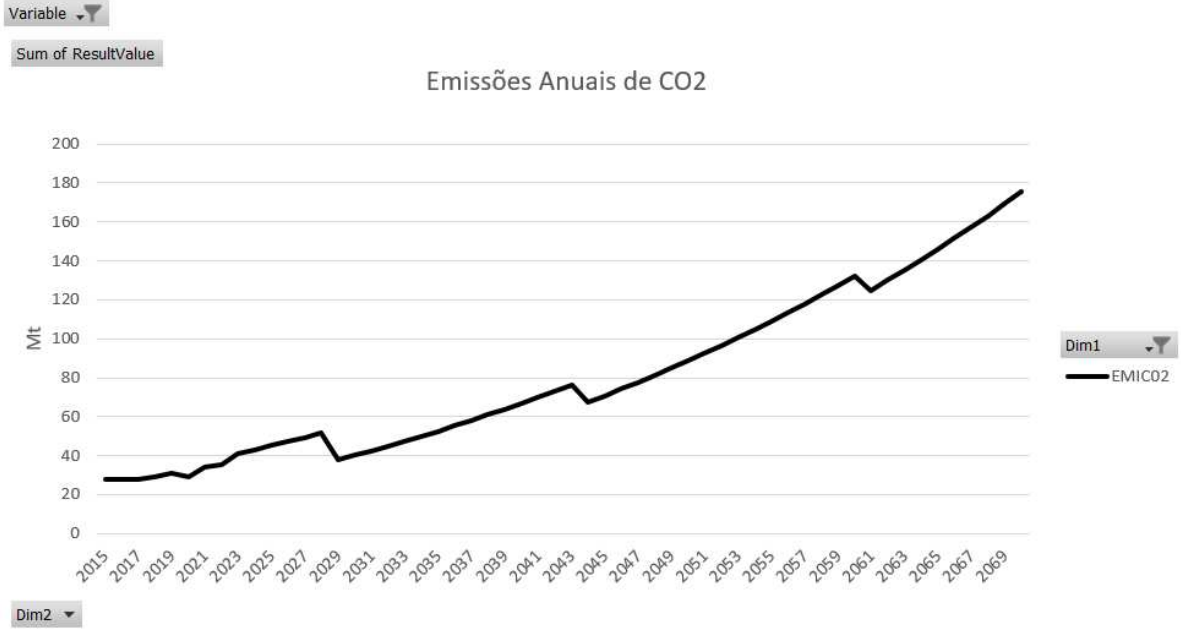
Figura 94 - APÊNDICE: Demanda de energia



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

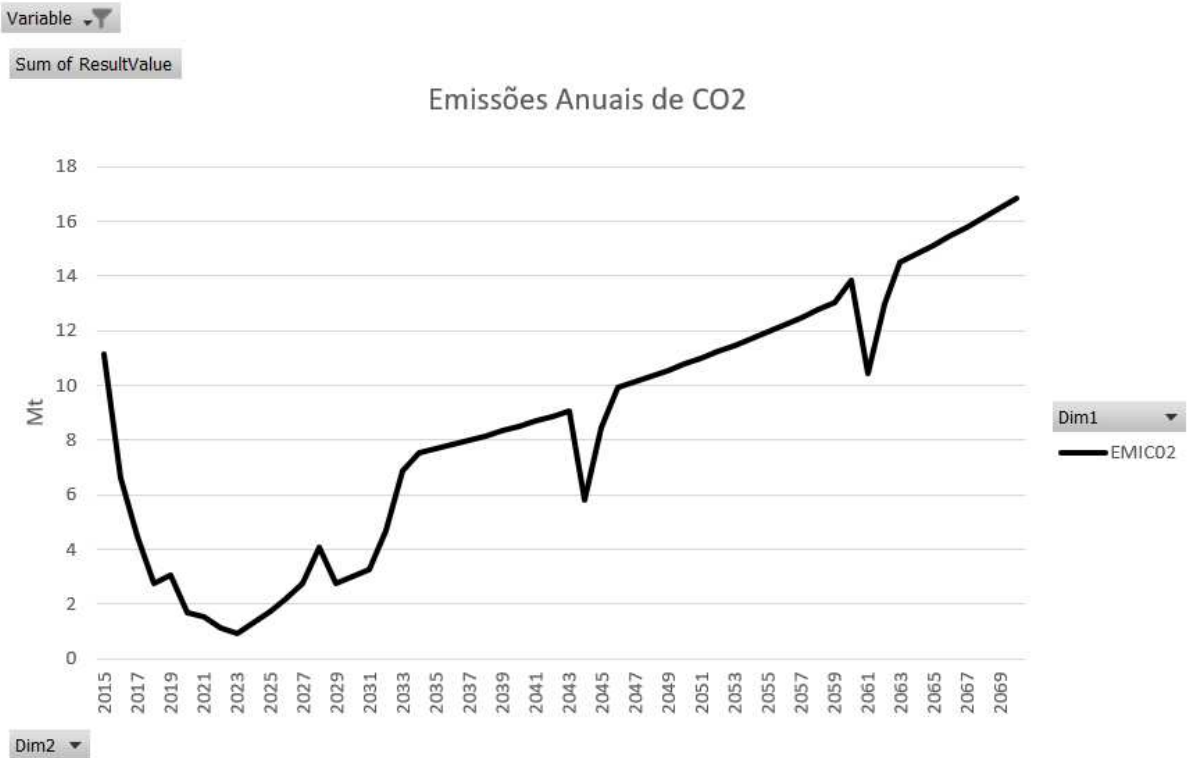
APÊNDICE B – EMISSÕES EM OSEMOYSYS

Figura 95 - APÊNDICE: Emissões Caso 1.



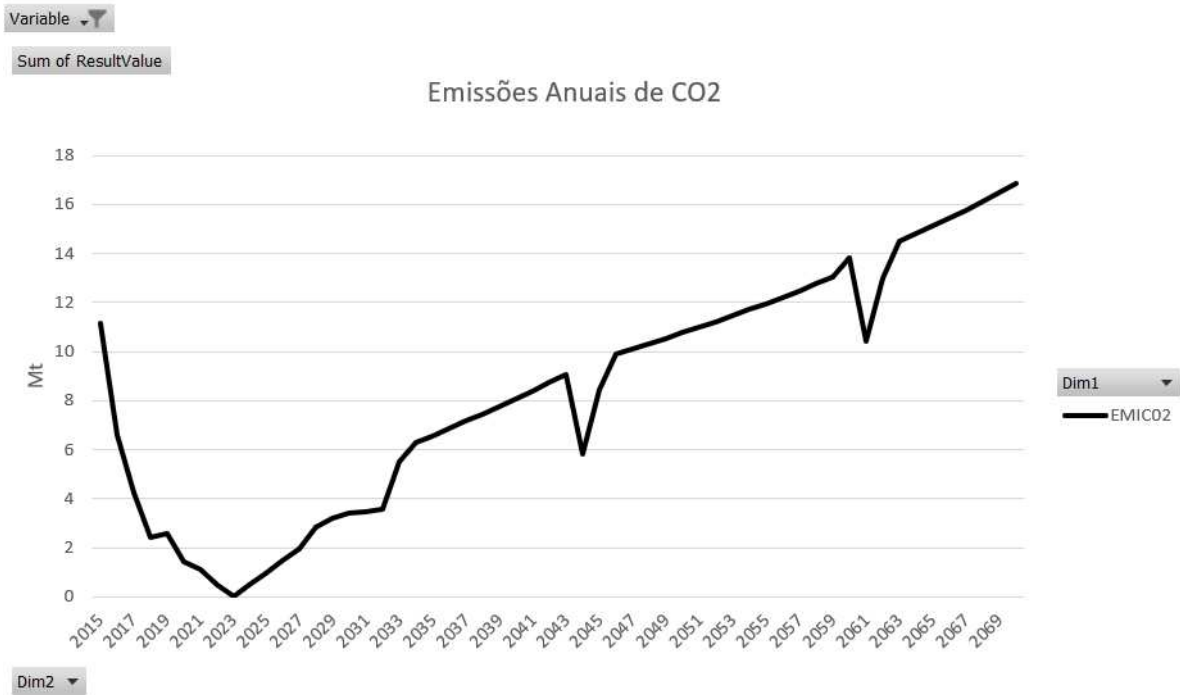
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 96 - APÊNDICE: Emissões Caso 2.



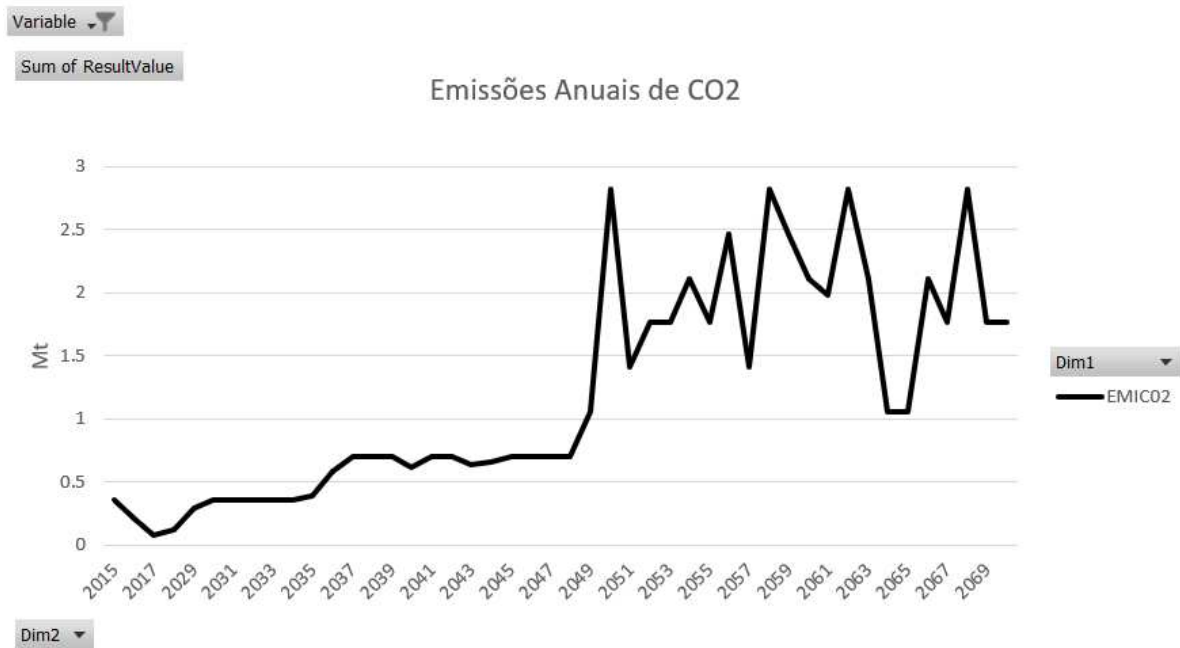
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 97 - APÊNDICE: Emissões Caso 3.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 98 - APÊNDICE: Emissões Caso 4.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

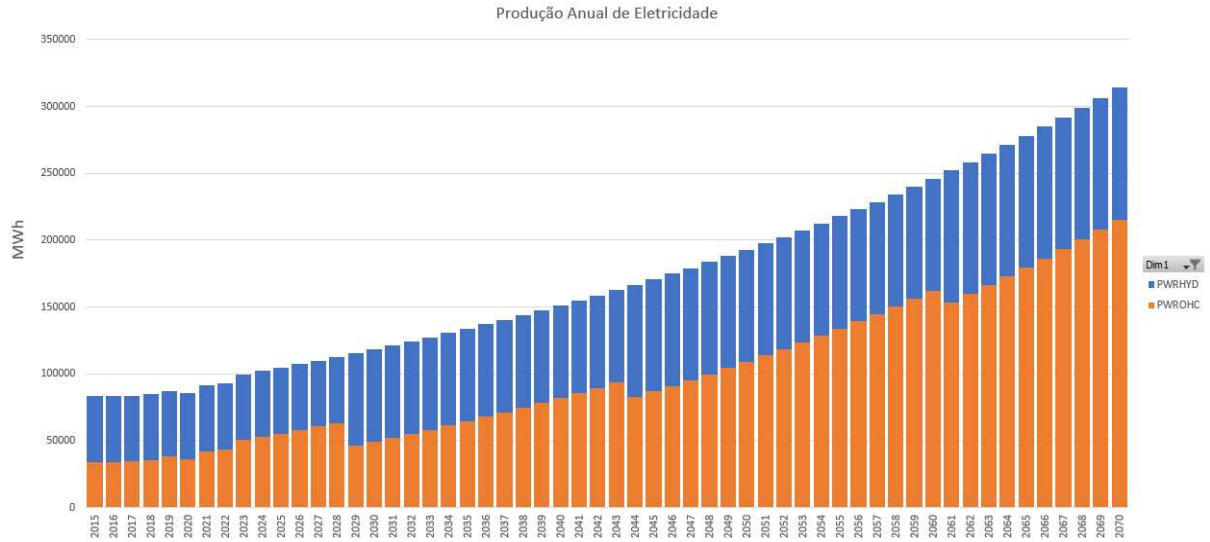
Tabela 17 - APÊNDICE: Emissões dos casos.

CASOS	EMIÇÃO TOTAL (Mt de CO ₂)	MÉDIA POR ANO (Mt de CO ₂)
Caso 1	4.512,415	80,57
Caso 2	484,803	8,65
Caso 3	469,354	8,38
Caso 4	55,215	1,2
Caso 5	0	0

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

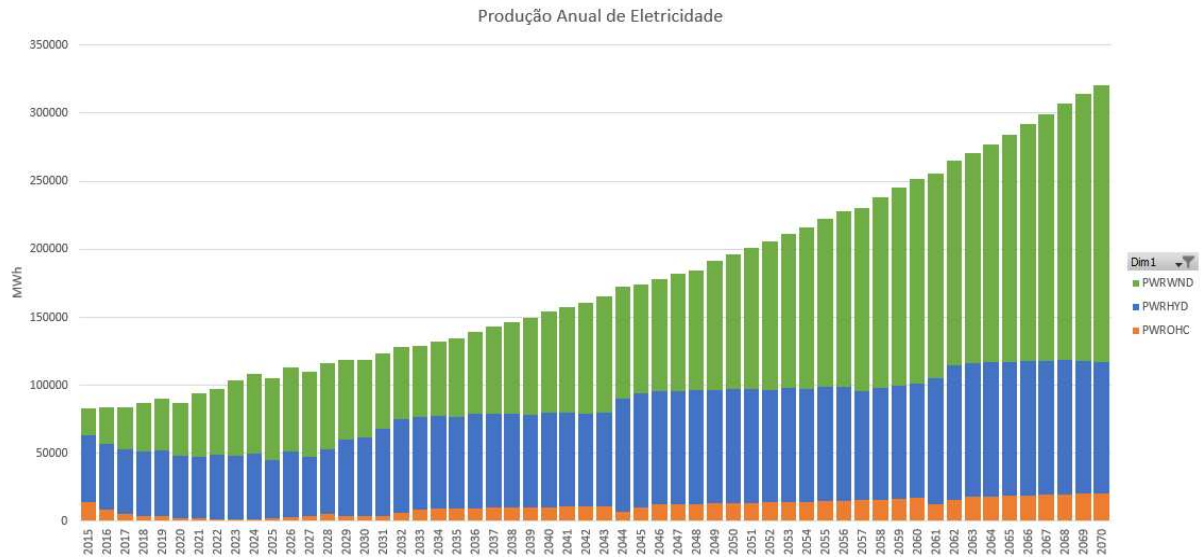
APÊNDICE C – PRODUÇÃO DE ENERGIA ANUAL EM OSEMOYS

Figura 99 - APÊNDICE: Produção de eletricidade Caso 1.



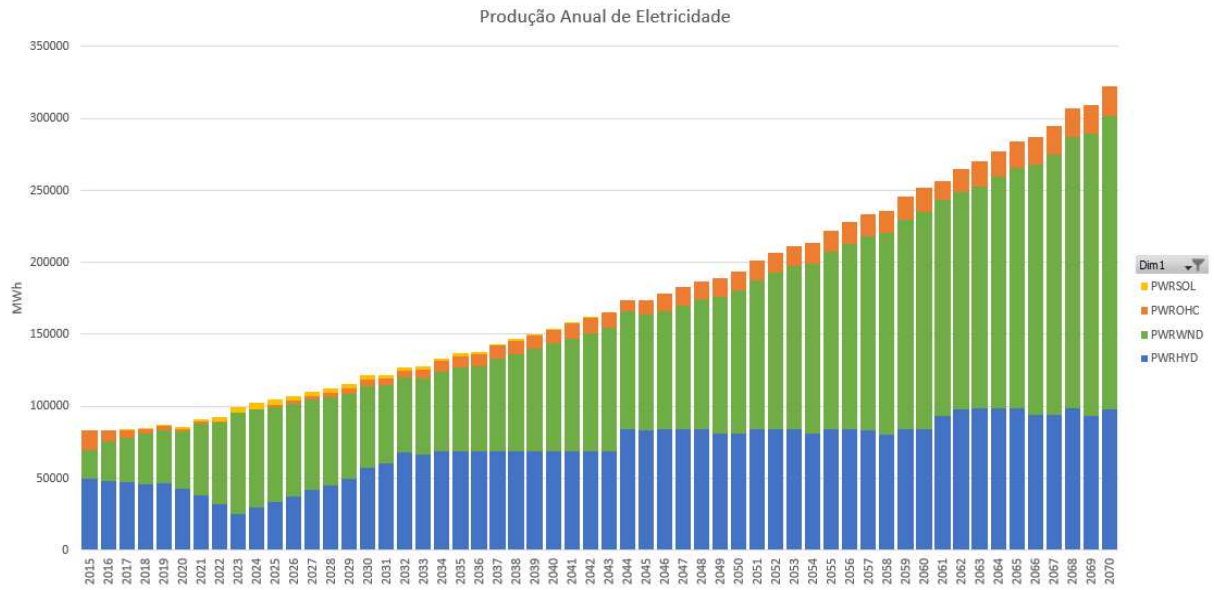
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 100 - APÊNDICE: Produção de eletricidade Caso 2.



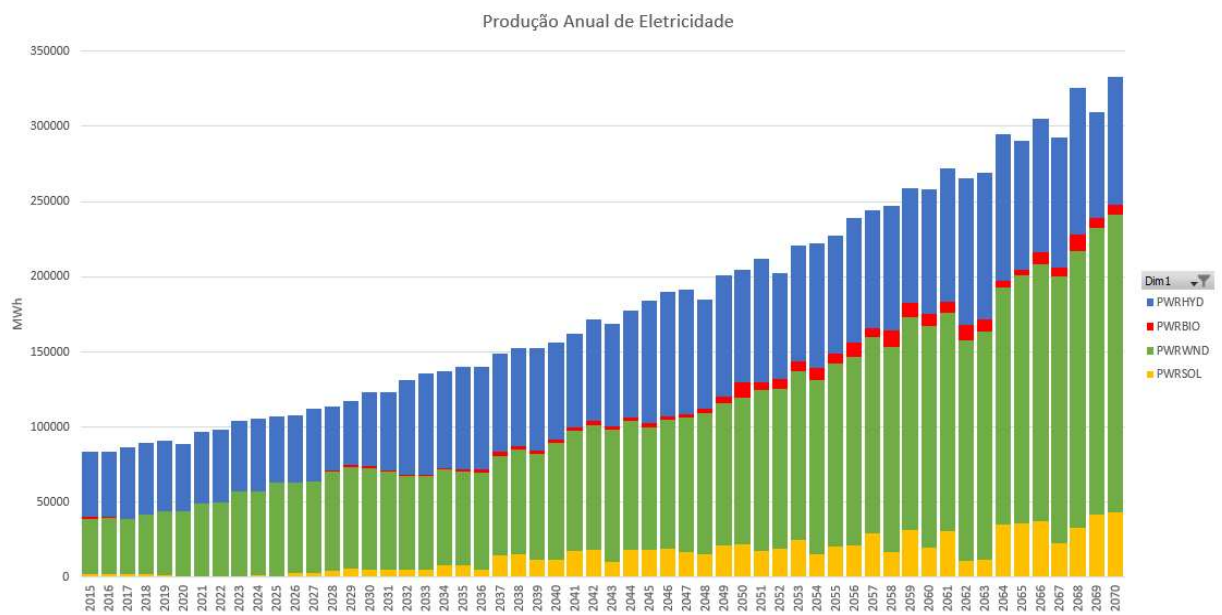
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 101 - APÊNDICE: Produção de eletricidade Caso 3.



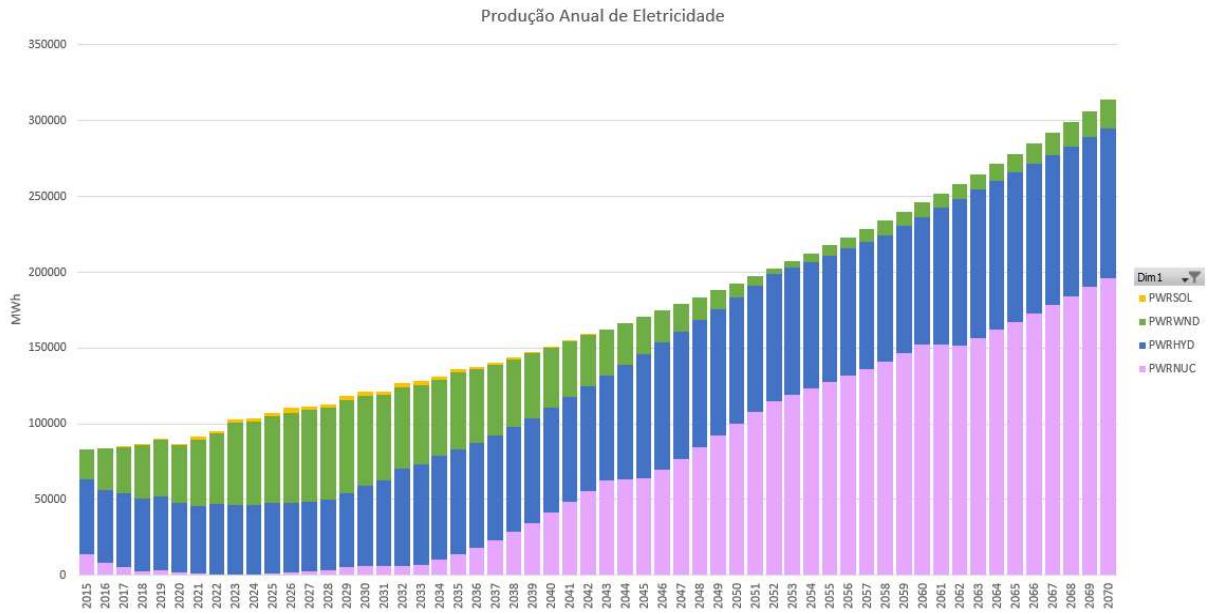
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 102 - APÊNDICE: Produção de eletricidade Caso 4.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

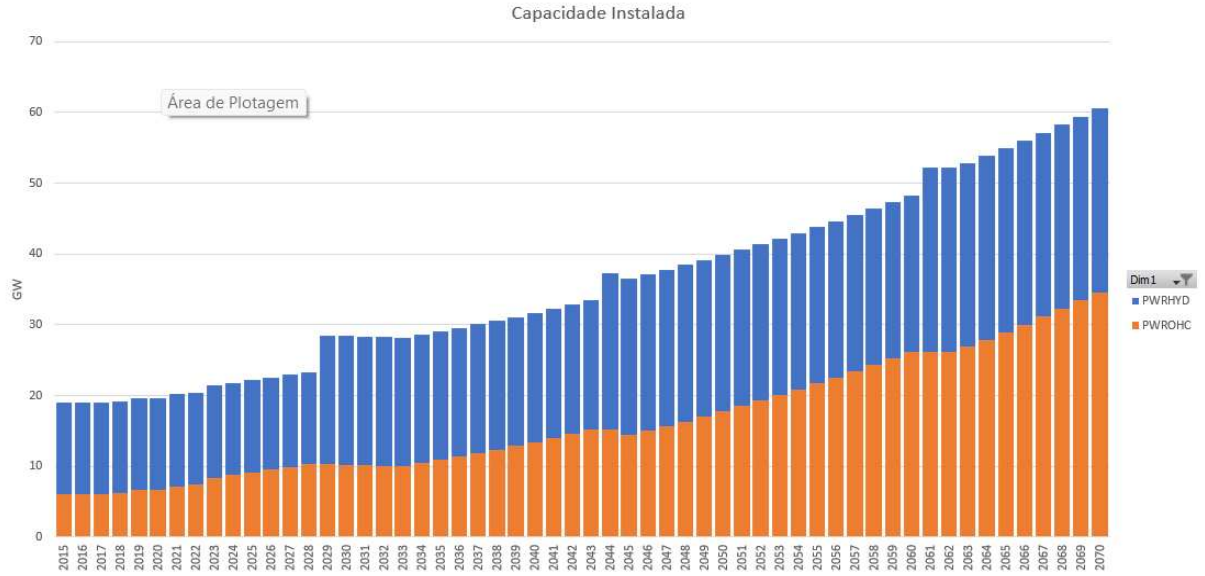
Figura 103 - APÊNDICE: Produção de eletricidade Caso 5.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

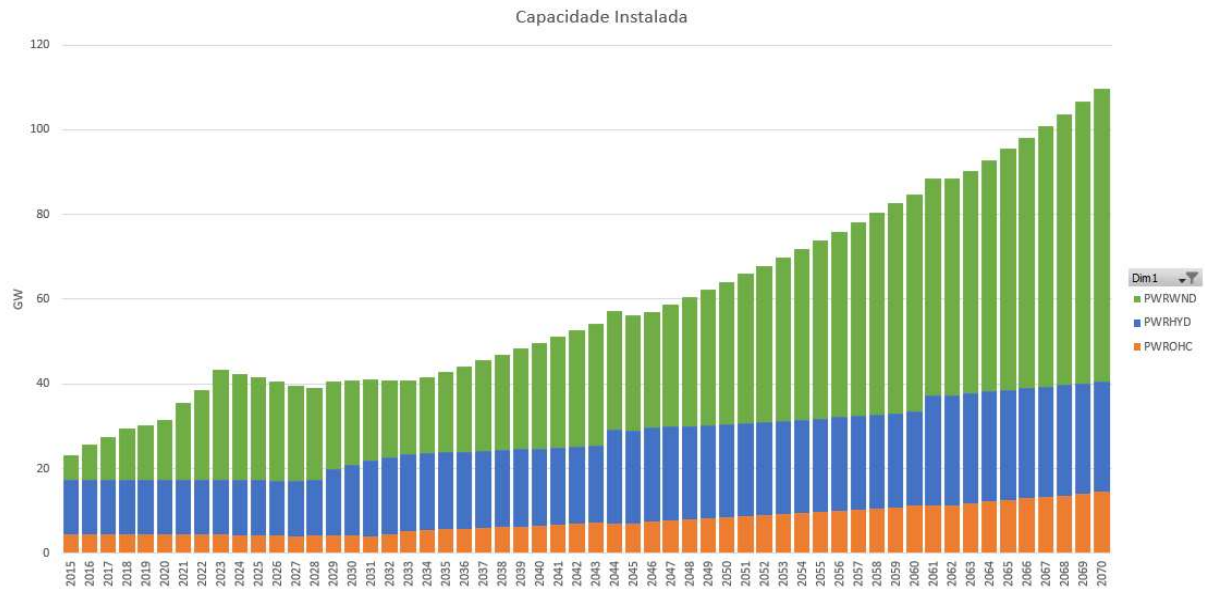
APÊNDICE D – CAPACIDADE INSTALADA EM OSEMOYSYS

Figura 104 - APÊNDICE: Capacidade Instalada Caso 1.



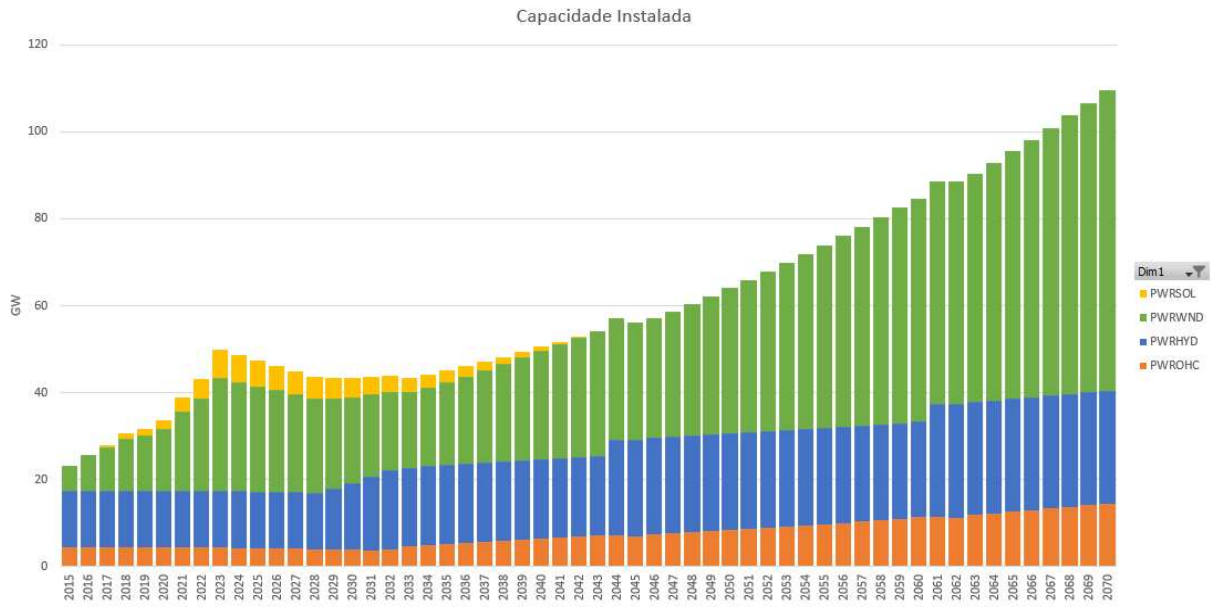
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 105 - APÊNDICE: Capacidade Instalada Caso 2.



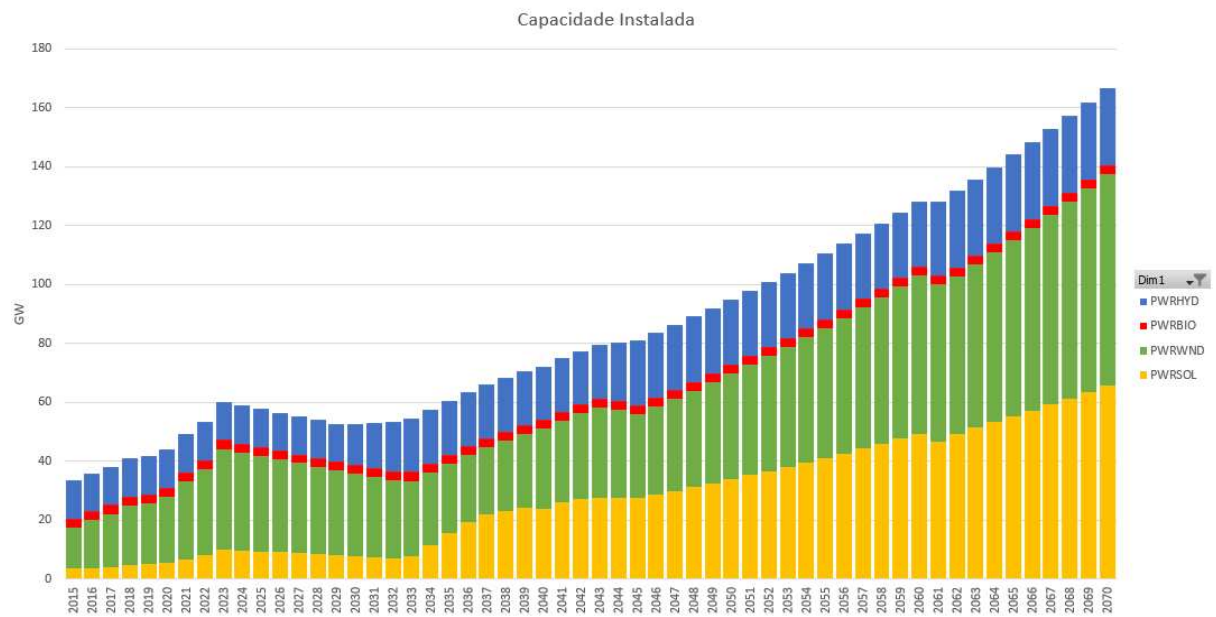
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 106 - APÊNDICE: Capacidade Instalada Caso 3.



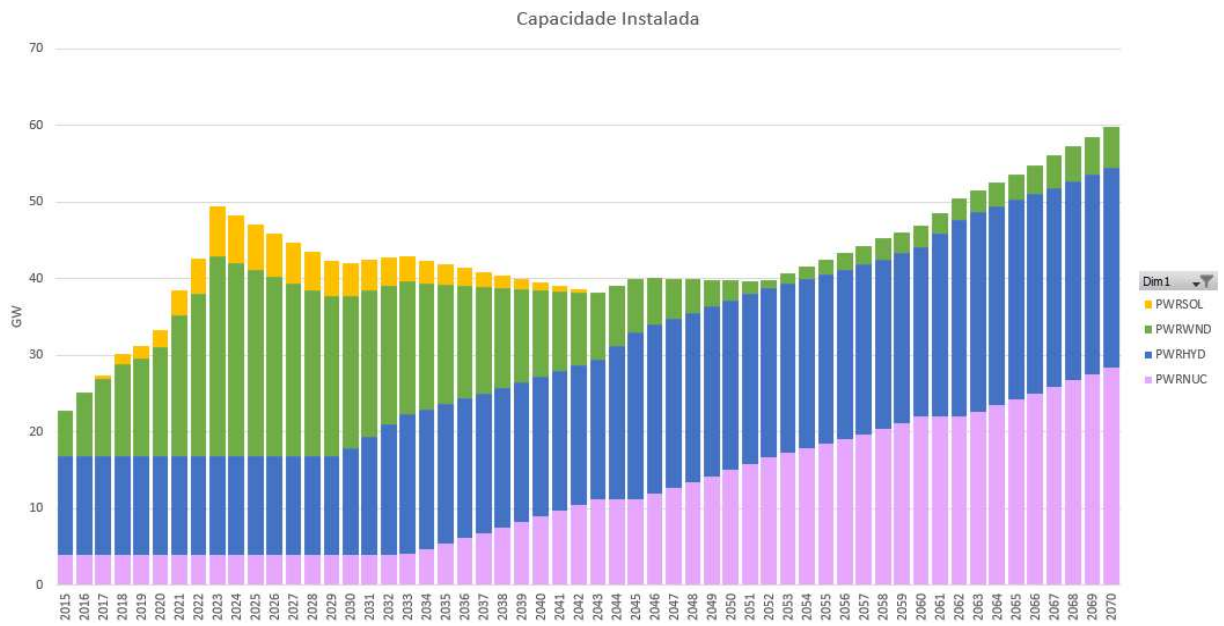
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 107 - APÊNDICE: Capacidade Instalada Caso 4.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

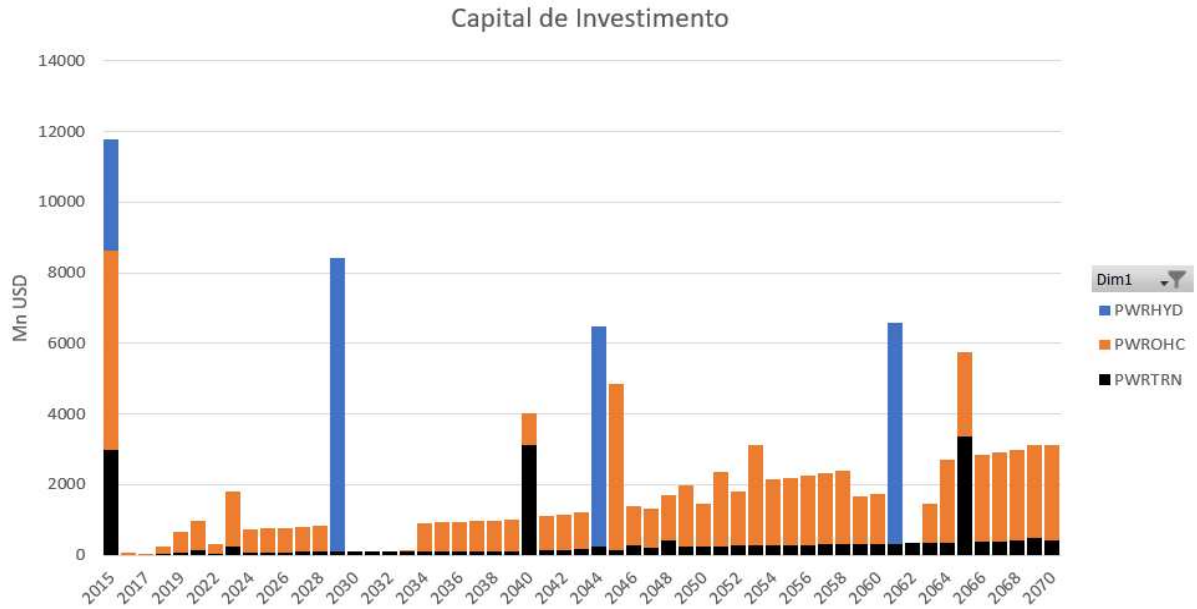
Figura 108 - APÊNDICE: Capacidade Instalada Caso 5.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

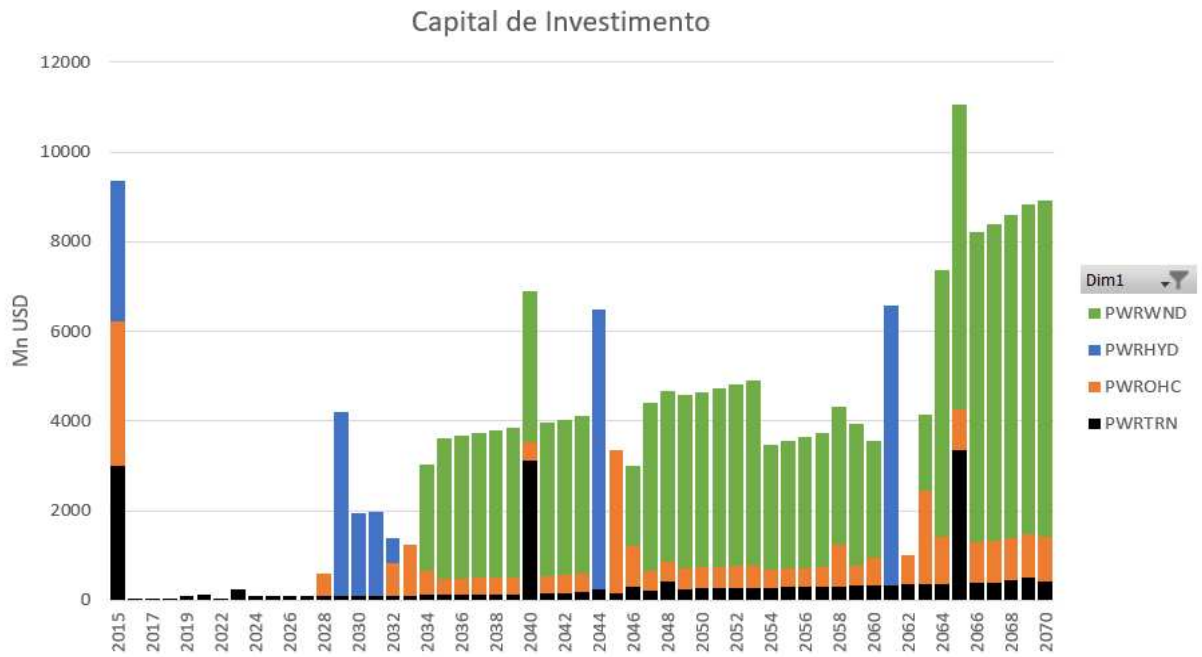
APÊNDICE E – CUSTOS DE INVESTIMENTOS

Figura 109 - APÊNDICE: Custo de Investimento Caso 1.



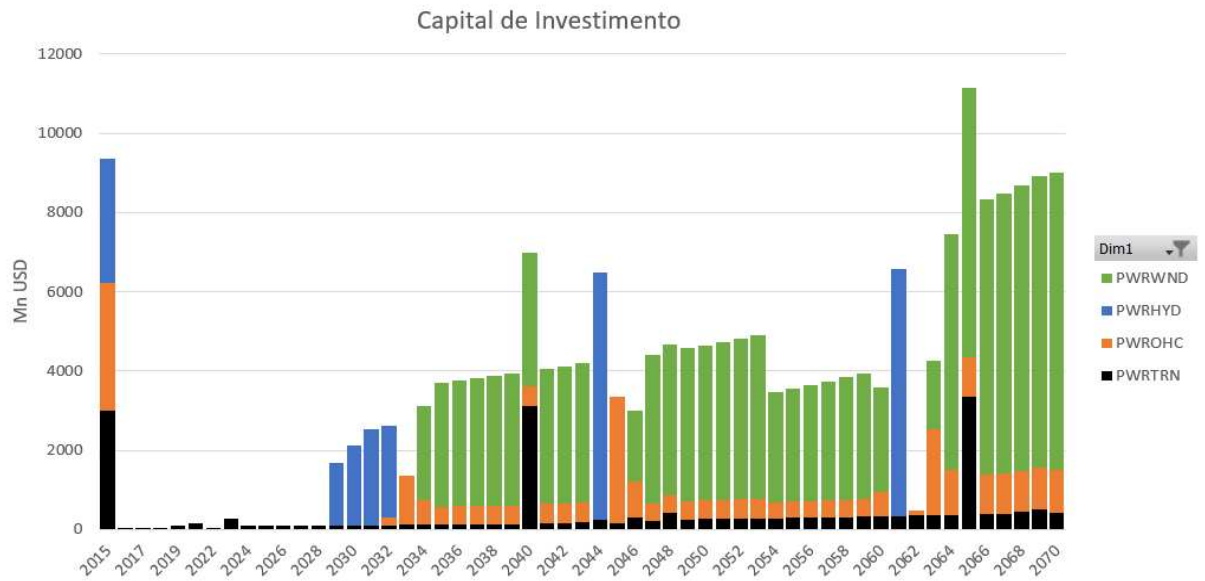
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 110 - APÊNDICE: Custo de Investimento Caso 2.



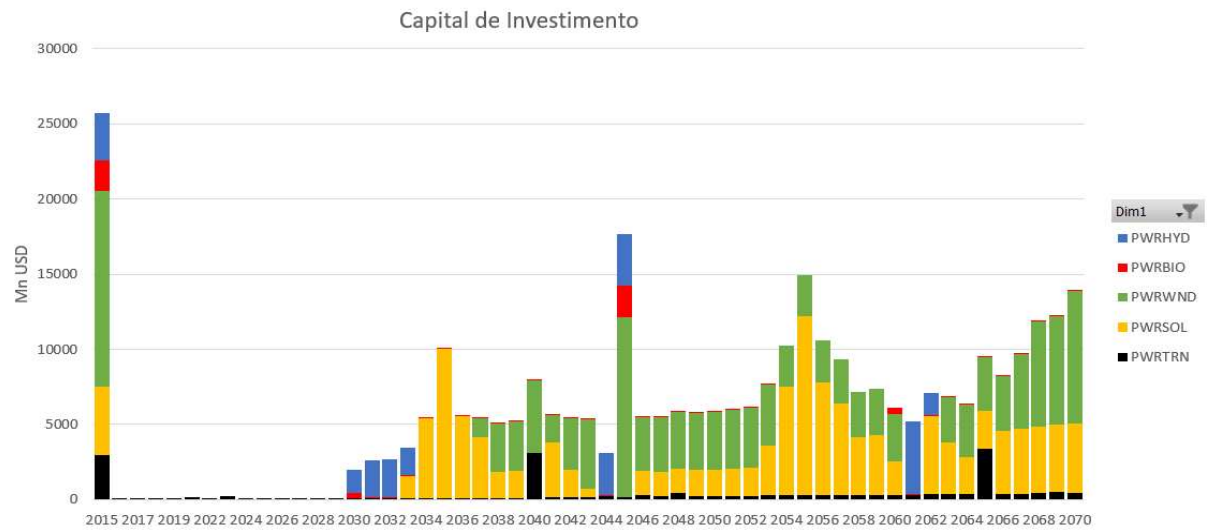
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 111 - APÊNDICE: Custo de Investimento Caso 3.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 112 - APÊNDICE: Custo de Investimento Caso 4.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 113 - APÊNDICE: Custo de Investimento Caso 5.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

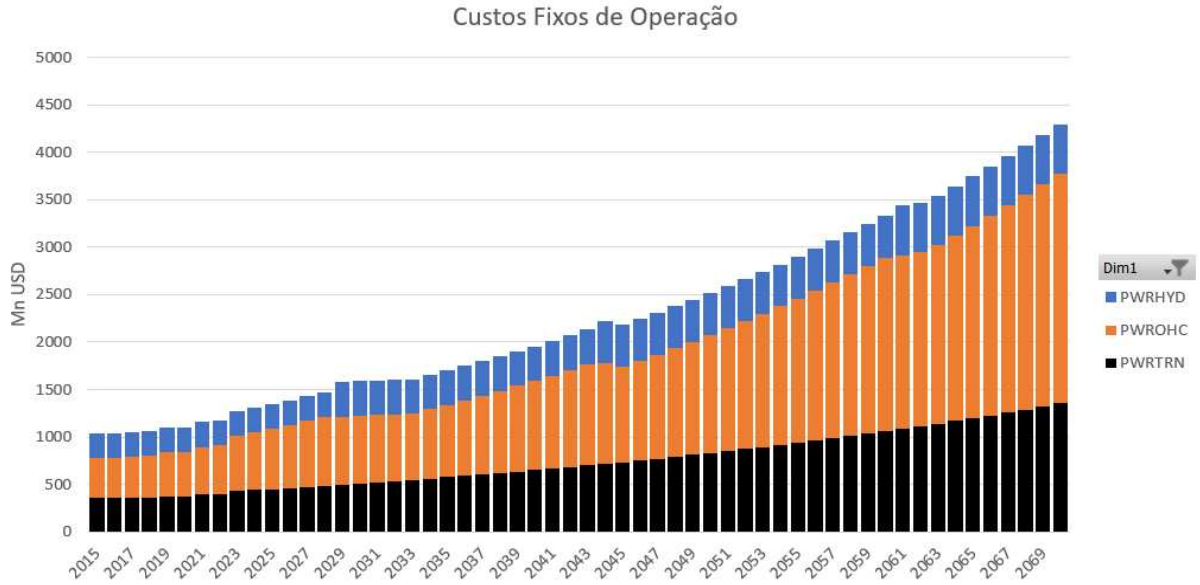
Tabela 18 - APÊNDICE: Custos de investimento.

CASOS	Valor Total (US\$ x 10e6)	Média por Ano (US\$ x 10e6)
Caso 1	115.071	2.092
Caso 2	207.149	3.766
Caso 3	206.871	3.761
Caso 4	325.423	5.916
Caso 5	195.286	3.550

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

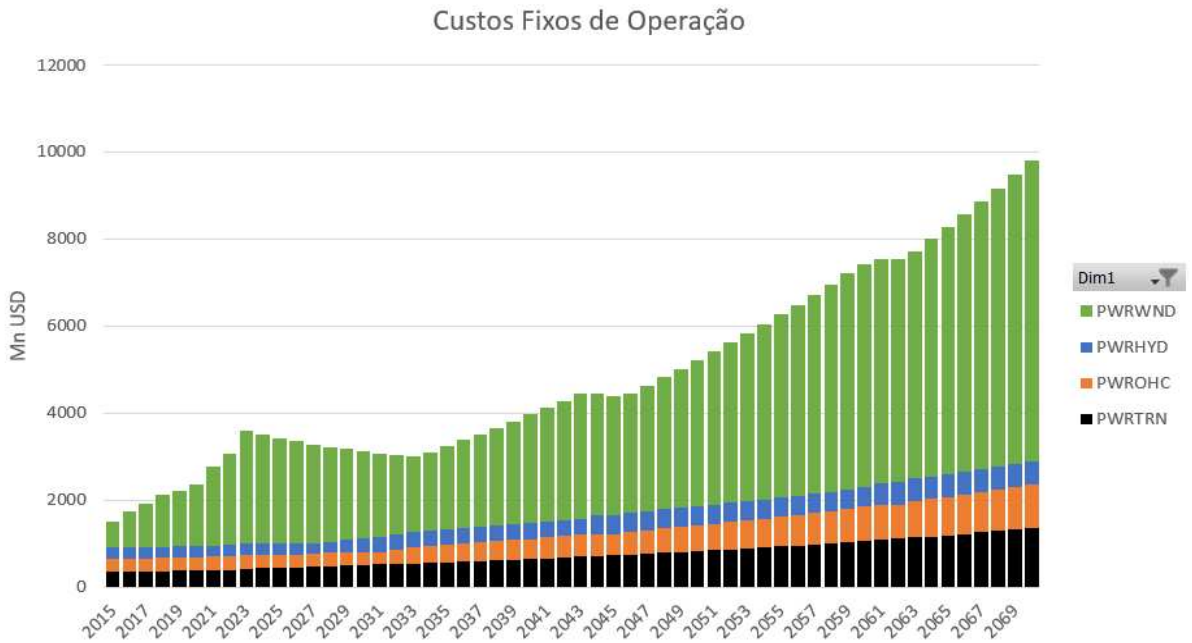
APÊNDICE F – CUSTOS OPERACIONAIS FIXOS

Figura 114 - APÊNDICE: Custos fixos Caso 1.



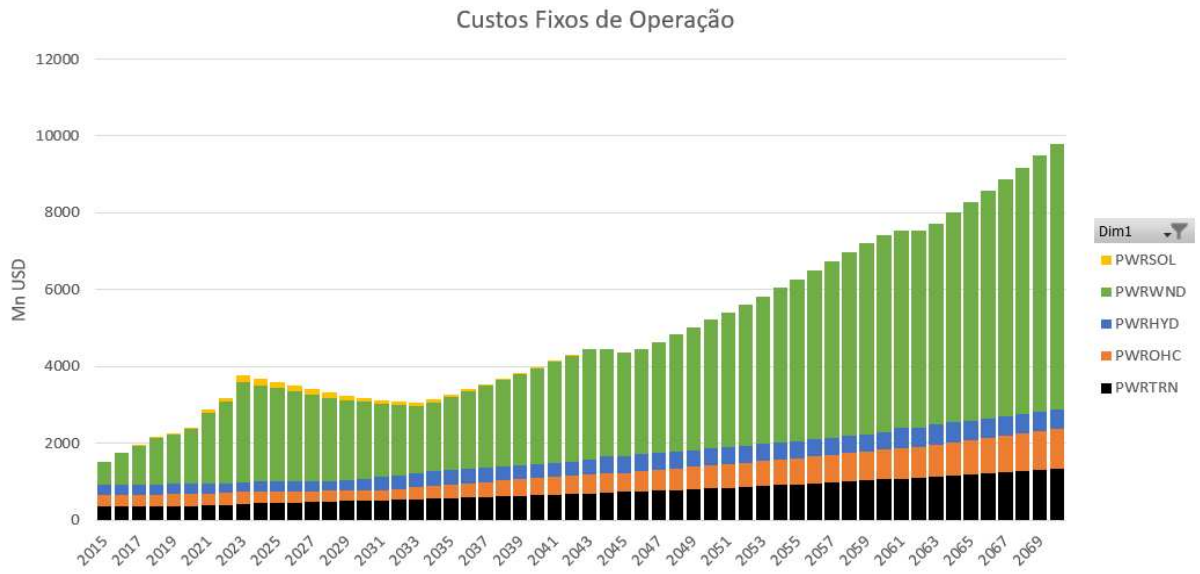
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 115 - APÊNDICE: Custos fixos Caso 2.



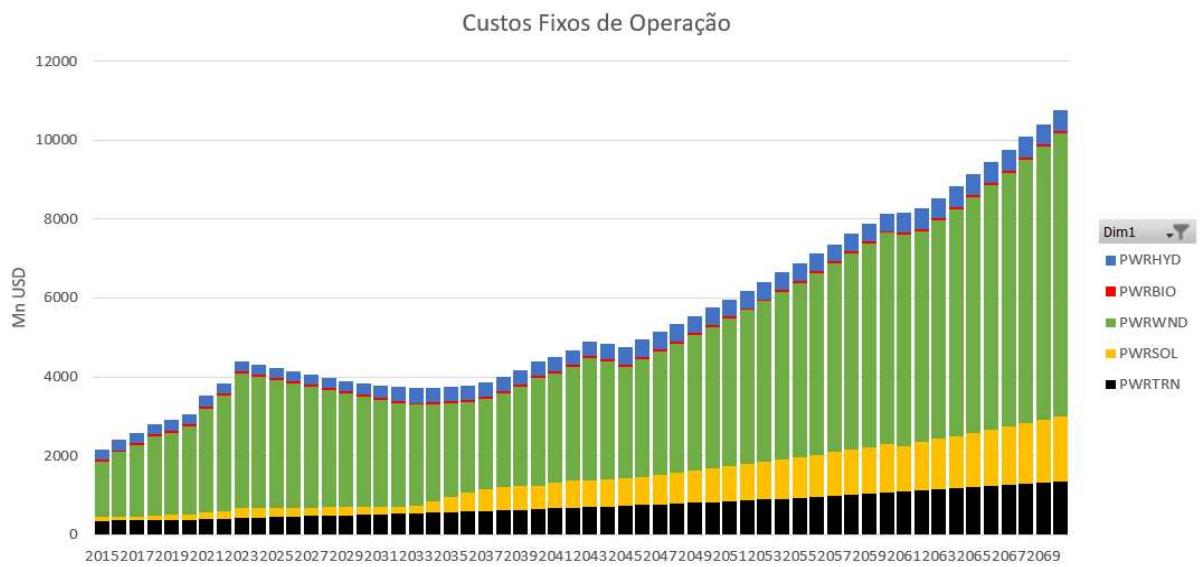
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 116 - APÊNDICE: Custos fixos Caso 3.



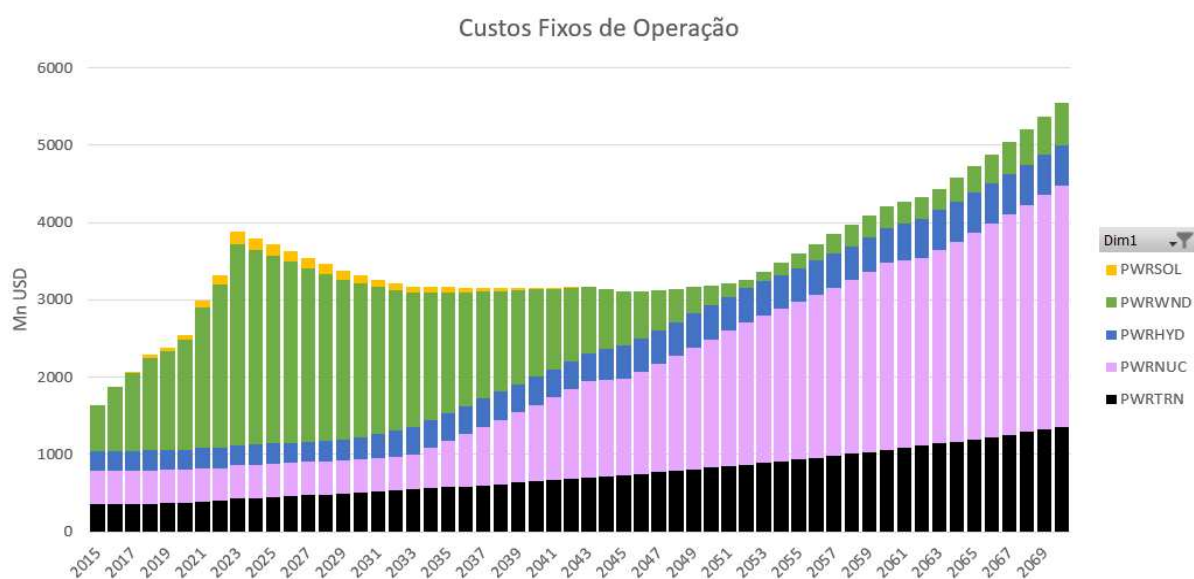
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 117 - APÊNDICE: Custos fixos Caso 4.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 118 - APÊNDICE: Custos fixos Caso 5.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

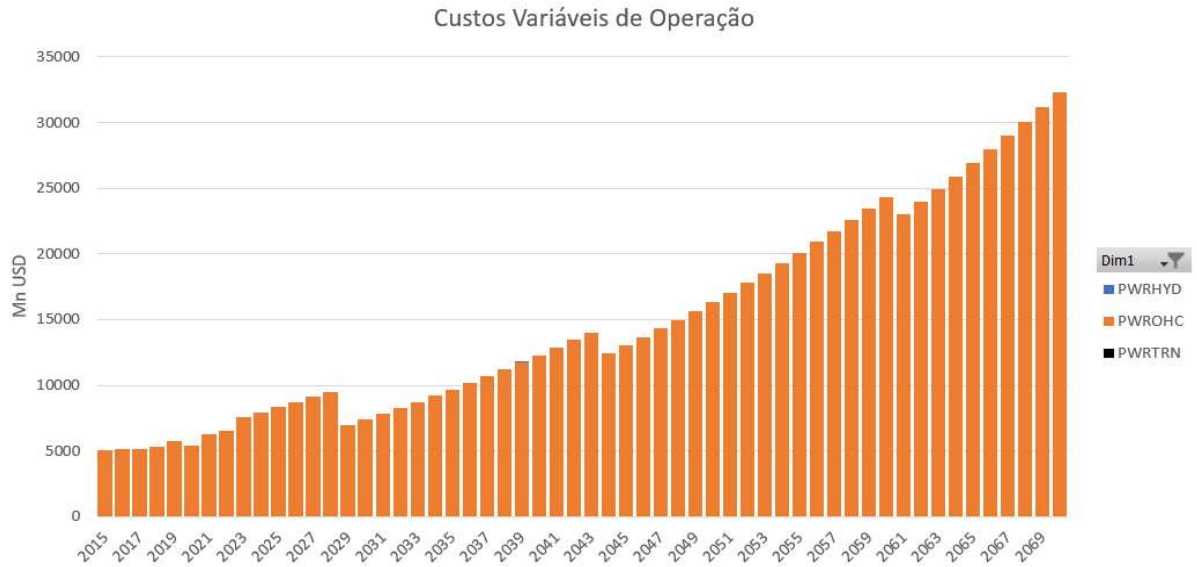
Tabela 19 - APÊNDICE: Custos fixos.

CASOS	Valor Total (US\$ x 10e6)	Média por Ano (US\$ x 10e6)
Caso 1	127.760	2.280
Caso 2	273.114	4.877
Caso 3	274.721	4.905
Caso 4	309.070	5.519
Caso 5	196.159	3.502

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

APÊNDICE G – CUSTOS OPERACIONAIS VARIÁVEIS

Figura 119 - APÊNDICE: Custos variáveis Caso 1.



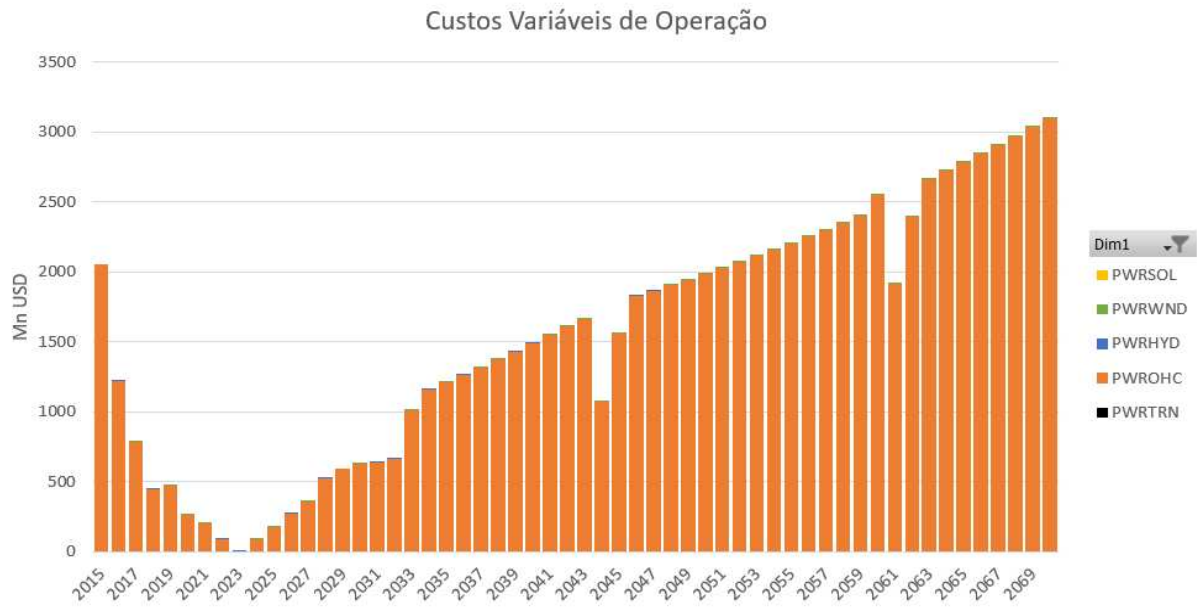
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 120 - APÊNDICE: Custos variáveis Caso 2.



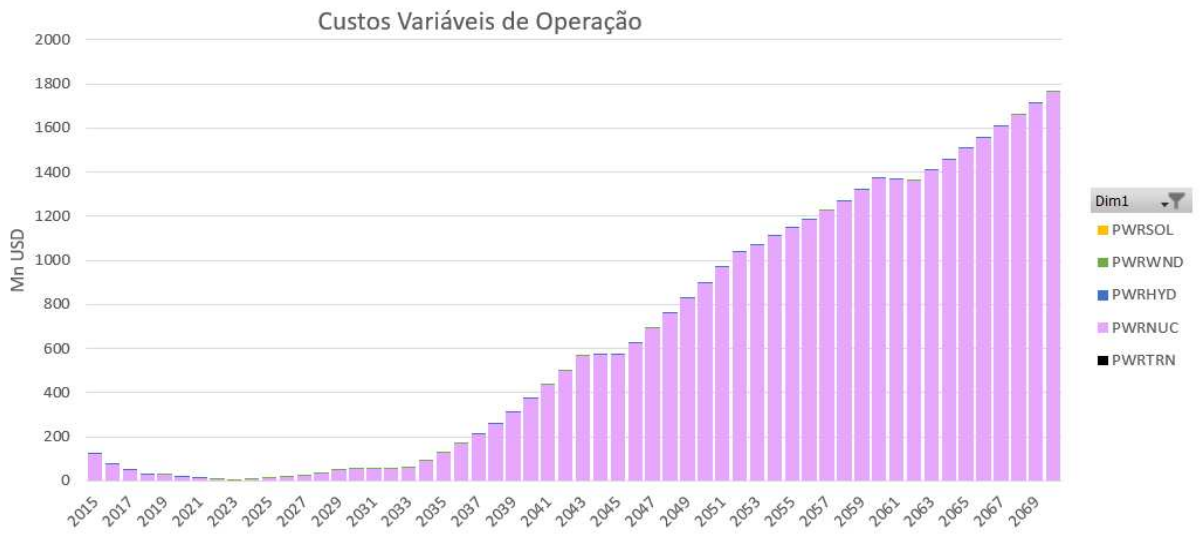
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 121 - APÊNDICE: Custos variáveis Caso 3.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 122 - APÊNDICE: Custos variáveis Caso 5.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

APÊNDICE H – VALORES DE ENTRADA PARA PARÂMETROS EM OSEMOSSYS

Tabela 20 - APÊNDICE: Fatores de potência.

TIMESLICE	PWRHYD	PWROHC	PWRWND	PWRSOL	PWRBIO	PWRNUC
S101	0,4324	0,8	0,4618	0,2027	0,4	0,9
S102	0,4324	0,8	0,7415	0	0,4	0,9
S103	0,3761	0,8	0,2198	0,1492	0,4	0,9
S104	0,3761	0,8	0,3364	0	0,4	0,9
S105	0,4689	0,8	0,2577	0,1595	0,4	0,9
S106	0,4689	0,8	0,3212	0	0,4	0,9
S107	0,4537	0,8	0,3881	0,1635	0,4	0,9
S108	0,4537	0,8	0,5021	0	0,4	0,9

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Tabela 21 - APÊNDICE: Specified Demand Profile.

TIMESLICE	SPECIFIED DEMAND PROFILE
S101	0,1152
S102	0,1248
S103	0,1275
S104	0,1225
S105	0,1200
S106	0,1200
S107	0,1377
S108	0,1323

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Tabela 22 - APÊNDICE: Specified Annual Demand.

ANO	CONSUMO (GWh)	ANO	CONSUMO (GWh)	ANO	CONSUMO (GWh)	ANO	CONSUMO (GWh)
2015	79.273,3	2029	109.948,6	2043	154.719,1	2057	217.719,9
2016	79.571,7	2030	112.664,3	2044	158.540,6	2058	223.097,6
2017	79.791,4	2031	115.447,1	2045	162.456,6	2059	228.608,1
2018	80.719,7	2032	118.298,6	2046	166.469,3	2060	234.254,7
2019	83.206,8	2033	121.220,6	2047	170.581,1	2061	240.040,8
2020	81.255,4	2034	124.214,8	2048	174.794,4	2062	245.969,8
2021	86.917,4	2035	127.282,9	2049	179.111,8	2063	252.045,3
2022	88.172,9	2036	130.426,8	2050	183.535,9	2064	258.270,8
2023	94.974,9	2037	133.648,3	2051	188.069,2	2065	264.650,1
2024	97.320,8	2038	136.949,4	2052	192.714,5	2066	271.186,9
2025	99.724,6	2039	140.332,1	2053	197.474,6	2067	277.885,3
2026	102.187,9	2040	143.798,3	2054	202.352,2	2068	284.749,0
2027	104.711,9	2041	147.350,1	2055	207.350,3	2069	291.782,3
2028	107.298,3	2042	150.989,6	2056	212.471,9	2070	298.989,4

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).