

Estrutura da Apresentação

1. Introdução;
2. Estado da Arte;
3. Cálculo da Demanda por Energia Eléctrica em Moçambique;
4. Resultados e Análise dos Resultados para a Demanda;
5. Prognóstico das Emissões de CO₂ e Proposta de Sua Redução;
6. Análise dos Resultados para o Prognóstico de CO₂ e Proposta de Sua Redução;
7. Conclusões e Conclusões.

1. Introdução

Investigações desenvolvidas pela NASA, mostram que as actividades humanas desde a era primitiva são um agente poluidor do ambiente, não obstante, essa poluição por si não apresentava consequências negativas a vida humana. Foi no século XVIII, com a revolução industrial, que uma tendência de alta nas emissões de CO₂ e outros gases de efeito de estufa foi verificado, isto devido à queima dos combustíveis fósseis nos processos industriais, que têm como produtos de combustão gases de efeito de estufa. Com isso, consequências foram observadas.

1. Introdução

As emissões de CO2 estão directamente correlacionadas com o aumento médio da temperatura da terra, este aumento apresenta consigo consequências negativas a vida humana.

O reconhecimento de que as actividades humanas causam alterações no clima da Terra fez com que a comunidade internacional se reunisse através da Organização das Nações Unidas e tomasse diversas medidas para entender melhor essas mudanças e seus impactos no ambiente (Mariana, 2012).

1.1. Objectivo Geral

- Estimar as emissões de CO₂ resultantes da geração de energia eléctrica até 2045 e propor sua redução.

1.2. Objectivos Especificos

- ▶ Estimar a demanda por energia eléctrica em Moçambique para os anos de 2023 à 2045; e
- ▶ Estimar as emissões de CO₂ até 2045 e propor sua redução.

2. Estado da Arte

- ▶ Segundo Abdallah e El-Shennawy, 2012 o sector eléctrico apresenta uma contribuição mundial de 40% das emissões antropogénicas no mundo.
- ▶ Há países que apresentam dados distintos. Por exemplo, Moçambique tem maior taxa de emissão de CO₂ no sector de transportes, segundo a Agência Internacional de Energia, 2019.

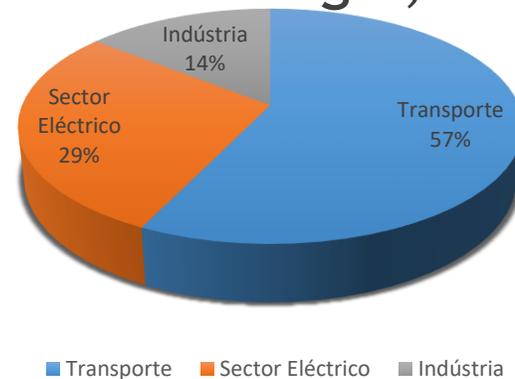


Fig 1. Fracção da emissão de Dióxido de Carbono para Moçambique por sector em 2019 [Agência Internacional de Energia, 2019].

2. Estado da Arte

- ▶ Mavrota, et al., 1999, desenvolveram um modelo para minimização dos custos e emissão de SO₂ na geração de energia eléctrica, mas sem ter em consideração a captura de CO₂ e a sua mitigação. Entretanto, Bay Wei, et al., 1996 considerou a captura de CO₂ na sua investigação;
- ▶ Q. Chen, et al., 2010, desenvolveu um modelo para um plano de expansão de geração considerando a redução das emissões para a matriz energética da China;
- ▶ *Abdallah e El-Shennawy, 2012*, desenvolveram uma investigação olhando a possibilidade de uso do *mix* de energia, ou seja, a utilização de energia renovável e as não renováveis para uma mesma rede eléctrica;
- ▶ Pan Dai, et al., 2012, definiu para a China três possibilidades técnicas da redução de dióxido de carbono no sector eléctrico, a saber: (1) melhoria da eficiência na utilização da energia fóssil; (2) ajustamento do *mix* de energia e (3) captura e armazenamento de carbono;

2. Estado da Arte

- ▶ Muhammad Fahad Shinwari, et al., 2012, desenvolveu um plano de expansão com auxílio do Modelo WASP IV;
- ▶ Özer, et al., 2017, desenvolveram uma investigação na tentativa de reduzir a emissão de CO₂ e seus efeitos, particularmente no sector eléctrico. Este estudo foi possível com auxílio do modelo LEAP;
- ▶ Sanquetta, C. R. et al., 2017, estimou as emissões de CO₂ no estado do Paraná, entre os anos de 2010-2014;
- ▶ Cordeiro, et al., 2017 – projectaram um modelo que quantificasse as emissões de CO₂ e procurasse otimizar um sistema de geração de energia eléctrica; e
- ▶ Navroz K. Dubash, et al., 2018, debate as causas das discrepâncias relativamente às projecções futuras a respeito da emissão de dióxido de carbono na Índia.

2. Estado da Arte

2.1. Demanda e Emissões de CO₂

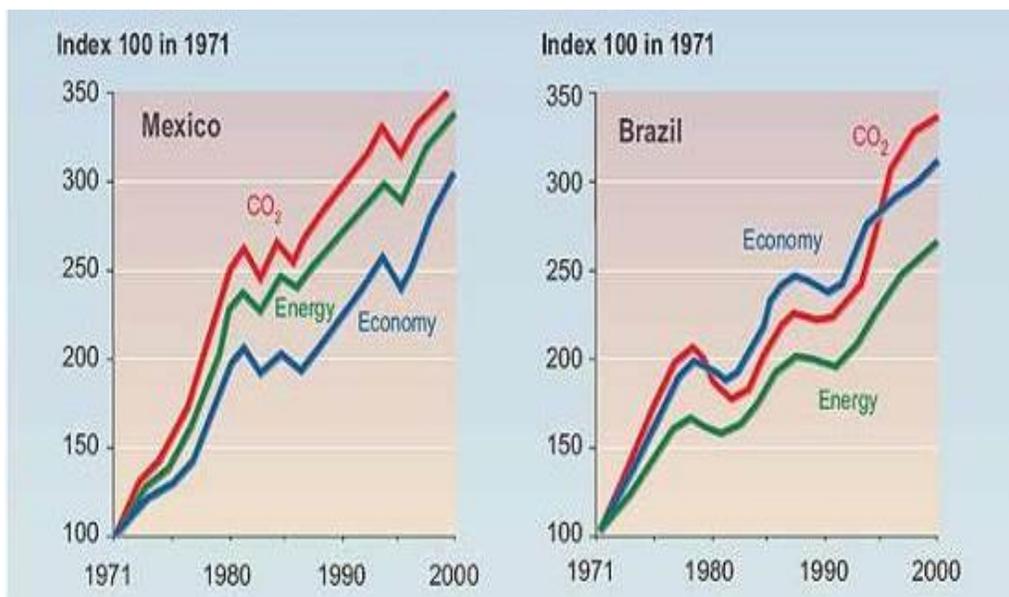


Figura 9. Relação entre a demanda por energia, as emissões de CO₂, desenvolvimento económico, para o Brasil e México. [Fonte: World Resource Institute, 2005].

- ▶ A figura ao lado, apresenta uma correlação positiva, ligada as emissões de CO₂, o consumo de energia e o desenvolvimento económico. Com isso fica observada a correlação directa entre estes factores, ou seja, a demanda e o consumo de energia. o conhecimento da demanda futuro ajuda no desenvolvimento de estratégias para reduzir as emissões de CO₂.

2. Estado da Arte

2.1. Demanda e Emissões de CO₂

- ▶ O desenvolvimento de um plano de expansão, é extremamente dependente da demanda por energia eléctrica, daí que, a ciência a respeito deste tema é importante.
- ▶ Muitos modelos de previsão da demanda, foram usados, tendo em conta factores económicos, sociais, geográficos e ainda demográficos.
- ▶ Harris e Liu, 1993, constataram que a influência do preço de energia em relação ao seu consumo é grande. Rajan e Jain, 1999, expressaram o consumo de energia em função da população e temperatura.

2. Estado da Arte

2.1. Demanda e Modelos de Prognóstico

Modelo Bottom-Up

- ▶ Modelos *Bottom-Up* são baseados em uma descrição detalhada do sistema energético de um país, região, etc., e com base na intensidade das actividades desenvolvidas, por exemplo, processos industriais, transporte, aquecimento, etc.

Modelo Top-Down

- ▶ Modelos *Top-Down* determinam a estimativa do consumo futuro de energia, ou outros parâmetros (Por exemplo, preço, geração, etc.), com base na previsão de macrovariáveis relevantes, condições climáticas, etc., que estão ligadas entre si por uma equação cujos coeficientes são estimados com base em metodologias estatísticas ou outras, por exemplo, regressões econométricas, redes neurais, etc .

3. Estimativa da Demanda

- ▶ Neste trabalho, foi usado o modelo *Top-Down*, desenvolvendo-se assim um modelo de regressão linear múltipla para obter-se a demanda futura por energia eléctrica.

3. Estimativa da Demanda

3.1. Classes de Consumidores de Electricidade

As classes de consumidores de electricidade consideradas nesta investigação são:

1. Classe Doméstica;
2. Classe Não Doméstica; e
3. Classe Industrial.

3. Estimativa da Demanda

3.1. Proposta do Modelo Para Estimativa Da Demanda Por Energia Eléctrica

- ▶ O modelo geral para determinação da demanda por energia eléctrica é dado pela equação abaixo:

$$D_T = D_D + D_{ND} + D_I \quad \text{Eq. 1}$$

- ▶ Onde:

D_T – Demanda total, [MWh];

D_D – Demanda por energia eléctrica do lado dos consumidores domésticos, [MWh];

D_{ND} – Demanda por energia eléctrica do lado dos consumidores não-domésticos, [MWh]; e

D_I – Demanda por energia eléctrica do lado dos consumidores industriais, [MWh].

3. Estimativa da Demanda

3.1. Proposta do Modelo Para Estimativa Da Demanda Por Energia Eléctrica

- ▶ A demanda do lado dos consumidores domésticos é dada pelo seguinte modelo matemático:

$$D_{CD} = a_{TE} \times TE + a_{PIB-D} \times PIB + C_D \quad Eq. 2$$

Onde:

- ▶ a_{TE} – Coeficiente de regressão linear relacionado com a taxa de electrificação para a regressão múltipla do lado dos consumidores domésticos [$MWh/\% * 100$];
- ▶ TE – Taxa de electrificação doméstica, que é a razão entre os consumidores domésticos e a população;
- ▶ a_{PIB-D} – Coeficiente de regressão linear relacionada com o PIB para regressão múltipla do lado dos consumidores domésticos, $\left[\frac{MWh}{PIB}\right]$;

3. Estimativa da Demanda

3.1. Proposta do Modelo Para Estimativa Da Demanda Por Energia Eléctrica

PIB – Produto Interno Bruto *Per Capita* [Milhões de Dólares/população];

C_D – Constante linear para regressão múltipla do lado dos consumidores domésticos [MWh];

3. Estimativa da Demanda

3.1. Proposta do Modelo Para Estimativa Da Demanda Por Energia Eléctrica

- ▶ A demanda do lado dos consumidores não-domésticos é dada pelo seguinte modelo matemático.

$$D_{ND} = a_{ND} \times ND + a_{PIB-ND} \times PIB + C_{ND} \quad Eq. 3$$

- ▶ Onde:

- ▶ a_{ND} – Coeficiente de regressão linear relacionado com o número de consumidores não-domésticos para regressão múltipla do lado dos consumidores não-domésticos [*MWh/ Número de consumidores comerciais*];
- ▶ ND – Número de consumidores não-domésticos;
- ▶ a_{PIB-ND} – Coeficiente de regressão linear relacionado com o PIB para regressão múltipla do lado dos consumidores não-domésticos, $\left[\frac{MWh}{PIB}\right]$;
- ▶ C_{ND} – Constante linear para regressão múltipla do lado dos consumidores não-domésticos, [*MWh*];

3. Estimativa da Demanda

3.1. Proposta do Modelo Para Estimativa Da Demanda Por Energia Eléctrica

- ▶ O modelo matemático para o cálculo da demanda do lado dos consumidores Industriais é dado pelo seguinte modelo matemático:

$$D_I = D_{I_{t-1}} \cdot [1 + (\Delta PIB_t)] + EXT_t \quad Eq. 4$$

Onde:

t – Corresponde ao índice do ano de projecção;

D_{I_t} – É a demanda da classe industrial tradicional no ano t , [MWh];

(ΔPIB_t) – É a elasticidade-renda do consumo da classe industrial tradicional extrapolado; e

EXT_t - Corresponde as externalidades esperadas no ano t , [MWh].

3. Estimativa da Demanda

3.1. Proposta do Modelo Para Estimativa Da Demanda Por Energia Eléctrica

► Substituindo as equações 2, 3 e 4 na 1 obtém-se o modelo geral abaixo:

$$D_T = [a_{TE} \times TE + a_{PIB-D} \times PIB + C_D]_t + [a_{ND} \times ND + a_{PIB-ND} \times PIB + C_{ND}]_t + D_{I_{t-1}} \cdot [1 + (\Delta PIB_t)] + EXT_t \quad Eq. 6$$

3. Estimativa da Demanda

3.1. Fonte dos Dados Estatísticos para o Cálculo da Demanda

- ▶ Os dados relativos aos consumos de energia e ao número dos clientes correspondentes, são obtidos dos relatórios anuais estatísticos da EDM entre os anos 2006 à 2021, com objectivo de melhorar a fiabilidade da estimativa da demanda.
- ▶ Dados relativos à população e ao Produto Interno Bruto foram obtidos do Instituto Nacional de Estatística (INE) de Moçambique.

3. Estimativa da Demanda

3.3. Explicação da Metodologia de Cálculo

- ▶ As projecções das variáveis independentes a saber: Número de consumidores não-domésticos, consumidores domésticos, Taxa de electrificação, são obtidos por meios de desenvolvimento de modelos de linha de tendência, seja linear ou polinomial, conforme o caso;
- ▶ A estimativa do PIB para cada província é desenvolvida por meio de uma ferramenta para estimativa em horizontes temporais, existente no pacote *Excel* do programa *Office 2016*. A projecção é feita usando um modelo linear, cuja variável dependente é o tempo. O modelo linear é desenvolvido pelo programa por meio da evolução dos dados passados existentes.

3. Estimativa da Demanda

3.3. Determinação do Modelo Para o Cálculo da Demanda Por Província

- ▶ A demanda por energia eléctrica será determinada para cada uma das 11 províncias de Moçambique, do que segue que:

$$D_{Ti} = D_{CD-i} + D_{ND-i} + D_{I-i} \quad Eq. 7$$

- ▶ Onde i é um índice que representa a província, $i = 1 \dots 11$.

3. Estimativa da Demanda

3.4. Carga de Pico

► A carga de Pico é dada pela fórmula:

$$PL = \mu \cdot \left\{ \frac{\left[\frac{(D_t + \xi + C_{EXP})}{8760} \right]}{C_c} \right\}$$

Eq.7

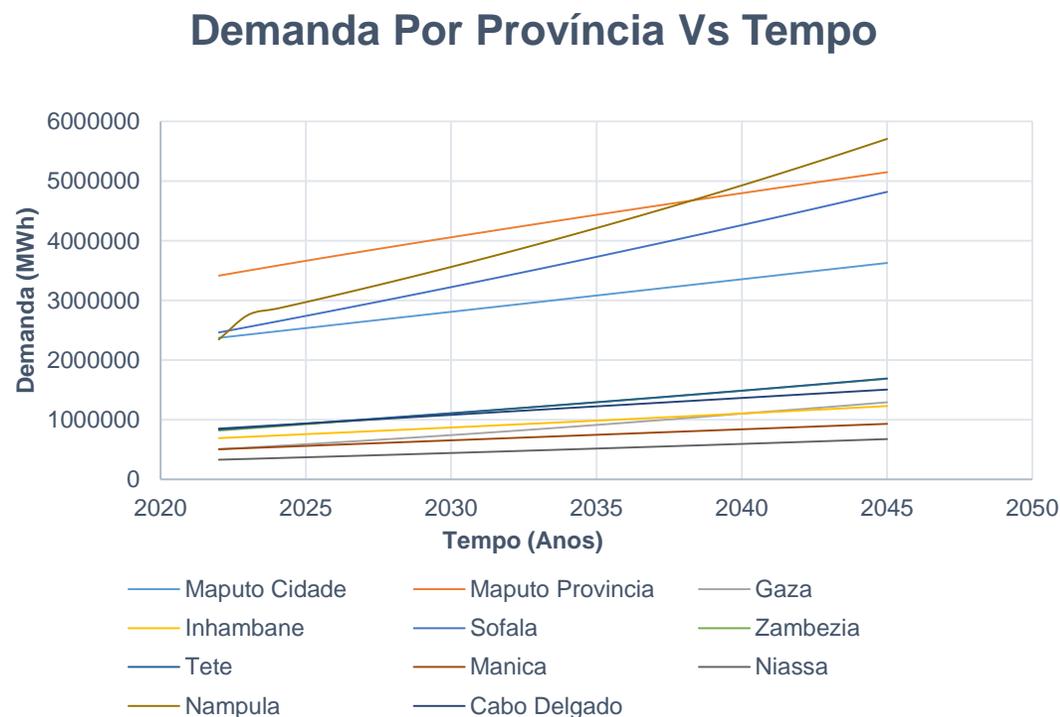
μ – Coeficiente de segurança;

ξ - São as perdas a transmissão de energia eléctrica, [MW];

C_c - Coeficiente de correcção para a carga de Pico; e

C_{EXP} - Carga para exportação, [MW].

4. Análise de Resultados e Discussão para o Cálculo da Demanda



► Pela figura ao lado pode se observar o desenvolvimento linear esperada da demanda por energia eléctrica para cada província.

Fig 3. Demanda por Energia Eléctrica Projectada entre 2022 a 2045 para Mocambique.

4. Análise de Resultados e Discussão para o Cálculo da Demanda

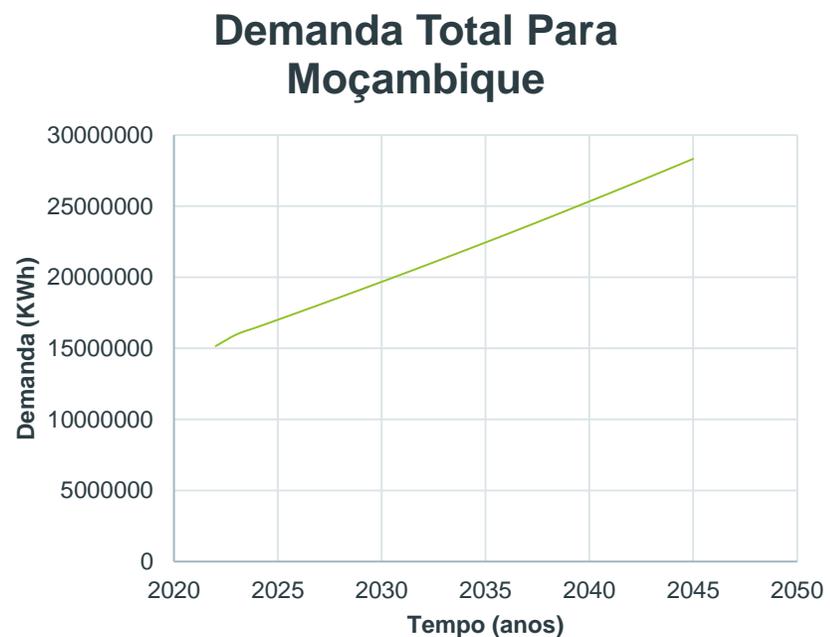


Fig 4. Curva da demanda total por energia eléctrica para Moçambique entre 2022 a 2045.

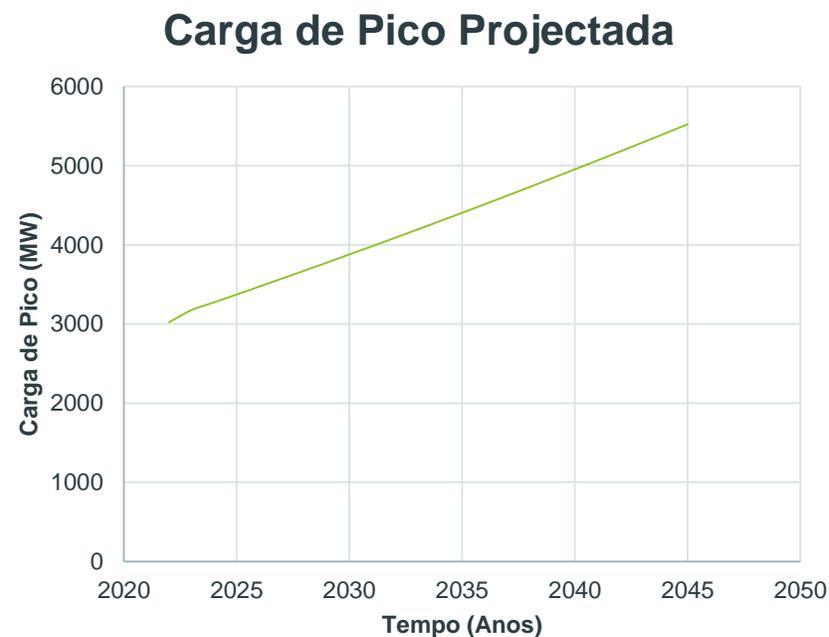


Fig 5. Curva da Carga de Pico para Moçambique entre 2022 a 2045.

5. Modelagem das Emissões de CO₂ e Proposta de Sua Redução Com Auxílio do Modelo WASP IV

- ▶ Com vista a modelar as emissões futuras de CO₂ e reduzir as emissões provocadas pelas actividades de geração de energia eléctrica, é necessário primeiro definir um sistema de geração de energia, composto por plantas de geração, capazes de responder à demanda energética, e aos factores económicos e ambientais envolvidos.
- ▶ É um problema desafiante desenvolver um plano de expansão com base em energias renováveis, principalmente quando a sazonalidade da fonte é extremamente variável e o seu potencial energético é pequeno.

5. Modelagem das Emissões de CO2 e Proposta de Sua Redução Com Auxílio do Modelo WASP IV

5.1. Definição de Conceitos Relevantes

- ▶ A probabilidade total de que haverá uma falta de energia (perda de carga) é chamada de probabilidade de **perda de carga** (Vijayamohanan Pillai N, 2015)

5. Modelagem das Emissões de CO2 e Proposta de Sua Redução Com Auxílio do Modelo WASP IV

5.1. Definição de Conceitos Relevantes

► A curva de duração de carga é uma curva que apresenta o comportamento do comportamento do lado da demanda, dentro de um intervalo de tempo, seja diário, trimestral, semestral, anual, etc. Ajuda a conhecer a carga solicitada pela demanda em determinados períodos de tempo.

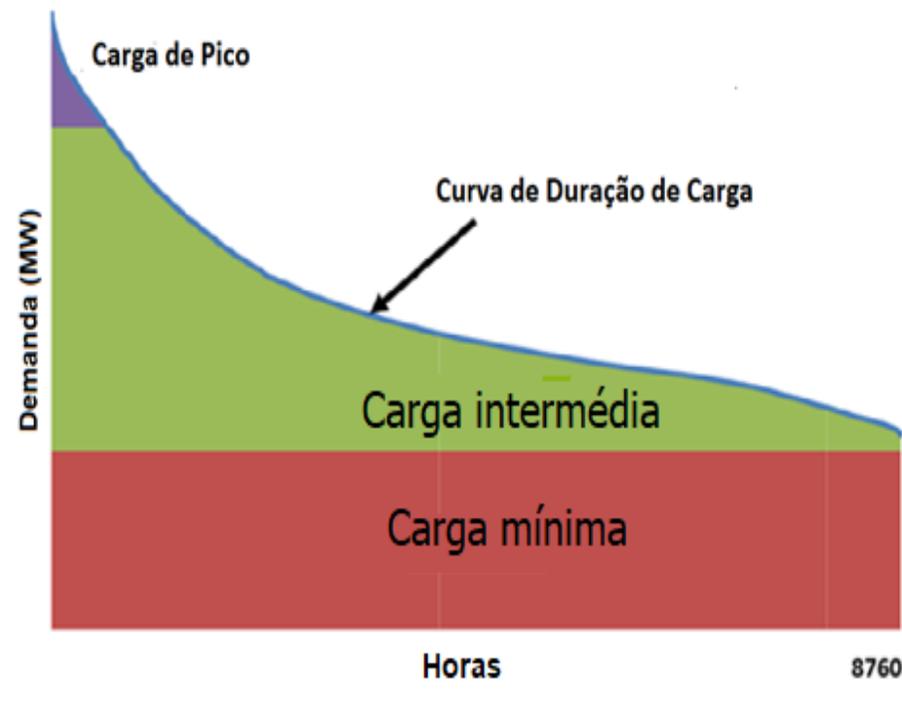


Fig 6. Modelo teórico de uma curva de duração de Carga. [Adaptado de: John Sterling, et al., 2013].

5. Modelagem das Emissões de CO2 e Proposta de Sua Redução Com Auxílio do Modelo WASP IV

5.1. Definição de Conceitos Relevantes

► A Curva de Triagem é uma curva criada por meio da obtenção do custo anual, custo de investimento, custo de combustível, e os custos fixos de cada planta. Esta curva pode ser usada para comparação entre as plantas, e deste modo saber-se escolher de modo mais conveniente, que planta é mais viável economicamente.

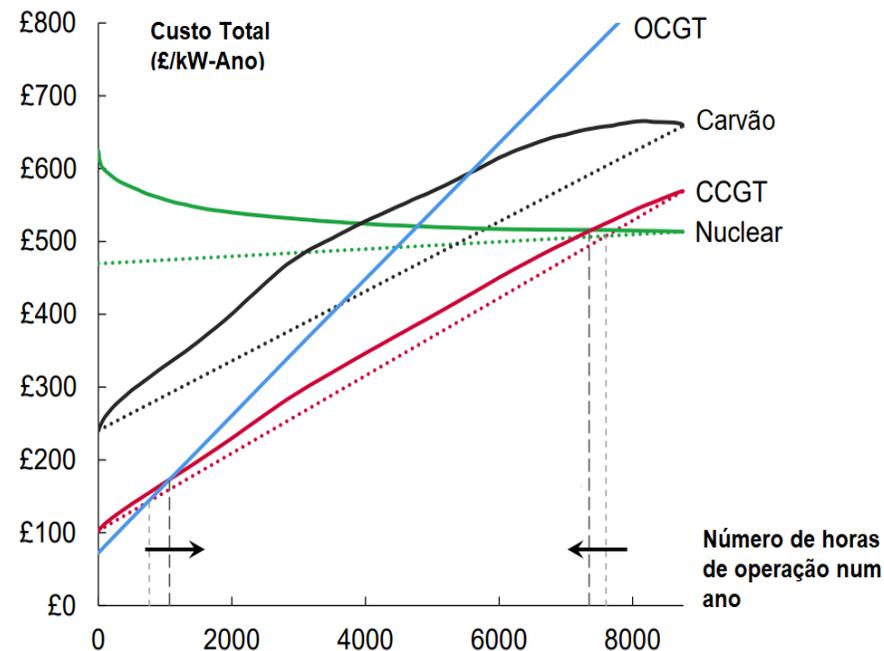


Fig 7. Curva de triagem para plantas OCGT, CCGT e também a base de energia nuclear e a carvão. [Adaptado de: Staffell, I. e Green, R. 2015].

5. Modelagem das Emissões de CO2 e Proposta de Sua Redução Com Auxílio do Modelo WASP IV

5.2. Modelo WASP IV

- ▶ O Pacote De Planeamento Automático do Sistema *Wien* (WASP) foi originalmente desenvolvido pela *Tennessee Valley Authority* (TVA) e pelo *Oak Ridge National Laboratory* (ORNL) dos Estados Unidos da América, para satisfazer as necessidades do inquérito de mercado da AIEA [Agência Internacional de Energia Atómica] sobre a energia nuclear nos países em desenvolvimento, conduzido pela AIEA entre 1972-1973. (*International Atomic Energy Agency, 2001*).
- ▶ O WASP é projectado para encontrar a política de expansão de geração economicamente ideal para um sistema de electricidade dentro das restrições especificadas pelo utilizador.

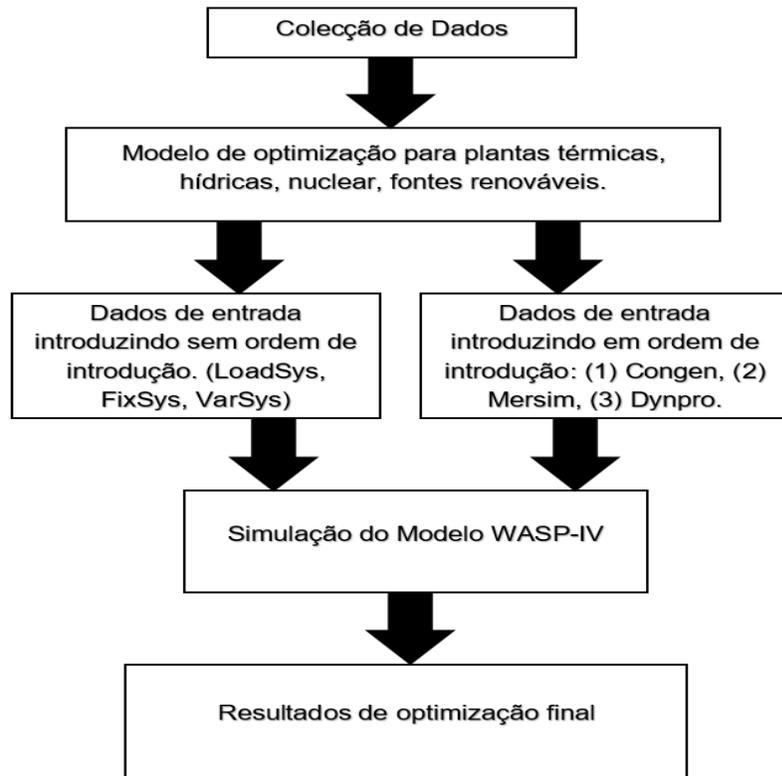
5. Modelagem das Emissões de CO₂ e Proposta de Sua Redução Com Auxílio do Modelo WASP IV

5.2. Modelo WASP IV

- ▶ Ele utiliza as seguintes ferramentas matemáticas: (1) Estimativa probabilística dos custos de produção do sistema, custo de energia não atendida e confiabilidade; (2) Técnica de programação linear para determinar a política de despacho óptimo, satisfazendo restrições exógenas das emissões ambientais, disponibilidade de combustível e geração de electricidade por algumas usinas; (3) Método a programação dinâmica para a comparação de custos de políticas alternativas de expansão do sistema (Mladen Zeljko, et al., 2020).

5. Modelagem das Emissões de CO2 e Proposta de Sua Redução Com Auxílio do Modelo WASP IV

5.2. Modelo WASP IV



- ▶ Os Módulos do programa WASP IV são:
- ▶ **1. LOADSYS;**
- ▶ **2. FIXSYS;**
- ▶ **3. VARSYS;**
- ▶ **4. CONGEN;**
- ▶ **5. MERSIM;**
- ▶ **6. DYNPRO; e**
- ▶ **7. REPROBAT:**

▶ Fig 8. Fluxo de Processo para o plano de geração de energia eléctrica [Adaptado de: Muhammad Fahad, et al., 2012]

5. Modelagem das Emissões de CO2 e Proposta de Sua Redução Com Auxílio do Modelo WASP IV

5.3. Cenários usados na Modelagem das emissões de CO2 e na sua redução

- ▶ Um método amplamente utilizado para prever o futuro consiste em estabelecer uma linha base, geralmente um cenário de negócios como de costume (BAU), e então avaliar estratégias alternativas comparando-as com essa linha base (Shabbir e Ahmad, 2010), ou seja, o cenário BAU. Sendo assim, são neste trabalho definidos três cenários para estimativa das emissões de CO2 a saber:
- ▶ 1) Cenário BAU, no qual expansão da geração de energia elétrica está baseada no uso de fontes fósseis de energia, como o Gás Natural e o Carvão Mineral;
- ▶ 2) O segundo cenário corresponde a uma expansão baseada no uso de fontes de energia renovável (Cenário Sem Nuclear); e
- ▶ 3) A terceira é a combinação da segunda com a energia nuclear, ou seja, a combinação das fontes renováveis com a energia nuclear. (Cenário Com Nuclear

5. Modelagem das Emissões de CO₂ e Proposta de Sua Redução Com Auxílio do Modelo WASP IV

5.4. Plantas Adicionadas Para A Modelagem dos Cenários de Estudo

- ▶ 1) Turbina de Combustão Classe H – Ciclo Combinado (V-CC);
- ▶ 2) Pequena Usina Nuclear de Reactor Modular (NUCL);
- ▶ 3) Usina Eólica *Onshore* (WPON);
- ▶ 4) Usina Eólica *Offshore* (WPOF);
- ▶ 5) Solar Fotovoltaica (SP);
- ▶ 6) Solar Fotovoltaica Com Armazenamento de Bateria (SPBA); e
- ▶ 7) Carvão Ultra Supercrítico (VCO₂).

5. Modelagem das Emissões de CO2 e Proposta de Sua Redução Com Auxílio do Modelo WASP IV

5.5. Plantas Adicionadas Para A Modelagem dos Cenário BAU

- ▶ Para o cenário BAU as plantas VCC e VCO2 foram escolhidas, visto que a probabilidade de escolha das plantas à base de energias fósseis é possível, principalmente pelo facto de o país apresentar uma grande riqueza em fontes de combustíveis fósseis. Duas plantas VCC e uma VCO2 foram escolhidas, para o modelo BAU.

Nome da Planta	V-CC	NUCL	WPON	SP	SPBA	VCO1	VCO2	WPOF
2026	2	0	0	0	0	1	0	0
2027	2	0	0	0	0	1	0	0
2028	2	0	0	0	0	1	0	0
2029	2	0	0	0	0	1	0	0
2030	2	0	0	0	0	1	0	0
2031	2	0	0	0	0	1	0	0
2032	2	0	0	0	0	1	0	0
2033	2	0	0	0	0	1	0	0
2034	2	0	0	0	0	1	0	0
2035	2	0	0	0	0	1	0	0
2036	2	0	0	0	0	1	0	0
2037	2	0	0	0	0	1	0	0
2038	2	0	0	0	0	1	0	0
2039	2	0	0	0	0	1	0	0
2040	2	0	0	0	0		0	0
2041	2	0	0	0	0	1	0	0
2042	2	0	0	0	0	1	0	0
2043	2	0	0	0	0	1	0	0
2044	2	0	0	0	0	1	0	0
2045	2	0	0	0	0	1	0	0

Tabela 1. Quantidade de Plantas Existentes a Cada Ano Resultante das Adicionadas à Matriz Eléctrica Para o Cenário BAU.

5. Modelagem das Emissões de CO2 e Proposta de Sua Redução Com Auxílio do Modelo WASP IV

5.6. Plantas Adicionadas Para A Modelagem dos Cenário Sem Nuclear

- ▶ Para a expansão sem a utilização de energia nuclear, foram escolhidas no total seis plantas WPON, sete plantas SP, dez plantas SPBA e quatro plantas WPOF.

Nome da Planta	V-CC	NUCL	WPON	SP	SPBA	VCO2	WPOF
2026	0	0	6	4	5	0	4
2027	0	0	6	4	8	0	4
2028	0	0	6	4	10	0	4
2029	0	0	6	7	10	0	4
2030	0	0	6	7	10	0	4
031	0	0	6	7	10	0	4
2032	0	0	6	7	10	0	4
2033	0	0	6	7	10	0	4
2034	0	0	6	7	10	0	4
2035	0	0	6	7	10	0	4
2036	0	0	6	7	10	0	4
2037	0	0	6	7	10	0	4
2038	0	0	6	7	10	0	4
2039	0	0	6	7	10	0	4
2040	0	0	6	7	10	0	4
2041	0	0	6	7	10	0	4
2042	0	0	6	7	10	0	4
2043	0	0	6	7	10	0	4
2044	0	0	6	7	10	0	4
2045	0	0	6	7	10	0	4

Tabela 2. Quantidade de Plantas Existentes a Cada Ano Resultante das Adicionadas à Matriz Eléctrica Para o Cenário Sem Energia Nuclear.

5. Modelagem das Emissões de CO2 e Proposta de Sua Redução Com Auxílio do Modelo WASP IV

5.7. Plantas Adicionadas Para A Modelagem dos Cenário Com Nuclear

- ▶ Para a expansão com energia nuclear foram no total escolhidas duas plantas NUCL, uma WPON, uma SP, uma SPBA e três WPON.

Nome da Planta	V-CC	NUCL	WPON	SP	SPBA	VCO2	WPOF
2026	0	2	1	1	1	0	3
2027	0	2	1	1	1	0	3
2028	0	2	1	1	1	0	3
2029	0	2	1	1	1	0	3
2030	0	2	1	1	1	0	3
2031	0	2	1	1	1	0	3
2032	0	2	1	1	1	0	3
2033	0	2	1	1	1	0	3
2034	0	2	1	1	1	0	3
2035	0	2	1	1	1	0	3
2036	0	2	1	1	1	0	3
2037	0	2	1	1	1	0	3
2038	0	2	1	1	1	0	3
2039	0	2	1	1	1	0	3
2040	0	2	3	3	3	0	3
2041	0	2	3	3	3	0	3
2042	0	2	3	3	3	0	3
2043	0	2	3	3	3	0	3
2044	0	2	3	3	3	0	3
2045	0	2	3	3	3	0	3

Tabela 3. Quantidade de Plantas Existentes a Cada Ano Resultante das Adicionadas à Matriz Eléctrica Para o Cenário Com Energia Nuclear.

6. Apresentação e Análise dos Resultados para os Três Cenários

6.1. Resultados Relativo a Capacidade Instalada

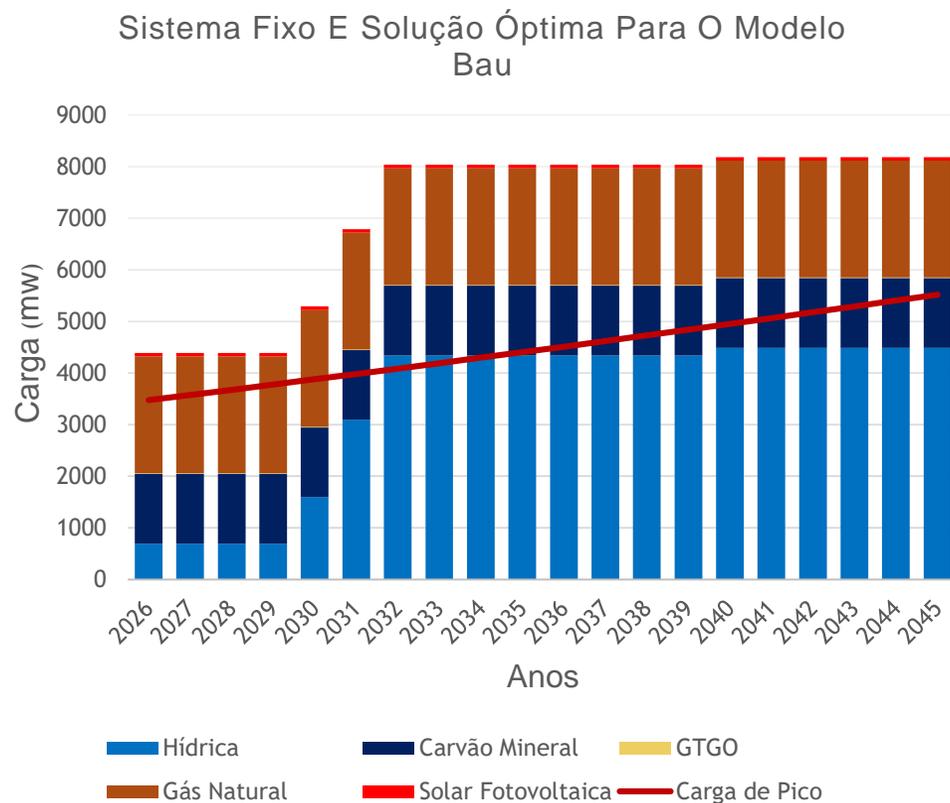


Fig 9. Expansão fixa e solução óptima para o Cenário BAU.

- ▶ Como pode ser visto, a curva da demanda estimada está abaixo da capacidade instalada do sistema. No início do período, o gás natural apresenta maior capacidade instalada de 51%, seguido do carvão de 31%, depois pela energia hídrica com 16%, e 2% para a energia solar. As participações percentuais para o gás natural e carvão mineral reduzem-se no sistema para 28% e 16%, respectivamente. A energia hídrica apresenta um aumento até 51%. O sistema apresenta um LOLP de 41% inicialmente, com uma redução até 6% no fim do período de estudo.

6. Apresentação e Análise dos Resultados para os Três Cenários

6.1. Resultados Relativo a Capacidade Instalada

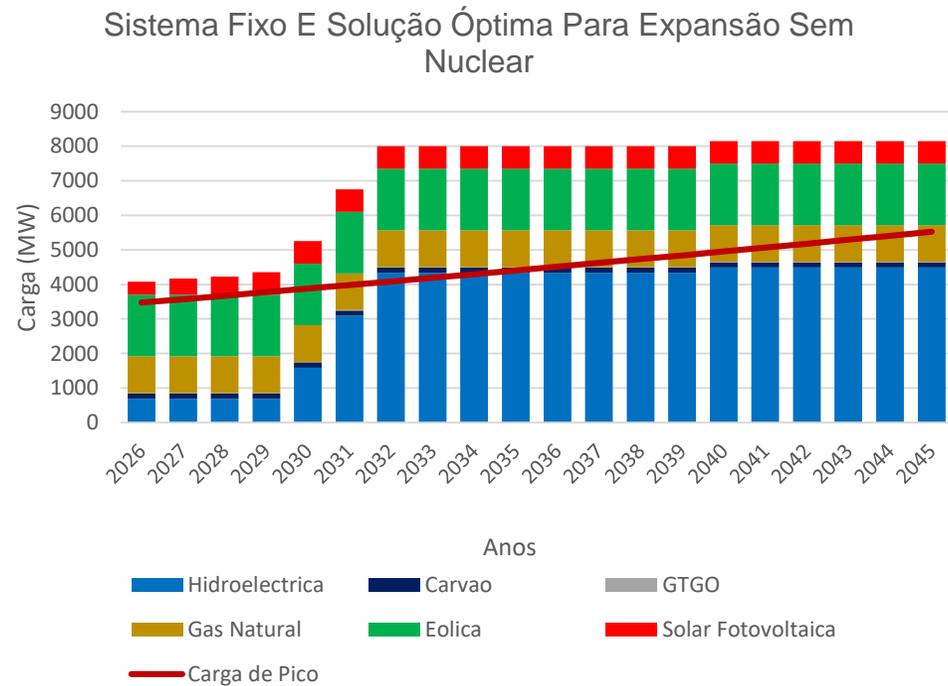


Fig 10. Expansão fixa e solução óptima para o Cenário Com Nuclear

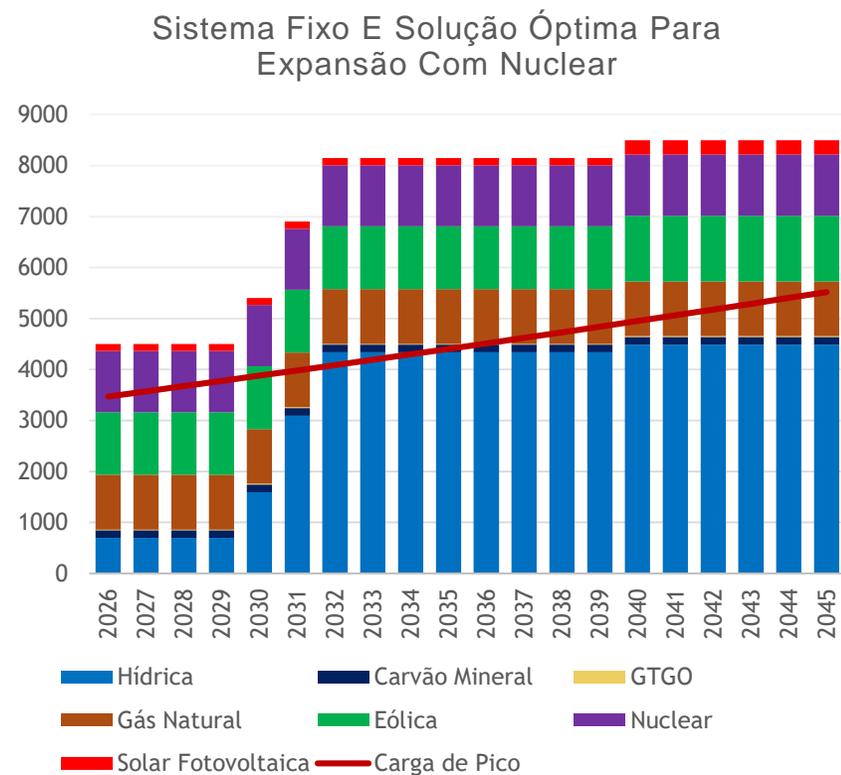
Fonte	Hídrica	Eólica	Gás Natural	Solar e Carvão Mineral
Participação inicial (%)	17	44	26	8
Participação Final (%)	55	22	13	3

Tabela 4. Dados relativos a expansão Sem Energia Nuclear no início e fim do período de estudo.

- ▶ O aumento do excesso de energia (capacidade instalada acima da curva da carga de pico) faz reduzir o nível de probabilidade de perda de carga de 60% até 55% no fim do estudo, havendo um fundo de 23% no ano de 2033

6. Apresentação e Análise dos Resultados para os Três Cenários

6.1. Resultados Relativo a Capacidade Instalada



- Fig 11. Expansão fixa e solução óptima para o Cenário Com Nuclear

Fonte	Hídrica	Nuclear	Gás Natural	Carvão Mineral	Solar	Eólica
Participação inicial (%)	15	27	24	3	2	27
Participação Final (%)	53	4	13	3	2	15

Tabela 5. Dados relativos a expansão Com Energia Nuclear no início e fim do período de estudo.

- A Probabilidade de perda de carga para este caso tem uma redução 53% para 47% ao longo do período de estudo. O LOLP mínimo apresentado é de 4.5% em 2032.

6. Apresentação e Análise dos Resultados para os Três Cenários

6.2. Resultados Relativo a Vertente Ambiental

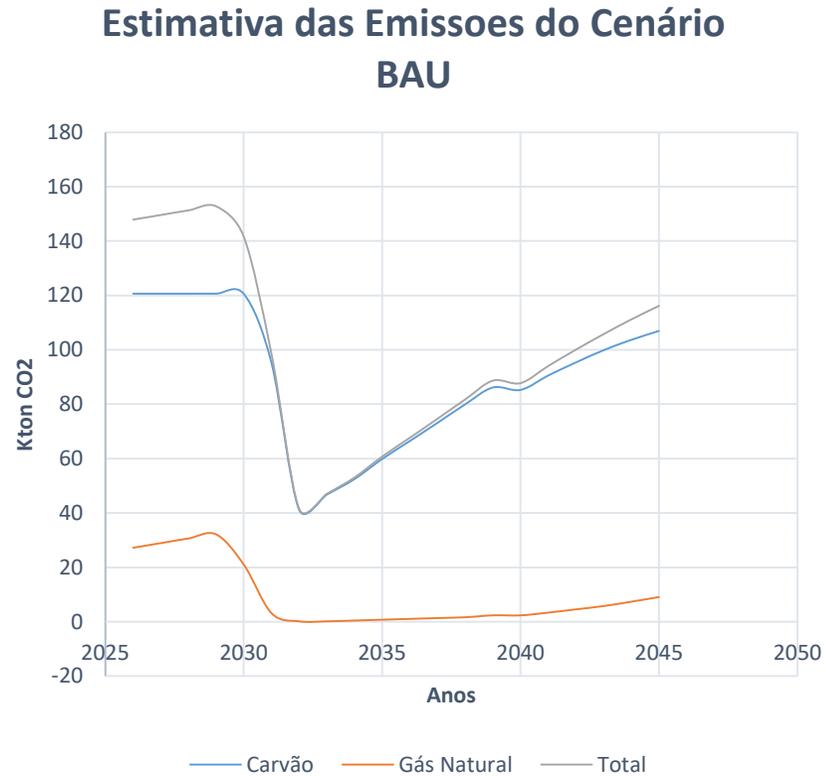


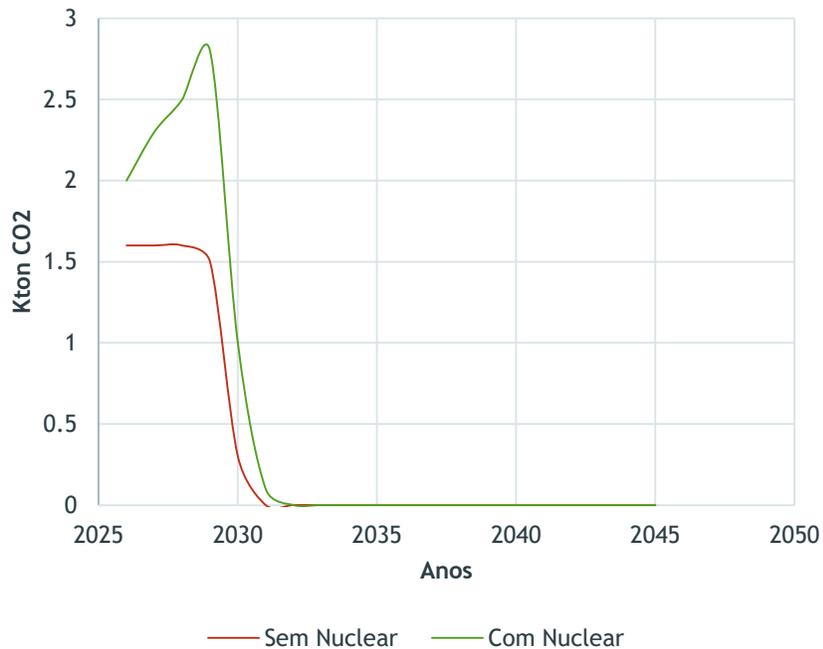
Fig 12. Estimativa das emissões de CO₂ geradas no Cenário BAU

- ▶ Pela figura acima pode se constatar que o carvão mineral apresenta maior nível de emissões em comparação o gás natural. A queda das emissões verificadas no ano de 2029 até 2032 é consequência da entrada de mais uma central de energia hídrica na Matriz Energética Eléctrica Moçambicana, isso faz reduzir o factor de carga de cada uma das centrais à base de combustível fóssil, fazendo com que as centrais à base de energia fóssil produzam menos energia o que consequentemente faz reduzir as emissões de CO₂.

6. Apresentação e Análise dos Resultados para os Três Cenários

6.2. Resultados Relativo a Vertente Ambiental

Emissões de CO₂ Para os Cenários Com Nuclear e Sem Nuclear

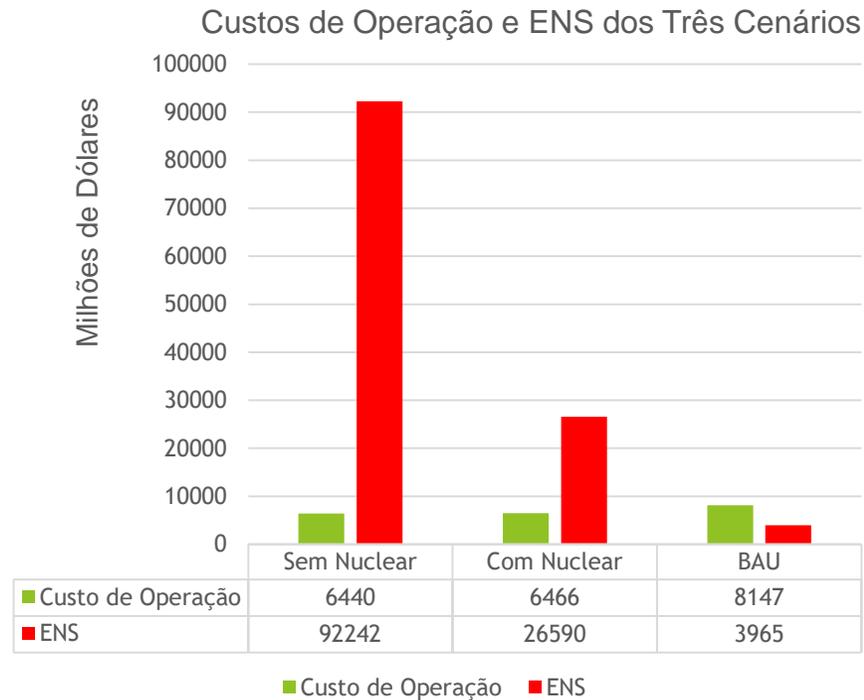


- Fig 13. Curvas das Emissões de CO₂ para os Cenários com nuclear e sem nuclear.

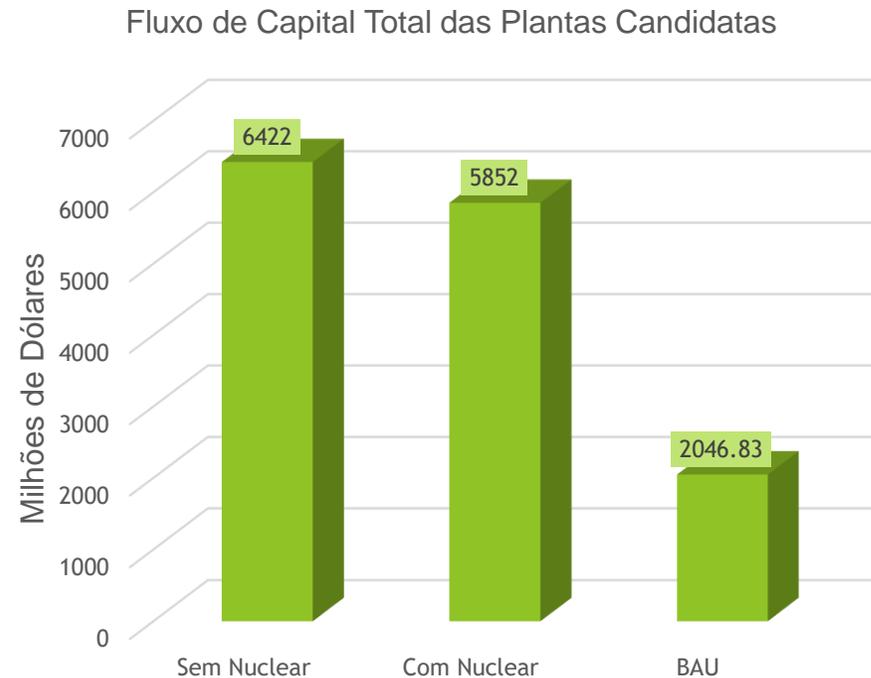
- Para os dois cenários uma redução a partir de 2029 nas emissões de CO₂ é verificada, sendo esta redução atingida até os níveis de 0 Kton CO₂ no ano de 2031, este factor como apontado para o caso do cenário BAU é devido à entrada de novas centrais de geração de energia eléctrica à base de energia hídrica. As centrais a gás natural e a carvão mineral diminuem a sua produção de energia eléctrica o que tem como consequência imediata a redução das emissões de CO₂.

6. Apresentação e Análise dos Resultados para os Três Cenários

6.3. Resultados Relativo a Vertente Económica



- Fig 14. Custo totais associados a operação das plantas e investimento nos três casos de expansão.



- Fig 15. Resumo do Fluxo de Caixa Total das Plantas Candidatas Envolvidas em Cada Cenário

7. Conclusões e Recomendações

- ▶ A demanda por energia eléctrica em Moçambique apresenta um aumento linear, para todas as províncias e conseqüentemente a demanda total para Moçambique apresenta um comportamento linear, isto apresenta uma vantagem comparativamente ao crescimento exponencial, que seria difícil de responder devido ao investimento requerido. Não são apresentados, na curva da demanda, nenhum aumento ou diminuição brusca, o que seria um problema complicado de gerenciamento do lado da geração.
- ▶ Foram estimadas, para o cenário BAU as emissões de CO₂ resultantes da geração de energia totalizando no horizonte de estudo 1972.30 Kton de emissões de CO₂.
- ▶ Foram desenvolvidos os cenários com nuclear e sem nuclear, e observada uma diminuição de CO₂ de quase 100% para os dois cenários. Este factor na diminuição das emissões de CO₂ deve-se à entrada das diferentes centrais de geração de energia a base de fontes renováveis, como a energia eólica e solar que são centrais com um factor de emissões com valor igual a zero. E também ao uso da fonte de energia nuclear, cujo factor de emissão tem valor igual a zero. Portanto, a tentativa relativa ao uso de fontes de energia nuclear e renovável apresenta-se como uma tentativa útil e importante

7. Conclusões e Recomendações

- ▶ Os três cenários usados na investigação foram comparados também do ponto de vista económico. A conclusão de que perspectiva se afigura melhor do ponto de vista económico sere de que o cenário BAÚ é o melhor, seguido do cenário com nuclear e por fim o cenário sem nuclear.
- ▶ O cenário com nuclear afigura-se como o cenário óptimo, visto responder igualmente as condições ambientais e económicas.

7. Conclusões e Recomendações

- ▶ Recomenda-se nesta tese que seja investigada a possibilidade da captura de CO₂, para estas centrais a base de energia fóssil e a venda da energia que se pode produzir por meio das mesmas, enquanto durar o seu tempo de vida, isto ajudaria, portanto, que a Matriz Energética Moçambicana não fosse extremamente dependente das energias renováveis e nuclear. Para isso é necessário que seja elaborado um estudo da viabilidade económica da introdução da captura de CO₂ nestas centrais. Por outro lado, estas centrais podem igualmente ser usadas como centrais de emergência na matriz energética eléctrica.