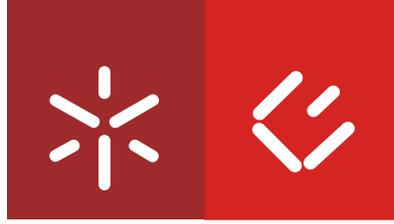


**Universidade do Minho**  
Escola de Economia e Gestão

Hamilton Feijó Dinis da Silva

**Cenários de Desenvolvimento de Baixo Carbono em Angola até 2050**





**Universidade do Minho**  
Escola de Economia e Gestão

Hamilton Feijó Dinis da Silva

## **Cenários de Desenvolvimento de Baixo Carbono em Angola até 2050**

Dissertação de Mestrado  
Mestrado em Economia

Trabalho efetuado sob a orientação da  
**Professora Doutora Rita Mafalda Dionísio Sousa**

## **DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS**

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

### ***Licença concedida aos utilizadores deste trabalho***



**Atribuição  
CC BY**

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

## **AGRADECIMENTOS**

Uma vez mais, encontro-me a finalizar mais um dos vários ciclos da minha vida, considerado por mim, como o mais desafiante e aprazível ao longo do meu percurso académico. Assim sendo, aprez-me tecer um especial agradecimento a todos os intervenientes deste longo processo.

Começo por agradecer a Deus, pelo fôlego de vida e pelas bênçãos que me tem concedido.

Ao meu pai, Adriano da Silva, pelo seu amor e apoio incondicional, e por sempre ter acreditado em mim e nos meus sonhos.

Um agradecimento especial à minha orientadora, Rita Sousa, pela sua paciência, sabedoria e dedicação demonstrada ao longo deste trabalho, mesmo diante da situação atípica em que vivemos por conta da pandemia COVID-19.

Ao Stockholm Environment Institute (SEI), por me terem fornecido a licença gratuita do LEAP, e terem trabalhado o ficheiro de base de Angola, sem o qual era impossível ter feito este trabalho.

De igual modo, agradeço à minha turma e os professores do Mestrado em Economia, em especial o meu amigo Daniel Branco, por me ter ajudado na rápida adaptação no ambiente académico e em Portugal.

A todos, muito obrigado.

## **DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE**

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho acadêmico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração. Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

## Resumo

### **Cenários de Desenvolvimento de Baixo Carbono em Angola até 2050**

No atual contexto de alterações climáticas, é visível a atenção por parte das organizações internacionais em conjunto com vários países, por forma a se criarem estratégias para dar resposta a este problema. Neste contexto, as orientações advindas do Acordo de Paris, são célebres passos internacionais, que demonstram o nível de compromisso dos países que têm desenvolvido estratégias de desenvolvimento de baixas emissões. Sendo Angola um país em desenvolvimento, é importante associar nos seus planos económicos a intenção de se desenvolver com baixas emissões. Por esta razão, Angola desenvolveu a Estratégia Nacional para as Alterações Climáticas 2018 a 2030 (ENAC), com o propósito de promover a transição para uma economia de baixo carbono. Mas este documento não apresenta um plano operacional.

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo primordial projetar um cenário de descarbonização até 2050, em comparação aos cenários de referência e mitigação pré-existentes, demonstrando diferentes medidas adicionais de redução de emissões. Esta tarefa é feita à luz das principais análises internacionais, como uma estratégia a longo prazo, para uma economia com baixo carbono, assegurando um crescimento e desenvolvimento económico, bem como a sustentabilidade das gerações vindouras em Angola. Procurou-se através do objetivo proposto, responder à questão, como pode Angola, desenvolver-se com simultânea redução de emissões no setor energético.

Utilizando o modelo LEAP do Stockholm Environment Institute (Plataforma de Análise de Baixa Emissões), utilizado internacionalmente nestas análises, as conclusões mostram que é possível um país desenvolver-se economicamente, com níveis reduzidos de emissões de carbono. O estudo de Angola 2050 mostra que a taxa de crescimento anual das emissões, em 2050 será de 2% nos cenários de Referência e Mitigação, e 0,2% para o cenário de Descarbonização. Para a descarbonização do país, os fogões a lenha, fogões a carvão, eletricidade hídrica, eletricidade eólica, eletricidade Biomassa, automóveis a gás natural, gasóleo, gasolina e finalmente a casa solar, são as medidas que revelaram ser as mais importantes para a implementação no país. E calcula-se que o país poupe, no cenário de Descarbonização, em relação a Referência, um total de 156 MtCO<sub>2</sub>eq., com um custo total emissões poupadas estimado, com medidas standardizadas, de 3380 Milhões de dólares.

**Palavras-chave:** Angola, desenvolvimento de baixo carbono, energia, LEAP.

## **ABSTRACT**

### **Low Carbon Development Scenarios in Angola by 2050**

In the current context of climate change, attention is visible from international organizations together with several countries in order to create strategies to address this problem. In this context, as guidelines from the Paris Agreement, international steps are celebrated, which we have taken to the level of commitment of countries that have low-emission development strategies. As Angola is a developing country, it is important to associate in its economic plans the intention to develop with low emissions. For this reason, Angola has developed the National Strategy for Climate Change 2018 to 2030 (ENAC), with the purpose of promoting the transition to a low-carbon economy. But this document does not present an operational plan.

In this context, the present work aims to project a scenario of decarbonization by 2050, compared to pre-existing reference and mitigation scenarios, demonstrating different additional emission reduction measures. This task is done in the light of the main international analyses, as a long-term strategy, for a low-carbon economy, ensuring economic growth and development, as well as the sustainability of generations to come in Angola. The objective was sought, it answers the question, like Angola, to develop with simultaneous emission reduction stake in the energy sector.

Using the LEAP model of the Stockholm Environment Institute (Low Emissions Analysis Platform), used internationally in these analyses, as conclusions show that it is possible for a country to develop economically, with carbon emission levels. The Angola 2050 study shows that the annual emissions growth tax in 2050 will be 2% in the Reference and Mitigation scenarios, and 0.2% for the Decarbonization scenario. For the decarbonization of the country, wood stoves, coal stoves, hydro, wind electricity, biomass electricity, natural gas cars, natural gas, gas, gasoline and finally the solar house, are the measures that have proved to be as most important for implementation in the country.

And it is estimated that the country saves, in the scenario of Decarbonization, in relation to the Reference, a total of 156 MtCO<sub>2</sub>eq., with a total cost saved emissions estimated, with standardized measures, of 3380 Million dollars.

**Keywords:** Angola, Low carbon development, energy, LEAP.

## ÍNDICE GERAL

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. ANGOLA-ENERGIA E EMISSÕES.....	5
2.1. Energia .....	6
2.2. Emissões .....	10
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	16
4. METODOLOGIA E DADOS .....	27
4.1. Dados .....	27
4.1.1. PIB e População em Angola .....	27
4.1.2. Matriz energética .....	29
4.2. Metodologia .....	31
4.2.1 Estrutura do modelo .....	32
4.2.2 Cenários de projeção de uso de energia e emissões .....	34
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	37
5.1. Cenário de Referência .....	37
5.2. Cenário de Mitigação.....	41
5.3 Cenário de Descarbonização .....	43
5.4 Medidas de mitigação e Curva de custos .....	48
Medida 1. Oferta de Energia – Eletricidade .....	48
Medida 2. Procura de Energia – Residencial .....	49
Medida 3. Procura de Energia – Serviços.....	50
Medida 4. Procura de Energia - Transportes Rodoviários .....	51
Curva de Custos Marginais de Abatimento.....	52
5.5 Discussão final de resultados .....	57
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	59
BIBLIOGRAFIA .....	62
ANEXOS .....	66
A. ANGOLA-ENERGIA E EMISSÕES .....	66
B. METODOLOGIA .....	67
C. CENÁRIO DE REFERÊNCIA.....	67
D. CENÁRIO DE MITIGAÇÃO .....	68
E. CENÁRIO DE DESCARBONIZAÇÃO.....	69
F. MEDIDAS DE MITIGAÇÃO E CURVA DE CUSTOS.....	70
G. JUSTIFICAÇÃO DAS FONTES GACMO.....	70

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Projeção da quantidade de energia a ser produzida anualmente em GWh.....	8
Gráfico 2. Emissões históricas de dióxido de carbono em Milhões de Toneladas métricas de equivalente dióxido de carbono (MtCO <sub>2</sub> eq.), 2000 a 2018 .....	11
Gráfico 3. Emissões de dióxido de carbono por fonte de energia, em Milhões de Toneladas métricas de equivalente dióxido de carbono (MtCO <sub>2</sub> eq.), 2000 a 2018 .....	11
Gráfico 4. Emissões de dióxido de carbono de Angola incluindo Florestas (LUCF) em % ano 2000	13
Gráfico 5. Emissões de dióxido de carbono de Angola excluindo Florestas (LUCF), agricultura, e outros não-energia em % ano 2000 .....	14
Gráfico 6. Crescimento do PIB Angolano, 2000 a 2020.....	28
Gráfico 7. População total angolana, 2000 a 2020.....	28
Gráfico 8. Produção de eletricidade por fonte em % -2000 a 2018.....	30
Gráfico 9. Uso de energia total em Angola por setor em Milhões de GJ, 2000 a 2050 .....	38
Gráfico 10. Uso de energia total em Angola por energia final em Milhões de GJ, 2000 a 2050 ...	39
Gráfico 11. Produção de eletricidade por fonte em Milhões GWh, 2000 a 2050.....	40
Gráfico 12. Emissões por setores da procura, em Milhões de Toneladas métricas de equivalente dióxido de carbono (MtCO <sub>2</sub> eq.), 2000 a 2050.....	41
Gráfico 13. Emissões Totais nos cenários de Referência e Mitigação em Milhões de Toneladas métricas de equivalente dióxido de carbono (MtCO <sub>2</sub> eq.), 2000 a 2050 .....	42
Gráfico 14. Uso de energia total em Angola nos cenários de Referência e Mitigação em Milhões de GJ, 2000 a 2050.....	42
Gráfico 15. Uso de energia por energia final, setores residencial e transporte rodoviário, nos cenários de Referência e Mitigação em Milhões de GJ, em 2050.....	43
Gráfico 16. Uso de energia total em Angola por setor em Milhões de GJ, 2000 a 2050 .....	44
Gráfico 17. Uso de energia total em Angola nos cenários de Referência, Mitigação e Descarbonização em Milhões de GJ, 2000 a 2050 .....	45
Gráfico 18. Emissões por setores da procura, em Milhões de Toneladas métricas de equivalente dióxido de carbono (MtCO <sub>2</sub> eq.), 2000 a 2050 .....	46
Gráfico 19. Emissões Totais nos cenários de Referência, Mitigação e Descarbonização em Milhões de Toneladas métricas de equivalente dióxido de carbono (MtCO <sub>2</sub> eq), 2000 a 2050.....	47
Gráfico 20. Taxa de crescimento anual de Emissões Totais nos cenários de REF, MIT e DESCAB em Milhões de Toneladas métricas de equivalente dióxido de carbono (MtCO <sub>2</sub> e), 2000 a 2050 .....	47
Gráfico 21. Capacidade elétrica instalada nos cenários de Referência e Descarbonização em Megawatt, 2030 e 2050.....	49
Gráfico 22. Custos marginais de abatimento de emissões em Angola, 2050.....	55

## **ÍNDICE DE TABELAS**

Tabela 1. Matriz energética, 2000 (ano base) .....	29
Tabela 2. Fontes de energia utilizadas no setor Residencial até 2050, em % .....	50
Tabela 3. Fontes de energia utilizadas no setor Serviços até 2050, em % .....	50
Tabela 4. Fontes de energia utilizadas no setor Transportes até 2050, em % .....	51
Tabela 5. Custo marginal e quantidade abatida de dióxido de carbono equivalente, por medida ....	53

## **1. INTRODUÇÃO**

As constantes evoluções que o mundo tem sofrido nos últimos anos, têm sido motivos de grandes preocupações, relativamente ao efeito desta evolução no meio ambiente. Todavia, o que sustenta esta evolução é o desenvolvimento da ciência e tecnologia, que tem permitido uma rápida e progressiva exploração do meio ambiente. O resultado desta exploração, são as alterações climáticas a nível mundial, e que têm causado sérios impactos na saúde humana, na economia e no ecossistema, sendo considerado como um dos problemas mais crítico deste século.

De facto, a emissão descontrolada de gases ao efeito estufa, é apontada como uma das razões da poluição ambiental severa, e das alterações climáticas globais em consequência das atividades humana, incluindo a queima de combustíveis fósseis para geração de eletricidade, aquecimento e transporte. O sector energético, é um dos setores que mais tem contribuído para a criação de gases poluentes, aumentando o nível de dióxido de carbono, justificado pelo facto de que este setor, é de extrema importância para a criação de riqueza e desenvolvimento económico. Com efeito, no decorrer deste antigo processo, a procura de energia tem sido cada vez maior, explicada pela grande importância que tem principalmente para a sociedade moderna. A crescente globalização e industrialização, aumentaram exponencialmente a procura por energia em todo o mundo (Emodi et al., 2017).

Apesar do grande papel que o setor da energia desempenha no processo de evolução e satisfação das necessidades humanas, é apontado como um dos setores que mais tem contribuído para a emissão de gases poluentes, aumentando o nível de dióxido de carbono na atmosfera, que é a principal razão da aceleração das alterações climáticas. À vista disso, é importante que se adotam novos mecanismos de utilização de energia e de forma eficiente.

De acordo com Agência Europeia do Ambiente (2018), a nível mundial o uso de energia representa de longe a maior fonte de emissões de gases de efeito estufa. Cerca de dois terços das emissões globais de gases de efeito de estufa, estão ligados à queima de combustíveis fósseis para energia a ser usada para aquecimento, eletricidade, transporte e indústria.

Consequentemente, a preocupação com as alterações climáticas nos últimos anos, tem sido notória por parte das principais organizações internacionais em conjunto com vários países, por forma a se criarem estratégias para dar resposta a este problema, pois a mitigação e a adaptação às mudanças climáticas, constituem as duas instigações fundamentais do século XXI. Todavia, diante desses esforços, para reduzir as emissões de gases de efeito estufa, e mitigar o impacto nocivo das mudanças climáticas, as organizações internacionais e os países, têm enfrentado vários desafios e oportunidades.

A economia de baixo carbono, tornou-se o pilar para a formulação de medidas, para eliminar os gases de efeito estufa, e outros atores desfavoráveis associados aos processos industriais. Com efeito, entende-se a economia de baixo carbono, como uma economia que visa reduzir o impacto negativo sobre o meio ambiente, empregando esforços para reduzir significativamente as emissões de gases de efeito estufa, expandir a produção e o consumo de energia limpa, melhorar a eficiência energética e a eficiência da produção, fomentando o desenvolvimento e a criação de empregos. Esses esforços, estão relacionados às modificações tecnológicas e comportamentais, que devem ser desencadeadas pelo processo de mitigação dos efeitos das alterações climáticas globais. A melhoria da saúde pública, da qualidade de vida, e a independência energética, são apontados como os principais benefícios da economia de baixo carbono.

Todavia, esta transição para uma economia de baixo carbono e competitiva, implica uma maior atenção às políticas de eficiência energética, e de gestão eficiente de recursos (Agência Portuguesa do Ambiente, 2012). Neste contexto, reconhece-se que sem uma análise cuidadosa da produção e do consumo global de energia, essa tarefa ambiciosa não pode ser realizada, e poderá condicionar também o processo de crescimento e desenvolvimento económico. Considera-se importante uma forte aliança entre o desenvolvimento económico e a sustentabilidade do meio ambiente, porque, a longo prazo, as tensões do desenvolvimento económico sobre a sociedade e o meio ambiente se vão intensificar ainda mais, singularmente para os países em desenvolvimento, o que torna imprescindível a referida preocupação com o ambiente.

Neste sentido, a Convenção Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas (UNFCCC), através do Acordo de Paris de Dezembro de 2015, chama a uma maior responsabilidade dos países face às alterações climáticas, estabelecendo uma exigência de compromissos nacionais, com o propósito de controlar o aumento da temperatura média global à superfície da terra abaixo de 2° C, bem como alcançar zero emissões líquidas, na segunda metade do atual século (United Nations, 2016). Este acordo foi um célebre passo internacional, para alicerçar a economia de baixo carbono. Por conseguinte, o Acordo de Paris define que os países devem mostrar a sua Contribuição Nacional Determinada (NDC) de poupanças de emissões, sendo que muitos países vincularam nelas as suas políticas nacionais de desenvolvimento, com o planeamento nacional de energia, desenhando um cenário de desenvolvimento de baixo carbono.

Não obstante estas orientações advindas das Nações Unidas para reduzir as emissões, é importante que cada país, firme e execute as medidas nacionais. As NDCs são assim consideradas “um canal, pelo qual, os governos dos países que assinaram o Acordo de Paris, anunciam as medidas a

serem tomadas para mitigação das alterações climáticas”. Desta feita, para enfrentar as alterações climáticas e reduzir a poluição ambiental causada pela queima de combustíveis fósseis, países desenvolvidos como Reino Unido, Suécia, Japão e Coreia do Sul, estão explorando um novo caminho de desenvolvimento caracterizado pelo baixo carbono, conhecido como economia de baixo carbono ou baixo desenvolvimento de carbono (Zhou et al., 2014). O que constitui um exemplo para os demais países, em particular Angola.

Com efeito, por via da sua NDC (Contribuição Nacional Determinada), Angola comprometeu-se em reduzir as suas emissões de GEE em 35% até 2030 comparativamente ao cenário de referência (ano base 2005), e ainda, mediante financiamento internacional, reduzir adicionalmente mais 15% das suas emissões de GEE até 2030 (ENAC-Angola, 2017). A Estratégia Nacional para as Alterações Climáticas 2018 a 2030 (ENAC, 2018-2030), “surge como um mecanismo nacional, que demonstra de forma ampla e sugestiva, o caminho para uma economia de baixo carbono em Angola, abordando questões pertinentes e necessárias para se conseguir atingir os objetivos do século e por ser um dos poucos que incorpora a preocupação da redução das emissões dos GEE”. O objetivo é colocar o país, numa posição internacional no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas, o que constitui um sinal claro do compromisso de Angola em cumprir os objetivos acordados em 2015.

Neste contexto, Angola apresenta-se como um país ainda sem uma análise muito elaborada de cenários de emissões e desenvolvimento, apesar de estar no caminho oficial de precisar desta informação. Espera-se que brevemente ratifique o Acordo de Paris, o que a obrigará a desenvolver as estratégias e objetivos apresentados na NDC, e como signatária da UNFCCC, do Protocolo de Quioto e do Acordo de Paris, Angola tem o compromisso de promover o desenvolvimento de baixo carbono, reduzindo as emissões de gases de efeito estufa, no contexto da redução da pobreza e do crescimento económico.

Portanto, a compreensão da expressão desenvolvimento de baixo carbono, deve ser tomado com bastante atenção. Conforme faz saber a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas (UNFCCC), o conceito de estratégias de desenvolvimento de baixo carbono é uma abordagem comum, mas diferenciada para atender aos objetivos gerais de redução de emissões: “Todos os países devem preparar Estratégias de Desenvolvimento de Baixas Emissões, conduzidas nacionalmente e representar as metas e objetivos de cada Parte, de acordo com as circunstâncias e capacidades nacionais”.

Tal como pormenoriza Emodi et al.(2017), baixo carbono é um desenvolvimento futurístico que deve ser perseguido, não necessariamente como o objetivo, mas sim para testar os esforços dos países,

em direção ao desenvolvimento de baixo carbono. O uso de energia dos países em desenvolvimento está aumentando rapidamente, o que afeta a mudança climática global e as configurações de energia globais e regionais. Os modelos de energia são úteis para explorar o futuro dos países desenvolvidos e em desenvolvimento (Urban et al., 2007). Todavia, os custos de redução relatados ao longo deste processo de desenvolvimento, variam significativamente entre os países para idênticas opções (Shukla, 1995).

Assim sendo, no presente trabalho, propomo-nos a contribuir para esse processo, apresentando um cenário de desenvolvimento de baixo carbono para Angola, focalizado na produção ou exploração de energia, pois para limitar o impacto das alterações climáticas, é necessário reduzir as emissões de dióxido de carbono ligadas ao setor de energia. Admite-se que é um processo bastante desafiante, ainda mais para um país que é fortemente baseada em combustíveis fósseis.

O objetivo deste trabalho é demonstrar diferentes medidas de redução de emissões, à luz das principais análises internacionais, como uma estratégia a longo prazo, para uma economia com baixo carbono, assegurando um crescimento e desenvolvimento económico, bem como a sustentabilidade das gerações vindouras. Embora muitas das medidas implementadas neste estudo, estejam relacionadas as questões não económicas, tentamos examinar o objetivo deste trabalho, numa perspetiva económica porque consideramos a economia, como um ponto de partida útil para discutir a redução de emissões. Espera-se que, os resultados da presente dissertação, complementem os compromissos assumidos pelo país e que possam servir de um contributo para se atingir essas metas.

O presente trabalho é estruturado por várias secções. A secção 2, apresenta o enquadramento num breve relance sobre a economia Angolana, sua caracterização energética, e os níveis de emissões. A Revisão de Literatura é apresentada na secção 3, aonde são apresentadas e revistas as principais contribuições da literatura acerca do tema em estudo. A Secção 4 aborda sobre a metodologia e dados utilizados neste estudo. Na secção 5 são reportados e discutidos os resultados encontrados. Finalmente na secção 6 são apresentadas as conclusões do presente estudo.

## **2. ANGOLA-ENERGIA E EMISSÕES**

Angola é um país pertencente a África-Subsariana, no sudoeste do continente, com uma área de 1.246,7 milhões de quilómetros ao quadrado, ocupando a quinta maior economia da região. Dados atuais disponibilizados pelo INE em Angola, demonstram que a população angolana, é estimada em 32 866 268 habitantes, verificando-se um aumento de aproximadamente 6 milhões de habitantes desde o censo feito no ano de 2014 (26 milhões de habitantes).

O contexto macroeconómico de Angola, é caracterizado por uma economia dependente do setor petrolífero, contribuindo para 55% do PIB e 95% das exportações deste país, o que tem posto em causa o crescimento económico do país em função das flutuações apresentadas no preço do petróleo. De acordo com a African Development Bank (2021), a economia petrolífera de Angola, está em recessão desde 2016, levando a um aumento do rácio dívida sobre o PIB de 57,1% em 2015 para cerca de 120,3% em 2020. Assim sendo, o país continua a enfrentar enormes desafios de desenvolvimento, que incluem a redução da sua dependência do petróleo, a diversificação da economia, reconstrução de infraestruturas, melhoria da capacidade institucional, a governança, os sistemas de gestão das finanças públicas, os indicadores de desenvolvimento humano, e as condições de vida da população. Apesar dos progressos significativos na estabilidade macroeconómica e nas reformas estruturais, Angola ainda está a sofrer os efeitos da redução dos preços do petróleo e dos níveis de produção, com uma contração do produto interno bruto (PIB) estimada em cerca de 1,2% em 2018 (Banco Mundial, 2020).

Ainda assim, Angola tem apresentado nos últimos quatro anos, crescimentos negativos em torno do seu PIB. Segundo o Banco Mundial, Angola apresenta uma taxa de crescimento do PIB anual de -4 % (dados de 2020), comparativamente as outras grandes economias da África-Subsariana, explicadas pelas flutuações apresentadas no preço do petróleo. A pandemia COVID-19 e as perturbações económicas globais por ela causadas, colocaram em risco as conquistas de Angola de estabilização macroeconómica e transição para um modelo de crescimento mais sustentável e inclusivo (Banco Mundial, 2020).

Angola tem enfrentado também, níveis altos de inflação, que estimada em 24,6% em 2020, foi impulsionada por uma desvalorização acumulada de 36% da moeda até meados de dezembro e também problemas com a taxa de desemprego que subiu para 34,0% no terceiro trimestre de 2020 em comparação com 30% um ano antes, com o desemprego juvenil, subindo para um máximo de 56,4% de 54,2% no terceiro trimestre de 2019 de acordo com a African Development Bank (2021).

Relativamente à preocupação com as alterações climáticas, Angola tem a ENAC (Estratégia Nacional para as Alterações Climáticas 2018-2030), publicado em Agosto de 2017, que pretende promover a transição para uma economia de baixo carbono, incluindo nela um programa de produção de eletricidade de baixo carbono. Segundo o mais recente inventário de GEE de Angola, o setor da energia foi responsável por 59% das emissões em 2005 (ENAC-Angola, 2017). É fundamental essa preocupação, dado que a África é considerada pelas Nações Unidas como um dos continentes mais vulneráveis aos impactos das alterações climáticas em decorrência de sua alta dependência da agricultura, do stress hídrico de que já sofre, e de sua fraca capacidade adaptativa (McCarthy et al., 2001).

Angola reconhece a vulnerabilidade do país às alterações climáticas e do seu impacto no país, pelo que cada vez mais tem dado importância a esta questão e da necessidade de soluções que garantam a sustentabilidade e estabilidade ambiental. De acordo com o ENAC-Angola (2017), reconhecendo a vulnerabilidade do país às alterações climáticas, pretende-se integrar estes problemas nas políticas nacionais, desenvolver e implementar medidas de adaptação e ações que reduzam a vulnerabilidade do país relativamente às alterações climáticas, desenvolver e implementar medidas de mitigação das alterações climáticas, promovendo um desenvolvimento de baixo carbono, bem como assegurar o cumprimento das recomendações advindas do Acordo de Paris. Inundações, secas, erosão do solo e o aumento dos níveis de água do mar têm sido identificados como os principais impactos das alterações climáticas no país, afetando várias regiões do país de diferentes formas, com consequências económicas, ecológicas e sociais.

Tal como argumentam Ainger & Fenner (2014), o desenvolvimento económico, é sustentável desde que os impactos sejam alcançados dentro dos limites ambientais, proporcionando uma qualidade de vida aceitável para todos, garantindo ao mesmo tempo direitos sociais e económicos. Com efeito, face à diversificação da economia angolana, é importante evitar os erros de outros países, adotando políticas que incentivem um crescimento e desenvolvimento económico mais sustentável e se preparar para os desafios futuros das alterações climáticas. Reconhece-se que, face a dependência das receitas do país à indústria petrolífera, é natural que exista uma forte participação do setor da energia nas emissões de Gases de Efeito Estufa.

## **2.1. Energia**

Com relação ao sistema energético de Angola, é importante referir que este é caracterizado pela existência de várias alternativas de geração de energia, com foco na energia hidroelétrica, energia térmica

e energia renovável. Os documentos estratégicos criados em Angola para o processo de mitigação, projetam cada vez mais um aumento da procura de energia em especial a energia elétrica. O MINEA (2018), projeta um aumento da procura de energia para os 7,2 Gigawatts, estimando-se um crescimento médio anual de 12,5% entre 2017 a 2025 de acordo ao investimento previsto no Plano 2013- 2017. Esse aumento é resultado da eletrificação de 60% da população, do aumento do consumo residencial, do aumento da riqueza nacional por meio da indústria de serviços e da industrialização do país.

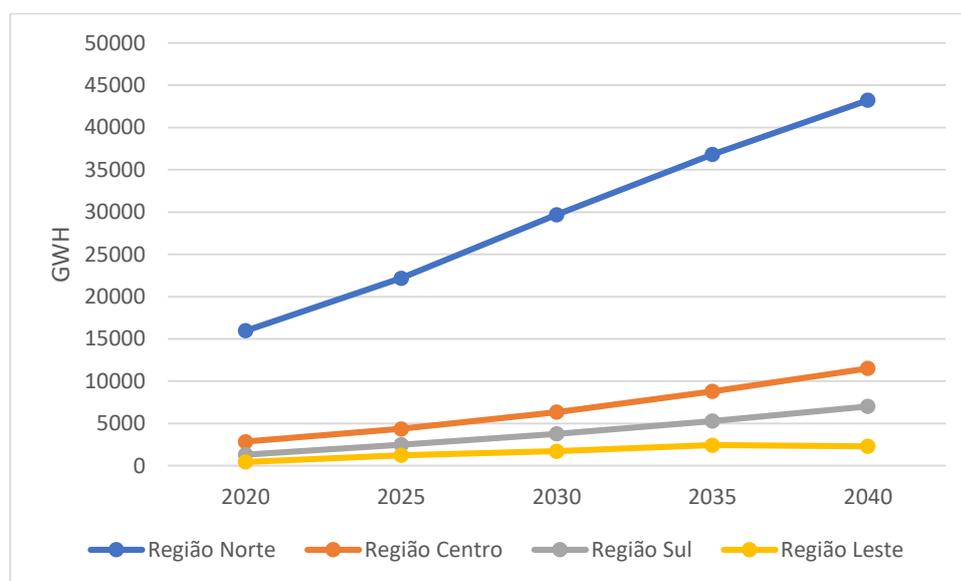
No entanto, tem sido cada vez mais crescente a necessidade de energia como contributo para o processo de desenvolvimento económico para a economia angolana, de tal forma que, para que os resultados se repercutem no bem-estar da população é necessário a garantia da eletricidade a todos, e que por este motivo é imperioso a criação de alternativas de produção de energia com foco nas alternativas renováveis e outras parcelas de recursos renováveis, como eólica, solar, geotérmica ou hídrica para gerar eletricidade. A energia elétrica, é uma das que mais move a preocupação do governo angolano, pela grande importância no processo de desenvolvimento. A eletricidade em Angola é usada principalmente em cidades em áreas residenciais.

Do ponto de vista geográfico, o consumo de eletricidade ainda se concentra principalmente no sistema norte, que representou cerca de 78% do consumo total de eletricidade do país em 2014. O peso do sistema norte está essencialmente relacionado com a província de Luanda, sendo esta a região com maior densidade industrial e de serviços do país. Relativamente a produção energética ou a oferta, importa sublinhar que, o aproveitamento hidroelétrico em Angola, teve início nos anos 1950 e 1960, período durante o qual foram construídas várias centrais hidroelétricas, nomeadamente Cambambe (construído entre 1958 e 1963 na altura com 260 Megawatt), Mabubas, Biopio, Matala e muitas pequenas centrais hidroelétricas. A energia hidroelétrica tem sido apresentada como prioritária e isso é explicada em função da construção da segunda central de Cambambe e para a construção do aproveitamento hidroelétrico de Lauca.

Comparada com as alternativas hidroelétricas, a geração de energia por fonte térmica, tem sido também funcional no sistema elétrico Angolano, orientado como um menor investimento, mas de instalação rápida. O uso de gasóleo para abastecer essas centrais, gera altos custos operacionais, que não se refletem nos preços da eletricidade. Por sua vez, O terminal de gás natural do Soyo tem garantido um excelente aproveitamento no sistema elétrico permitindo a aquisição de combustível de menor custo. Não obstante a esse contributo, esta fonte também não é suficiente para fazer face ao aumento do consumo.

Com efeito, o projeto de elaboração do Plano Diretor de Desenvolvimento de Eletricidade na República de Angola, apresenta uma projeção da quantidade de energia a ser produzida anualmente em Angola até 2040. Os resultados são apresentados no gráfico 1 abaixo, demonstrando que a quantidade prevista a ser produzida em 2040 será de 43236, 11518, 7015 e 2309 GWh (Gigawatt-hora), respetivamente para a região Norte, Centro, Sul e Leste de Angola (Para mais informações acerca da projeção da quantidade de energia, ver Tabela A.1 em Anexo)

**Gráfico 1.** Projeção da quantidade de energia a ser produzida anualmente em GWh



**Fonte:** Projeto de Elaboração do Plano Diretor de Desenvolvimento de Eletricidade na República de Angola, 2018

Feito este enquadramento sobre Angola, é importante trazer uma análise sobre as questões ligadas a descarbonização. Com efeito, no que tange ao processo de descarbonização, importa referir que o ponto de partida que revelou a preocupação a nível mundial sobre a estabilização e controlo de gases de efeito estufa (GEE), foi dado na cidade de Rio de Janeiro no ano de 1992, no qual, vários países adotaram a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas (UNFCCC). De acordo com UNFCCC, o objetivo da mesma é alcançar a estabilização das concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera em um nível que evite interferências antrópicas perigosas no sistema climático. Esta Convenção, foi sucedida pelo Protocolo de Kyoto que é um tratado internacional sobre o estabelecimento de metas internacionais de redução de emissões adotado em 11 de dezembro de 1997 e entrou em vigor em 16 de fevereiro de 2005.

Como sucessão ao Protocolo de Kyoto, foi estabelecida um outro acordo das partes da UNFCCC, denominado Acordo de Paris, também conhecido como COP21 ou Acordo do Clima de Paris. Foi Assinado por 196 países em Paris, em 12 de dezembro de 2015, e entrou em vigor em 4 de novembro

de 2016, ratificado por 190 em janeiro de 2021. Este acordo, visa limitar as emissões de gases de efeito estufa e também de controlar o aumento da temperatura média global à superfície da terra abaixo de 2°C, bem como alcançar zero emissões líquidas, na segunda metade do atual século tal como alude United Nations (2016). Deste modo, o acordo reconheceu que os países menos desenvolvidos precisam melhorar suas economias e reduzir a pobreza, por isso é difícil reduzir as emissões de gases de efeito estufa imediatamente. Portanto, este incitou os países em desenvolvimento, a aumentarem seus esforços de redução de emissões, e avançar em direção a metas de redução ou controle de emissões, enquanto salienta que os países desenvolvidos devem continuar a atingir as metas de redução de emissões. Mediante a importância de um financiamento atribuído aos países mais vulneráveis, o acordo atenta que, os países desenvolvidos, devem aprovisionar recursos e assistências financeiras como mecanismos de ajuda para os países menos desenvolvidos continuarem a cumprirem com as suas obrigações de mitigação.

O Acordo de Paris reafirma que os países desenvolvidos, devem assumir a liderança na prestação de assistência financeira aos países menos dotados e mais vulneráveis, ao mesmo tempo que pela primeira vez, também encoraja contribuições voluntárias de outras Partes. O financiamento do clima é necessário para a mitigação e adaptação porque requer muito investimento para reduzir significativamente as emissões, e muitos recursos financeiros são necessários para se adaptar aos efeitos adversos e reduzir o impacto das mudanças climáticas. Segundo a Britannica (2021), foram arrecadados aproximadamente 10,3 Bilhões de dólares norte-americano até maio de 2018, como resultado da Convenção, como o compromisso da COP16 de arrecadar 100 Bilhões de dólares norte-americano por ano, dos países desenvolvidos até 2020. Esse financiamento era para apoiar os esforços de mitigação e adaptação. O financiamento dos países desenvolvidos viria de vários mecanismos diferentes, presumivelmente para incluir doações, equipamento e perícia técnica.

Há muitos anos, a descarbonização do setor de energia tem sido objeto de várias pesquisas, e recentemente tem sido cada vez mais destacada. Do ponto de vista econômico, a necessidade de investimentos de baixo carbono no setor de energia é tida como o maior desafio que os países desenvolvidos e em desenvolvimento enfrentam. Neste contexto, o processo de descarbonização constitui uma alternativa eficaz para conter o aquecimento global e para a estabilização do clima. Porém, estratégias e financiamento de longo prazo, são necessárias para garantir a descarbonização, e ao mesmo tempo, promover o desenvolvimento econômico. O processo de descarbonização, consiste na redução ou eliminação do dióxido de carbono que têm como fonte a energia, substituindo os sistemas baseados em combustíveis fósseis por eletricidade gerada a partir de recursos de baixo carbono, tal

como a energia renovável. Tem sido consensual que, a estabilidade climática exige que o nosso sistema de energia seja completamente descarbonizado e com zero emissões líquidas de gases de efeito estufa.

De acordo com o Fórum Económico Mundial (2015), o processo de descarbonização profunda não requer gás natural e veículos com baixo consumo de combustível, mas eletricidade com zero carbono (energia eólica e solar) e veículos elétricos carregados na rede elétrica zero carbono. Adiante, o Fórum Económico Mundial (2015), reforça que o Projeto de Caminhos de Descarbonização Profunda (DDPP), demonstra que a descarbonização profunda é tecnicamente viável e acessível, e foram determinadas alternativas para evitar obstáculos no alcance até 2050, e permitir que grandes economias embarquem na descarbonização completa até 2070. Segundo o Fórum Económico Mundial (2015), O DDPP apresenta três pilares importantes no processo de descarbonização:

- Grandes avanços em eficiência energética, usando materiais inteligentes e sistemas inteligentes (baseados na informação);
- Eletricidade com zero carbono, aproveitando as melhores opções de cada país, como eólica, solar, geotérmica, hidroelétrica, nuclear, captura e armazenamento de carbono;
- Troca de combustível de motores de combustão interna para veículos elétricos e outras mudanças para eletrificação ou biocombustíveis avançados.

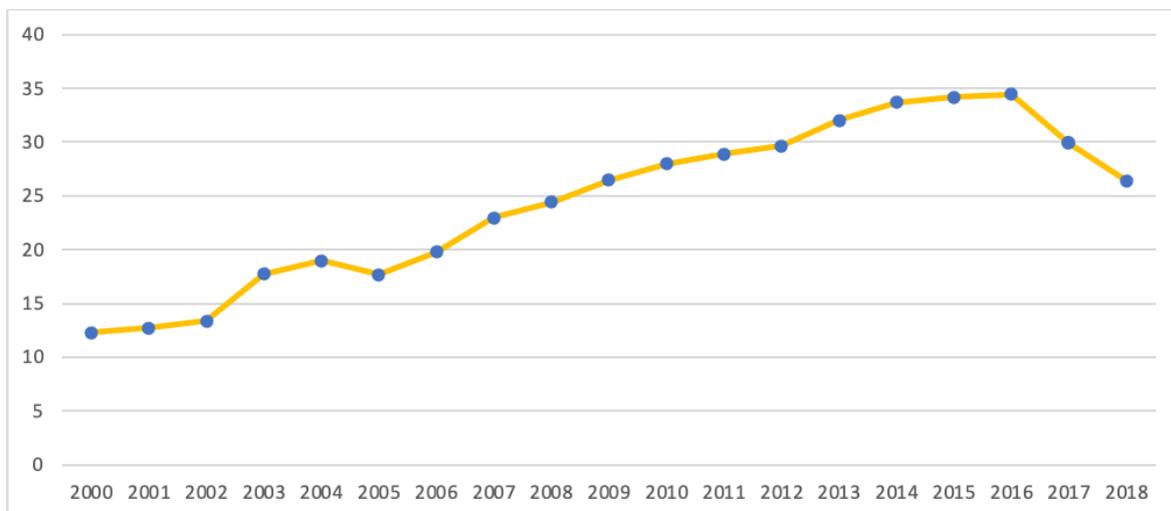
Todavia, apesar de existirem muitas publicações de alta qualidade, abordando a necessidade de descarbonização, e os desafios associados a ela, as políticas nacionais e internacionais estão muito atrasadas em atingir a meta. (Papadis & Tsatsaronis, 2020).

## **2.2. Emissões**

No que respeita a realidade Angolana, dados fornecidos pelo Climate Watch (2020), demonstram que o nível de participação de Angola nas emissões de gases de efeito estufa, concernente ao setor energético tem sido crescente, verificando-se uma taxa de crescimento anual nos níveis de emissões de 4,1% entre os anos 2000 a 2016. Por sua vez, constata-se uma ligeira redução a partir de 2016 a 2018 de 8,5 % (34,46 e 26,39 MtCO<sub>2eq</sub>).

De acordo com o gráfico 2, o setor de energia contribuiu para uma emissão de 26,39 MtCO<sub>2e</sub> (Milhões de Toneladas métricas de equivalente dióxido de carbono), relativamente ao ano 2018. O Setor identificado para ação de mitigação em Angola é o setor de energia, com o propósito de gerar energia, a partir de fontes renováveis e Reflorestamento (Climate Watch, 2020).

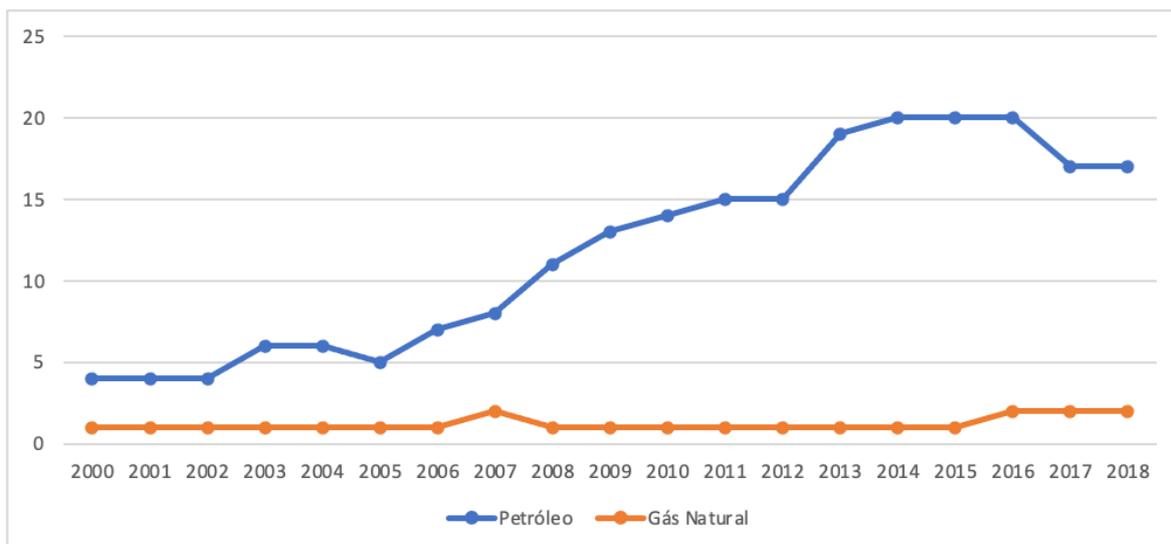
**Gráfico 2.** Emissões históricas de dióxido de carbono em Milhões de Toneladas métricas de equivalente dióxido de carbono (MtCO<sub>2</sub>eq.), 2000 a 2018



**Fonte:** Climate Watch 2020, Global Historical Emissions

O gráfico 3, ilustra as emissões de dióxido de carbono por fonte de energia, atestando que durante os anos 2000 a 2018, o petróleo é a fonte de energia que mais contribuiu nos níveis de emissões de dióxido de carbono apresentando um crescimento médio de 8% por ano. De acordo com o gráfico, os níveis de emissões mais altos, são registados a partir do ano de 2014 com 95% (20 MtCO<sub>2</sub>e), verificando-se uma média de reduções de 5% a partir do ano 2016 a 2018. Já o gás natural constitui a segunda fonte de energia que mais contribui para emissões de dióxido de carbono registando uma participação de 11% (2 MtCO<sub>2</sub>eq.) no ano 2018.

**Gráfico 3.** Emissões de dióxido de carbono por fonte de energia, em Milhões de Toneladas métricas de equivalente dióxido de carbono (MtCO<sub>2</sub>eq.), 2000 a 2018



**Fonte:** IEA-International Energy Agency 2018, Key energy statistics

Em detrimento deste aumento nos níveis de emissões, Angola tem se demonstrado cada vez mais interessado em participar ativamente na implementação das recomendações advindas a nível internacional, para o combate das alterações climáticas, razão pela qual, consta no seu histórico, ferramentas de política ambiental para a mitigação. Estas ferramentas são materializadas através dos seguintes registos refletidos na Convenção Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas (UNFCCC):

- Estratégia Nacional de Implementação da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas e do Protocolo de Kyoto, aprovada no ano de 2007, com o objetivo de promover a estabilidade das emissões de gases com efeito de estufa e o desenvolvimento tecnológico do país;
- Programa de Ação Nacional de Adaptação às Mudanças Climáticas no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas (NAPA), submetido em 2011;
- Comunicação nacional inicial de Angola à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas (1ª comunicação), submetida em 2012, e mostra os inventários nacionais de emissões de 2000 e 2005;
- Contribuição Nacional Determinada (NDC), submetida em Novembro de 2015;
- A Estratégia Nacional para as Alterações Climáticas 2018-2030 (ENAC, 2018-2030);

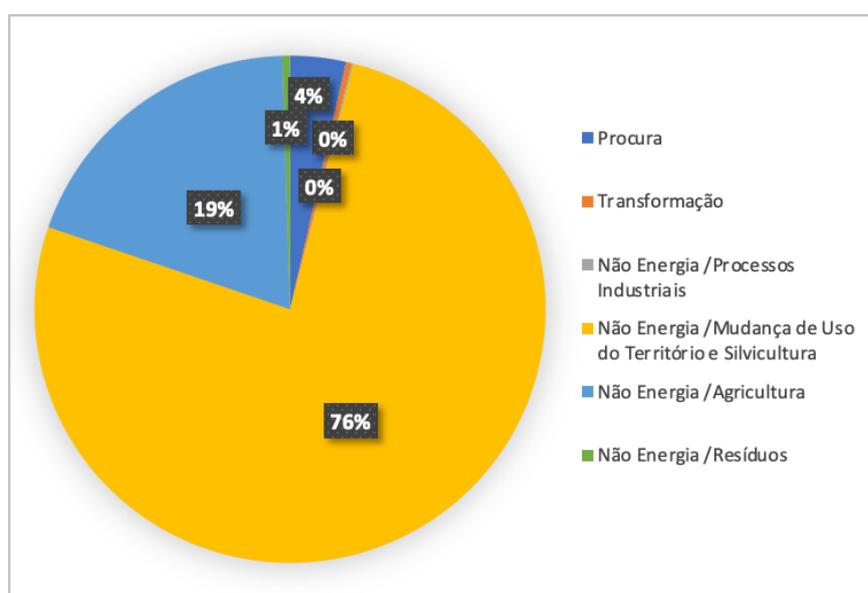
Ainda no que diz respeito às reduções das emissões de gases com efeito de estufa, Angola apresenta outros documentos importantes para o processo de mitigação tal como apresentados na Estratégia Nacional para as Alterações Climáticas 2018-2030 (ENAC 2018-2030):

- Política e a Estratégia de Segurança Energética Nacional (2011);
- Plano Nacional de Desenvolvimento para 2013-2017 (PND), aprovado em 2012;
- Plano Estratégico para a Gestão de Resíduos Urbanos em Angola (PESGRU) 2012;
- Plano de Ação para o Sector de Energia e Águas 2013-2017 (2015);
- Atlas e Estratégia Nacional para as Novas Energias Renováveis (2015);
- Angola Energia 2025 - Visão de Longo Prazo para o Sector elétrico (2016).

## Emissões de GEE Totais de Angola

É apresentado neste ponto, o inventário de emissões de Angola com as não-energia, particularizando o uso das florestas. A classe não-energia, corresponde as atividades económicas que emitem gases de efeito de estufa pelos meios, que não incluem a utilização de energia. O inventário de emissões de Angola com as não-energia, é apresentado no gráfico 4 (Mais informações, consultar a Tabela A.2 em Anexo).

**Gráfico 4.** Emissões de dióxido de carbono de Angola incluindo Florestas (LUCF) em % ano 2000



**Fonte:** Elaboração própria com base no LEAP-starter Angola

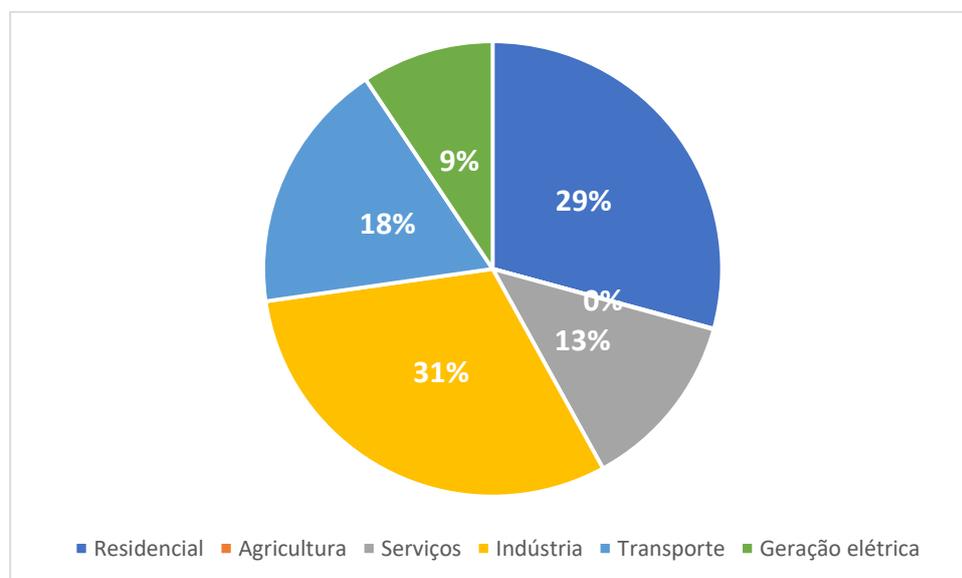
O gráfico 4, mostra-nos que comparativamente aos outros setores, no ano 2000 os níveis emissões completas, foram superiores na categoria não-energia com cerca de 96% (141,5 milhões de toneladas métricas de CO<sub>2</sub>eq.). As emissões significativas foram referentes ao uso de florestas na proporção de 76% cerca de 112,3 milhões de toneladas métricas de CO<sub>2</sub>eq., e participando como o segundo maior emissor nesta categoria, a agricultura com uma proporção de 19% cerca de 28,4 milhões de toneladas métricas de CO<sub>2</sub>eq. Nota-se a participação nos níveis de emissões da Procura com 4% (Incluindo os setores residencial, agricultura, serviços, indústria e transporte). Todavia, as emissões totais de Angola em 2000 foram de 147,2 milhões de toneladas métricas de CO<sub>2</sub>e.

O presente trabalho, reconhece a importância que as florestas têm, principalmente por serem uma força estabilizadora para o clima. Apesar de que seja pertinente a compreensão do papel que as florestas desempenham para conter as alterações climáticas, e apesar de que o país seja extremamente emissor no que toca as florestas, este trabalho não vai olhar para estas emissões, pelo que foram retiradas da modelação, pois o que interessa para este estudo é o contributo da descarbonização e a coerência com o desenvolvimento económico. Assim, desenvolvemos a análise do presente trabalho excluindo Florestas (LUCF), agricultura, e outros não-energia.

### **Emissões de GEE Totais de Angola – excluindo Florestas**

No contexto referido, apresentamos assim, no gráfico 5 em baixo, as emissões de dióxido de carbono de Angola excluindo Florestas (LUCF), agricultura, e outros não-energia.

**Gráfico 5.** Emissões de dióxido de carbono de Angola excluindo Florestas (LUCF), agricultura, e outros não-energia em %, ano 2000



**Fonte:** Elaboração própria com base no LEAP-starter Angola

Consegue-se observar pelo gráfico 5, que excluindo as Florestas (LUCF), agricultura, e outros não-energia, o setor indústria regista maiores níveis de emissões com 31%, o setor residencial em segundo com 29%, transporte em terceiro com 18%, e por fim os serviços com 13%, e a geração elétrica com 9%. Portanto, considerando que não haverá, na referência, grandes mudanças estruturais então no futuro há que se pensar em medidas para estes setores, visto que estes estão associados ao

desenvolvimento da sociedade. As emissões no setor indústria, terá uma análise reduzida, por causa do auto controlo com as emissões que este setor tem.

Como já referido atrás, reconhecemos a importância que as florestas têm, pois elas regulam os ecossistemas, protegem a biodiversidade, desempenham um papel fundamental no ciclo do carbono, apoiam os meios de subsistência e fornecem bens e serviços que podem impulsionar o crescimento sustentável. O papel das florestas nas alterações climáticas é duplo. Atuam como uma causa e uma solução para as emissões de gases com efeito de estufa. Cerca de 25% das emissões globais provêm do setor terrestre, a segunda maior fonte de emissões de gases com efeito de estufa após o setor energético. Cerca de metade destes (5-10 Gigatoneladas de dióxido de carbono equivalente por ano) provêm da desflorestação e da degradação da floresta. As florestas são também uma das soluções mais importantes para enfrentar os efeitos das alterações climáticas. Aproximadamente 2,6 mil milhões de toneladas de dióxido de carbono, um terço do CO<sub>2</sub> libertado da queima de combustíveis fósseis, são absorvidos pelas florestas todos os anos. As estimativas mostram que quase dois mil milhões de hectares de terra degradada em todo o mundo – uma área do tamanho da América do Sul – oferecem oportunidades de restauro. O aumento e a manutenção das florestas é, portanto, uma solução essencial para as alterações climáticas (União Internacional para a Conservação da Natureza, 2021).

O ENAC-Angola (2017), enfatiza a floresta como um recurso valioso para o país, não só pela importância que tem para a economia Angolana, providenciando inúmeros benefícios de ordem socioeconómica e ambiental, como no papel fundamental enquanto sumidouro de carbono, e regulador do equilíbrio dos ecossistemas, devendo ser explorada de uma forma sustentável. As florestas têm uma boa capacidade de recuperação perante as variações climáticas naturais, mas a perda de cobertura vegetal pode ter consequências no agravamento dos impactos das alterações climáticas nos ecossistemas.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

Cada vez mais, vários são os estudos à comprovarem que, a apreensão com as alterações climáticas, tem aumentado por parte das pessoas, e esta preocupação é resultado das consequências destas alterações climáticas nomeadamente, as inundações, secas, incêndios, tempestades ou elevação do nível do mar. Tal como aludem Vich & Mansor (2009), citados por França et al. (2017), o panorama mundial, está rapidamente se alterando devido a três grandes preocupações da humanidade: o meio ambiente, energia e a economia global, sendo que estas áreas estão completamente interligadas.

Com efeito, a adoção de vários países a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas (UNFCCC), ocorrida na cidade de Rio de Janeiro no ano de 1992, revelou ser o ponto de partida para a preocupação mundial, sobre a estabilização e controlo de gases de efeito estufa (GEE), evitando com isso as alterações climáticas e consequentemente o aquecimento global. Esta convenção foi sucedida pelo Protocolo de Kyoto, que é um tratado internacional sobre o estabelecimento de metas internacionais de redução de emissões, adotado em 11 de dezembro de 1997, e entrou em vigor em 16 de fevereiro de 2005. O protocolo de Kyoto foi sucedido pelo Acordo de Paris, assinado por 196 países em Paris, em 12 de dezembro de 2015, entrando em vigor em 4 de novembro de 2016 e ratificado por 190 em janeiro de 2021. Consequentemente, as orientações advindas do Acordo de Paris (2015), revelam uma enorme preocupação, face a esta problemática, e destacam que os países, têm a responsabilidade de limitar o aumento da temperatura global à superfície da Terra em de 2 ° C.

Entretanto, para se alcançar reduções de emissões globais significativas no próximo meio século, só será possível se as maiores nações emissoras do mundo participarem dos esforços de mitigação, limitando as emissões abaixo do que seriam de outra forma. Este grupo de países inclui não apenas os países desenvolvidos, mas também os maiores e mais rapidamente industrializados, países em desenvolvimento, bem como grandes países com economia de transição (Ellis et al., 2007).

Relativamente ao setor energético, que é um dos setores que mais tem contribuído para a criação de gases poluentes, e para o aumento do nível de dióxido de carbono, tem-se visto cada vez mais a recorrência de estudos que visam contribuir para esta temática, com destaque ao contributo de pesquisadores de vários países em desenvolvimento. Para a África Subsaariana, Gerard et al. (2017), reiteram que até o momento, a grande maioria da pesquisa de desenvolvimento têm-se concentrado principalmente no setor de energia. O setor energético, geralmente é o mais importante nos inventários de GEE, pois contribui tipicamente com mais de 90% das emissões de dióxido de carbono e 75% da emissão total de GEE em países desenvolvidos (Garg et al., 2006). Por outra, Worrell et al. (2009),

fundamentam nos seus estudos que a indústria contribui direta e indiretamente (por meio da eletricidade consumida) cerca de 37% das emissões globais de gases de efeito estufa. Os estudos de Papadis & Tsatsaronis (2020), esclarecem que a descarbonização do setor de energia, é uma questão muito complexa, onde muitos aspetos ambientais, econômicos, técnicos, sociais e políticos precisam ser considerados simultaneamente e que a situação atual com relação à descarbonização do setor de energia está longe de ser satisfatória, mas concluem dizendo que, é necessário mudarmos o nosso comportamento e nossos hábitos pois quanto mais cedo isso acontecer, melhor será para o clima.

Cormio et al. (2003), responsáveis pelo estudo de um modelo de otimização de sistemas de energia, com o objetivo de apoiar políticas de planeamento para a promoção do uso de fontes renováveis de energia e restrições ambientais, constataram que o consumo de energia tem sido um dos indicadores mais inabaláveis de desenvolvimento e qualidade de vida alcançados por qualquer país, e a necessidade de satisfazer uma procura de energia prevista para um determinado período de tempo, é a principal justificativa para o planeamento energético. Por sua vez, Weisser (2004), alude que o aumento da dependência de combustíveis fósseis para a produção de energia, resultou num aumento nas emissões globais de GEE, o que levantou questões sobre a sustentabilidade do meio ambiente devido as tribulações como, as mudanças climáticas e o esgotamento dos recursos naturais. Por outro lado, a Agência Internacional de Energia (AIE), reforça que a demanda de eletricidade crescerá mais de 70% até 2040 em comparação ao ano de 2013. Face a este argumento, facilmente pode-se sustentar as explicações de Handayani et al. (2017), atestando que no contexto das mudanças climáticas, essas necessidades de desenvolvimento são desafiadas pelo objetivo vital da mitigação de carbono.

Assim sendo, como trabalhos de relevo para a presente dissertação, destacamos Xiu et al. (2018) e Yang et al. (2018), com estudos desenvolvidos na China, por onde apresentam caminhos de baixo carbono para cidades chinesas com condições distintas, com base na abordagem do sistema de índices. As conclusões destes estudos, visam explicar como atingir um nível de emissão relativamente baixo ao valor máximo até 2030 ou 2035. Certo é, a China responde por cerca de um terço das emissões totais de gases de efeito de estufa (GEE) do mundo, e é responsável por mais da metade do aumento mundial de emissões de GEE nos últimos 10 anos.

Bazilian et al. (2012), elucidam nos seus estudos que a ligação entre energia e os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODMs) tem sido amplamente discutida na literatura. Estes reforçam nas suas conclusões que cada vez mais, há uma extrema necessidade de se criar cenários, capazes de olharem nas novas perspetivas de desenvolvimento sustentável e com níveis reduzidos de carbono.

Neste contexto, é importante referir que a criação de cenários de baixo carbono, é de suma importância, para definir as metas de emissões de GEE, e explorar os modos e caminhos do desenvolvimento de baixo carbono (Xiu et al., 2018). De acordo com Shukla et al. (2008), os cenários de desenvolvimento de baixo carbono, projetam transições sociais, econômicas e tecnológicas por meio das quais a sociedade responde às alterações climáticas.

Grande-Acosta & Islas-Samperio citados por Handayani et al. (2017), demonstram nos seus estudos, um cenário alternativo para o setor elétrico mexicano, avaliando várias opções de mitigação. Segundo Handayani et al. (2017), este estudo concluiu que o cenário alternativo garante ao México, o cumprimento do Acordo de Paris implicando um investimento adicional de 2 mil milhões de dólares americanos por ano ao longo do período de análise.

Bazilian et al. (2012), argumentam nos seus estudos que os países em desenvolvimento, em particular, precisam alinhar a meta do Acordo de Paris com seus objetivos nacionais vitais de eletrificação nacional. Para alcançar uma meta de acesso universal aos serviços modernos de energia em África até 2030, é necessário considerar várias vias do setor elétrico para ajudar a informar os decisores políticos e os investidores, e ajuda-los orientar o projeto do sistema de energia. Estes autores apresentaram cenários para o setor de energia da África Subsaariana até 2030, usando variáveis agregadas como o PIB e futuras conexões anuais da rede de residências.

Todavia, as políticas de mitigação e adaptação às alterações climáticas, são essenciais para os países em desenvolvimento, devido à sua vulnerabilidade aos impactos das mudanças climáticas, apesar de que, a garantia do acesso à eletricidade para toda a população, constitui ainda uma meta de desenvolvimento nacional, vital para muitos países em desenvolvimento (Handayani et al., 2017). Tal como alude Suganthi & Samuel (2012), a crescente globalização e industrialização, aumentaram exponencialmente a demanda por energia em todo o mundo. Para fazer frente a esse aumento exponencial na demanda por energia, a produção de energia aumentou proporcionalmente a tal ponto que aproximadamente 80% da oferta global de energia vem de combustíveis fósseis (IEA, 2008). As emissões nos setores energéticos e industriais, são liberadas na atmosfera, a partir de um número relativamente pequeno de grandes fontes pontuais, como usinas de energia, refinarias de petróleo, siderúrgicas e fábricas de produtos químicos (McKinsey & Company, 2013).

Por sua vez, os estudos desenvolvidos por Papadis & Tsatsaronis (2020), apontam a importância da descarbonização no setor da energia, e considerando que a forma mais óbvia de atingir a descarbonização é o uso de energias renováveis. Este estudo concluiu que, muitos países já usam uma parcela cada vez maior de seus recursos renováveis, como eólica, solar, geotérmica ou hídrica para gerar

eletricidade. Por exemplo, alguns países já alcançaram participações muito altas de energias renováveis para geração de eletricidade devido à energia hidroelétrica, como Paraguai (99%), Noruega (97%) e Costa Rica (93%).

Com relação às questões económicas, a necessidade de investimentos substanciais de baixo carbono no setor de energia é vista como o maior desafio, tanto nas economias desenvolvidas e menos desenvolvidas (Gielen, 2017). São necessários financiamento de longo prazo e políticas para garantir a descarbonização, e ao mesmo tempo, contribuir para o desenvolvimento económico segundo o que revela os estudos de Fay et al. (2015). Segundo os estudos da WayCarbon (2017), os resultados da transição para uma economia de baixo carbono já começam a ser observados. Apenas nos Estados Unidos, o setor de energias renováveis vem criando empregos doze vezes mais rápido que os demais setores da economia isto segundo estudo da Environmental Defense Fund (EDF). No mundo, o setor de energias renováveis empregou em 2016, 8,1 milhões de profissionais. Os países com o maior número de empregos no setor são China, Brasil, os Estados Unidos, Índia, Japão e Alemanha. Na base desse crescimento está o rápido declínio dos custos de geração da energia solar fotovoltaica e eólica.

A questão de quanto custará o combate às alterações climáticas, é uma questão recorrente nos dias de hoje, e na discussão global sobre como fazer a transição para uma economia de baixo carbono (McKinsey & Company, 2013). Neste contexto, Gillingham & Stock (2018), apresentam um grande contributo acerca do custo para a redução das emissões de gases de efeito estufa, esclarecendo que no mundo de um imposto pigouviano, os mercados selecionam as formas mais económicas de reduzir as emissões, mas no mundo em que vivemos, os economistas precisam pensar nos custos de tecnologias específicas ou intervenções restritas. Estes autores procuraram fazer uma distinção entre custos estáticos, que ocorre ao longo da vida útil de um projeto ou cenário e os custos dinâmicos com características mais curtas. Conforme Handayani et al. (2017), no LEAP os custos totais da expansão do sistema de energia consistem em custos de capital, operação fixa, custos de manutenção (OM), custos variáveis de OM e custos de combustível em todo o horizonte de planeamento.

O estudo de Our World in Data (2017), descreve o custo económico de redução das emissões de gases de efeito estufa, como sendo, o impacto económico (que pode ser uma perda ou ganho) de investir em uma nova tecnologia, em vez de continuar com tecnologias ou políticas 'business-as-usual'. Para este estudo, A maneira mais comum de medir e visualizar as opções e custos de redução das emissões de gases de efeito estufa, é usar a chamada curva de custo de redução ou a curva de custo de abatimento. A curva de custo de abatimento é uma ferramenta concisa e simples para exibir opções de redução de emissões de carbono, com base em uma linha de base (geralmente um business-as-

usual). A curva de custo de redução de gases de efeito estufa da McKinsey & Company, proporciona uma base quantitativa para discutir, quais medidas são mais eficazes para alcançar as reduções de emissões e quanto elas podem custar.

Por sua vez, o relatório da organização McKinsey & Company (2013), apresenta uma avaliação atualizada do desenvolvimento de tecnologias de baixo carbono, das tendências macroeconômicas, e uma compreensão mais detalhada do potencial de redução em diferentes regiões e indústrias. Este relatório concluiu que, a implementação de cerca de 200 iniciativas, em dez principais atividades econômicas e 21 regiões, tem o potencial de reduzir essas admissões em 55%, em um custo de menos 60 euros por tonelada de dióxido de carbono ou mesmo 70% com maiores iniciativas de custos. Ainda assim, a McKinsey & Company (2013), estima que o custo total da mitigação global de dióxido de carbono, será de 200 a 350 Bilhões de euros por ano até 2030. Isso é menos de 1% do PIB global previsto em 2030, isto somente se utilizarmos todas as nossas oportunidades de redução de menor de 60 euros por tonelada em todo o seu potencial, ou seja, se buscarmos agressivamente todas as oportunidades de redução de baixo custo atualmente disponíveis. Já o estudo de Our World in Data (2017), estima um custo total global de 530 Bilhões de euros por ano até 2020, e 810 bilhões por ano até 2030, iguais as conclusões de McKinsey & Company (2013).

A McKinsey & Company enfatiza que suas estimativas, portanto, apresentam um alto nível de incerteza. Eles são úteis para fornecer uma visão geral do potencial total de redução (e se isso seria suficiente para cumprir as metas climáticas globais), e estimar os custos potenciais permitindo comparações, entre diferentes tecnologias. Esses fatores são essenciais para os tomadores de decisão que buscam investir em oportunidades de baixo carbono (Our World in Data, 2017). Ainda no âmbito da estimação dos custos para a redução de emissões de gases de efeito estufa, McKinsey & Company (2009), elaborou um estudo, que visa apresentar caminhos para uma Rússia eficiente em energia e carbono, identificando 60 medidas que poderiam ser implementadas a fim de permitir que a Rússia alcance as suas aspirações de crescimento econômico, com consumo de energia e emissões gases de efeito estufa. O estudo concluiu que, para se concretizar este objetivo, o programa exigiria cerca de 150 bilhões de euros em investimentos nos próximos vinte anos, mas trariam economias de até 345 bilhões de euros ao longo do mesmo período. Comparados com os níveis projetados para 2030 conforme o caso de referência, as medidas apresentadas, poderiam reduzir o consumo de energia da Rússia em 23% (para 1.020 MtCO<sub>2</sub> e) e emissões de gases de efeito estufa em 19% (para 2.425 MtCO<sub>2</sub> eq.).

Kumar (2016), estudou os efeitos de diferentes cenários de políticas de energia renovável, na redução de emissões de carbono utilizando o modelo LEAP. Constatou que a utilização dos potenciais

de energia renovável da Indonésia reduziu até 81% das emissões de dióxido de carbono comparativamente ao cenário de linha de base. Todavia, é necessário considerar vários caminhos do setor energético, para ajudar a informar os formuladores de políticas e investidores, e ajudar a orientar o projeto do sistema de energia (Bazilian et al., 2012). Urban et al. (2007), reforçam a importância de haver uma diferenciação nos sistemas de energia dos países em desenvolvimento com os desenvolvidos. O estudo concluiu que, muitos modelos são tendenciosos para os países industrializados, negligenciando as principais características dos países em desenvolvimento, por exemplo, a economia informal, escassez de oferta, baixo desempenho do setor de energia, mudança econômica estrutural, eletrificação, biocombustíveis tradicionais, divisão urbano e rural.

Ainda no que se refere a África, Ouedraogo (2017), considera que há uma necessidade urgente de aumentar e melhorar a capacidade do setor de energia na África, e ainda considera-se crítico o planejamento dos sistemas de energia sendo este, uma garantia que as políticas relacionadas à energia e as decisões de investimento considerem todas as opções possíveis de fornecimento de energia e procura. Outros autores como, Emodi et al. (2017), Gerard et al. (2017) e Sousa et al. (2016), são responsáveis por alguns estudos onde apresentaram fundamentos de um desenvolvimento numa perspectiva de emissão de baixo carbono, de alguns países africanos destacando, a Nigéria e o São Tomé e Príncipe. Estes autores apresentaram o seu modelo através da ferramenta LEAP, determinando o impacto das políticas energéticas no futuro sistema energético bem como, apresentaram ferramentas de eficiência energética para moderar o crescimento da procura de energia.

Por sua vez, Ouedraogo (2017), utilizou também o modelo LEAP para desenvolver um modelo baseado em cenários de oferta e procura de eletricidade, para identificar a forma mais eficiente e ambientalmente amigável para o desenvolvimento de sistemas de energia africanos. Este estudo demonstra que os cenários de eficiência energética, permitiram traçar um caminho sustentável para a eletrificação em África.

O LEAP (Plataforma de Análise de Baixa Emissões), é um software versátil, para planejamento integrado de energia e avaliação de mitigação das mudanças climáticas. Este tem sido usado em muitos estudos para analisar a mitigação de dióxido de carbono no setor de energia em todo o mundo, é empregado para explorar vários cenários do desenvolvimento do sistema de energia em Taiwan, China, Irã, Panamá, Maharashtra, Índia, Paquistão e África (Handayani et al., 2017). Com efeito, nos setores residencial, comercial, transporte e industrial em todo o mundo, o modelo LEAP tem sido usado para avaliar o consumo de energia e as emissões de gases de efeito estufa (du Can & Price, 2008). Este

sistema de modelagem é usado em mais de 70 artigos de periódicos revisados por pares (Connolly et al., 2010).

Os estudos de Ouedraogo (2017), considera o LEAP como a estrutura preferencial para elaborar cenários relativos ao desenvolvimento do sistema de energia africano por diferentes razões, e uma delas é que o modelo LEAP, é mais especificamente adequado, para a modelagem de sistemas de energia com dados macroeconômicos históricos, esparsos para análise de tendências ou questões de desenvolvimento de curto prazo, e o requisito de dados inicial do LEAP é muito baixo de tal forma que, apenas o ano base requer dados estatísticos detalhados. Dada a falta de séries temporais de qualidade no contexto dos países africanos, o modelo LEAP é portanto, uma boa opção. O modelo LEAP, apresenta também algumas limitações. Tal como nos faz perceber Ouedraogo (2017), o modelo LEAP, não gera automaticamente cenários de otimização ou equilíbrio de mercado, as escolhas dos fatores económicos, não são consideradas pelo modelo na determinação do suprimento de energia e combustível. E por outra, as participações de uso e substituição de combustível entre os usuários finais, devem ser determinadas exogenamente, e a análise da competitividade do combustível entre as energias renováveis e os combustíveis fósseis não pode ser realizada. Por fim, o modelo não consegue avaliar o impacto das políticas energéticas sobre as variáveis macroeconômicas.

Urban et al. (2007), são responsáveis por um estudo, que comparou 12 modelos para aplicações em países em desenvolvimento. Este estudo conclui que, os sistemas de energia dos países em desenvolvimento diferem dos países desenvolvidos, o que tem consequências para a modelagem energética. As características relacionadas à energia dos países em desenvolvimento, como escassez de oferta, urbanização e baixa taxa de eletrificação, foram negligenciadas em muitos modelos. Portanto, apesar de serem desenvolvidos diversos sistemas de modelagens de energia, é importante que se tenha atenção na fase de seleção dos modelos, para determinado país. Ainda nesta senda, Urban et al. (2007), reforçam que os países em desenvolvimento têm características próprias que diferem das dos países desenvolvidos, e extrapolar a técnica de modelagem energética destes, posteriormente para os países de baixa renda pode resultar em modelos viesados e modelagem inadequada dos sistemas energéticos dos países em desenvolvimento.

Com base nas distinções metodológicas a serem utilizadas nos estudos de cenários de baixo carbono, com realce nas explorações energéticas, destacam-se os estudos de Handayani et al. (2017), que utilizaram o modelo LEAP para abordar a questão de se, e como os países em desenvolvimento podem satisfazer a crescente demanda por eletricidade enquanto ainda cumprem as metas de mitigação climática, apresentando desenvolvimento de cenários futuros. Tao et al. (2011), Zhang et al. (2011) e

Zhou et al. (2014), utilizaram também esta ferramenta, para analisar o potencial da transição da China e Pequim, para o desenvolvimento de baixo carbono. De facto, o LEAP (Plataforma de Análise de Baixa Emissões), é um software muito versátil, que otimiza o sistema de produção e uso de energia, para planeamento integrado de energia e avaliação de mitigação das mudanças climáticas.

Ainda assim, outros estudos utilizaram metodologias diferentes para a concretização dos seus objetivos. Dedinec et al. (2020), usando o Modelo de Custeio de GEE (GACMO), examinaram o potencial de mitigação do setor de transportes na Macedônia. Um outro critério de suma importância é a análise multicritério (MCDM) pela sua complexidade e desempenho para o desenvolvimento sustentável de energias renováveis (Kumar et al., 2017).

Hughes & Strachan (2010), avaliaram através de um eixo  $2 \times 2$ , estudos de viabilidade técnica e de modelagem, a tipologia, metodologia e uso de cenários de baixo carbono, com foco especial no Reino Unido. Este país foi o principal usuário de cenários de baixo carbono e o primeiro a legislar metas de longo prazo de GEE por meio da Lei de alterações Climáticas. Complementarmente, outros estudos ligados aos cenários de baixo carbono, tais como Viebahn et al. (2011), utilizando a tecnologia de energia solar concentrada (CSP), e uma metodologia mista de abordagem da curva de aprendizagem e do inventário do ciclo de vida dinâmico (ICV), atestam o papel das centrais CSP. Na mesma senda, Pegels (2010), por via de conclusões de relatórios sobre a energia renovável e Tarifa de Alimentação de Energias Renováveis (REFIT), identificou as barreiras relevantes aos investimentos em energia renovável e forneceu recomendações de políticas de energia renovável.

Gerard et al. (2017), por via de uma Modelagem de entrada-saída, procurou dar uma visão sobre as implicações do crescimento do PIB específico da África Subsaariana, desenvolvimento do fornecimento de energia e modernização de energia fora da rede no desenvolvimento regional e no total de emissões de dióxido de carbono em 2030. Concluiu que as nações em estudo, não serão capazes de reduzir as emissões totais de dióxido de carbono em 2030, enquanto se esforçam para alcançar o crescimento do PIB previsto e o acesso universal modernizado à energia. E por outra, a política de fornecimento de energia renovável terá o maior impacto no crescimento de baixo carbono na África do Sul e Angola.

Portanto, no que diz que respeito aos países em desenvolvimento e as metodologias a usar, os resultados de Urban et al. (2007), demonstram que os métodos LEAP, MESSAGE, RETScreen e WEM, são os que abordam um grande número de características de países em desenvolvimento.

O caminho para o crescimento e desenvolvimento sustentável promove a produção de eletricidade a partir de fontes renováveis ou medidas de eletricidade renovável (Journal & Page, 2002).

Handayani et al. (2017), nos seus estudos sobre a Indonésia, foram unânimes ao proporem o desenvolvimento de energia renovável em combinação com uma expansão da capacidade de geração a energia de gás natural. Segundo Pegels (2010), ao se adotar recursos de energia renovável, especialmente energia solar, ajudaria a enfrentar o desafio das emissões e do fornecimento de energia. Além disso, a implantação de energia renovável reduzirá a poluição do ar e contribuirá para a melhoria da saúde. Pegels vai mais longe ao destacar que não obstante a utilização destes recursos, a capacidade política e a vontade política de traduzir esse plano em ações são ainda mais importantes.

Ainda no que respeita Angola, existe uma carência de informação crassa, o que se traduz num enorme desafio. As informações existentes, respeitam à análise da desflorestação tal como os estudos de Leite et al. (2018), e à análise da eficiência das centrais elétricas Barros & Wanke (2017). Não existindo uma proposta de roteiro de baixo carbono no país. A Estratégia Nacional para as Alterações Climáticas 2018-2030 (ENAC 2018-2030), surge como um mecanismo nacional, que demonstra de forma ampla e sugestiva, o caminho para uma economia de baixo carbono em Angola, abordando questões pertinentes e necessárias para se conseguir atingir os objetivos do século. Embora apresentando ser um documento pouco desatualizada, e sem um plano operacional objetivo, vai constituir uma fonte importante para a presente dissertação, por ser um documento ligado diretamente ao Ministério da Cultura, Turismo e Ambiente da república de Angola.

As conclusões dos vários estudos feitos sobre esta temática, demonstram-nos que, é possível um país desenvolver-se economicamente, com níveis reduzidos de emissões de carbono principalmente no que concerne à produção de energia, pois existem variadas alternativas “limpas”. Emodi et al. (2017), mediante uma comparação de quatro cenários de política nos seus estudos, demonstram que reduções de emissões, são possíveis através da implementação de políticas e estratégias para melhoria da eficiência e integração de energias renováveis, e sugerindo também, a melhoria da eficiência das tecnologias de energia, como querosene, carvão, fogões a lenha e fogões de cozinha eficientes para as famílias nigerianas, mediante um determinado custo de implementação. Outras alternativas traduzem-se na eliminação das lâmpadas incandescentes e substituí-las por lâmpadas LED e CFL. Estes autores, propõem para o setor industrial, uma otimização da estrutura de produção e também a necessidade de se promoverem auditorias energéticas neste setor.

Os estudos de Handayani et al. (2017), traçam mediante quatro cenários os caminhos para se atingirem as metas de desenvolvimento do sistema de energia Java-Bali no período 2016 a 2030. Estes autores concluem que nos contextos do sistema de energia Java-Bali, a meta de Paris pode ser alcançada apenas trocando o combustível do carvão pelo gás natural, também as metas nacionais de eletrificação,

podem ser alcançadas também através do desenvolvimento de energias renováveis. Estes autores, estimaram um custo através do LEAP, em que no cenário de referência, o custo é igual a 0,1% do PIB da Indonésia durante o período de análise. Qualquer um dos esforços de mitigação de dióxido de carbono, alinhados com a expansão da capacidade Java-Bali aumenta os custos de 1% a 4% do custo REF. O custo-benefício dos cenários de mitigação de dióxido de carbono, é de 14,9 a 41,8 Dólar americano por toneladas de dióxido de carbono.

Segundo a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), citado por Dudek et al. (2003), as políticas para reduzir as emissões de gases de efeito estufa, podem ter benefícios e custos auxiliares para a saúde pública, os ecossistemas, o uso da terra e outros semelhantes. Por sua vez, neste mesmo estudo, Dudek et al. (2003), reforçam que, uma grande preocupação é uma possível perda de crescimento macroeconômico, principalmente como resultado de um aumento no custo do combustível, mas tais custos podem ser total ou parcialmente compensados pelos benefícios auxiliares de uma política de redução de GEE, em particular (a) uma redução simultânea de outros poluentes comuns, resultando em benefícios para a saúde das populações locais, e (b) os benefícios ecológicos e econômicos adicionais de projetos de redução de carbono. Este estudo concluiu que os países em transição e em desenvolvimento podem expandir suas economias, e ao mesmo tempo, reduzir suas emissões de GEE escolhendo tecnologias menos intensivas em carbono.

Corroborando com McKinsey & Company (2013), é importante sublinhar que capturar todo o potencial de mitigação, será um grande desafio: exigirá mudanças em grande escala, forte ação e compromisso intersetorial global e uma estrutura política sólida. Os estudos da WayCarbon (2017), destacam cinco passos importantes, para que as empresas possam contribuir para uma economia de baixo carbono:

- Tecnologias limpas e energias renováveis: Estes que permitem ganhos de eficiência, trocas de combustíveis, e em alguns casos, a substituição completa de processos emissores;
- Produção circular: envolvendo a reutilização de resíduos de gases e de energia, fechando o circuito produtivo na indústria;
- Eficiência no Transporte;
- Reflorestamento;
- Valoração do carbono e dos serviços ecos sistêmicos: permitindo que as empresas considerem estes ativos na sua tomada de decisão, avaliando os potenciais custos e receitas de carbono associados a um investimento.

Por sua vez, a Agência Portuguesa do Ambiente (2012), no Roteiro Nacional de Baixo Carbono 2050 (RNBC), opções de transição para uma economia de baixo carbono competitiva em 2050, faz menção a definição de trajetórias de baixo carbono para Portugal apresentando com isto, algumas vantagens e que servem de importantes enquadramentos para a presente dissertação:

- Reduzem substancialmente a dependência energética do país;
- Reduzem a imprevisibilidade dos custos para a economia resultantes do aumento previsível dos custos de energia associados aos combustíveis fósseis;
- Promovem a investigação, o desenvolvimento e a demonstração em recursos e tecnologias renováveis;

Ainda Dudek et al. (2003), ao abordarem sobre os benefícios auxiliares da redução das emissões de gases de efeito estufa em economias de transição e em desenvolvimento, apontam a criação de novas instituições e da implementação de novos instrumentos de mercado, como o comércio de emissões, um dos benefícios econômicos auxiliares da redução das emissões de GEE, pois o comércio de créditos de emissões por si só poderia gerar alguma receita, benéfica para a economia.

À vista disso, o presente estudo seguirá estas ideias, para demonstrar como Angola pode se desenvolver com níveis reduzidos de emissões de carbono, atendendo às metas climáticas de Paris. Com efeito, os objetivos concretos propostos para este trabalho são de:

- Caracterizar atual mix energético de Angola, e as emissões setoriais do país, com foco na produção de eletricidade;
- Perceber as principais medidas de desenvolvimento de baixo carbono para as atividades na área da energia;
- Construir cenários de desenvolvimento do país para 2050 – um “Business-as-Usual ou de referência” e um de “Energia Limpa”.
- Mostrar as vantagens e desvantagens do cenário de “Energia Limpa”;

Face aos objetivos listados, a missão deste trabalho é de responder à questão, como pode Angola, desenvolver-se com simultânea redução de emissões no setor energético. Neste enquadramento, as metodologias de Handayani et al. (2017), Xiu et al. (2018), Zhang et al. (2011), Emodi et al. (2017), Gerard et al. (2017), Sousa et al. (2016), e Journal & Page (2002), que utilizaram nos seus estudos o LEAP, são uma excelente opção de desenvolvimento deste trabalho. A metodologia será apresentada no capítulo seguinte.

## **4. METODOLOGIA E DADOS**

### **4.1. Dados**

Com vista à prossecução dos objetivos propostos, os dados utilizados neste estudo, que permitem a criação de um cenário que caracteriza o desenvolvimento de baixo carbono em Angola incluem o crescimento económico, a população, e a estrutura energética do país.

A estrutura da base de dados necessária, tal como a matriz energética, foi extraída a partir do Balanço da Agência Internacional de Energia na qual tivemos acesso via LEAP.

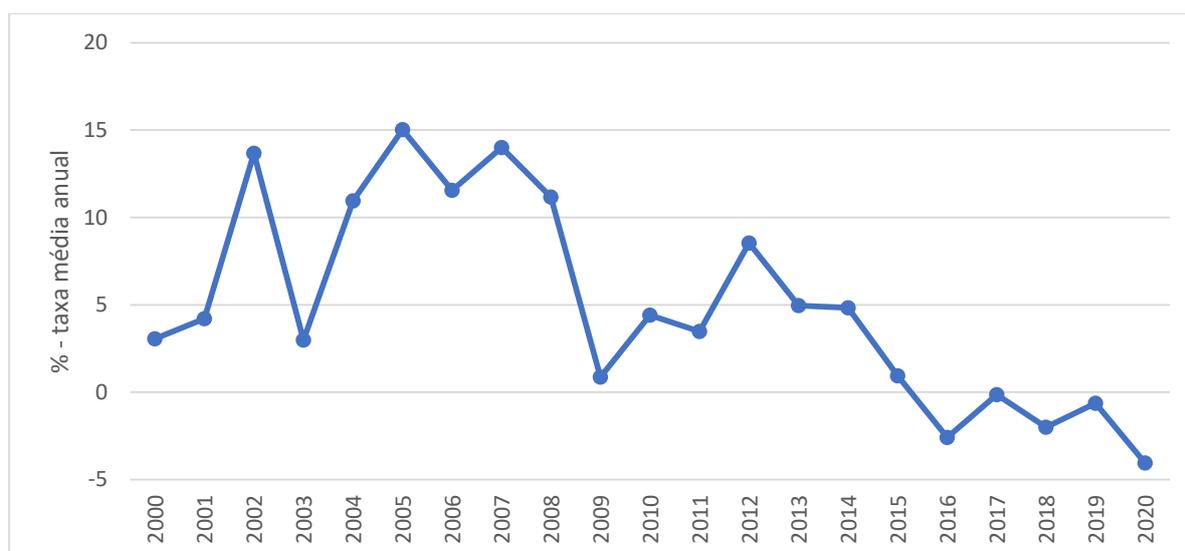
Os restantes dados apresentados, provêm de várias fontes de pesquisas a destacar o Banco Mundial, a Agência Internacional de Energia (IEA), o Instituto Nacional de Estatística (INE) de Angola, OECD National Accounts e a UN data. Tao et al. (2011), consideram nos seus estudos, o PIB, consumo de energia, estrutura energética e emissões de carbono, como os quatros indicadores ou fatores críticos, para medir o nível de desenvolvimento económico de baixo carbono. Desse modo, estes indicadores servirão de dados no presente estudo.

#### **4.1.1. PIB e População em Angola**

Angola tem apresentado nos últimos quatro anos, crescimentos negativos em torno do seu PIB em comparação com o período antes da crise de 2008 onde apresentava um crescimento de 11,16%. Os níveis de crescimento anual do PIB, tem sido cada vez mais reduzido, apresentando atualmente uma taxa de crescimento do PIB anual de -4% (2020). O Banco Mundial (2020), clarifica que as razões do decréscimo do PIB, principalmente a partir de 2014, são as quedas dos preços do petróleo e o mais recente abrandamento do crescimento económico devido ao impacto do COVID-19.

Para além do petróleo, a economia angolana é fundamentada na indústria de outros recursos naturais, a destacar os diamantes, ouro, fosfato, o cobre, minério de ferro e manganês, o que torna a sua estrutura económica vulnerável aos impactos dos preços internacionais de commodities. Fora o recurso mineral, Angola também possui alto potencial agrícola e pesqueira. O gráfico 6 abaixo, ilustra melhor a evolução do Crescimento do PIB Angolano.

**Gráfico 6.** Crescimento do PIB Angolano, 2000 a 2020

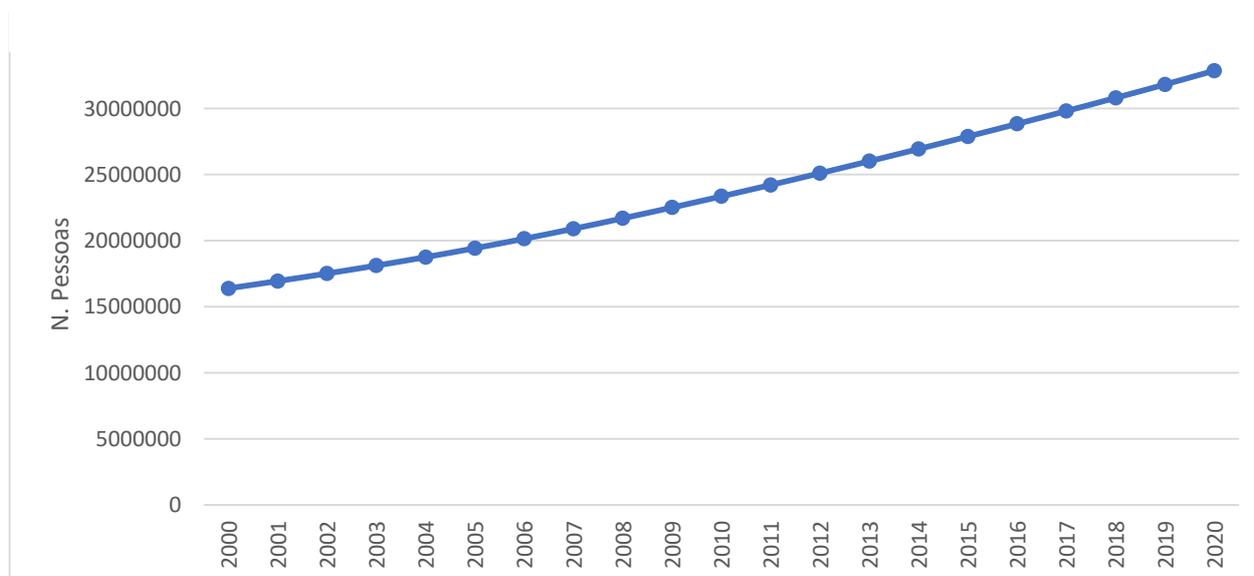


**Fonte:** Banco Mundial, 2020

## População

O crescimento populacional é um indicador de extrema importância para a elaboração dos cenários, e tal como ilustra o gráfico 7, a projeção da população angolana, tem sido crescente. Dados disponibilizados pelo INE em Angola, demonstram que a população angolana, é estimada em 32 866 268 habitantes, verificando-se um aumento de aproximadamente 6 milhões de habitantes desde o censo feito no ano de 2014 (26 milhões de habitantes). O gráfico 6 abaixo, ilustra melhor a evolução da população em Angola.

**Gráfico 7.** População total angolana, 2000 a 2020



**Fonte:** Banco Mundial, 2020

#### 4.1.2. Matriz energética

Neste ponto, é feita uma análise, na tabela 1, sobre a utilização de energia por setor económico com a apuração do consumo total, pelas energias finais utilizada no país em 2000 considerado o ano base. Esta análise será feita por meio da matriz energética, na qual é definida, como um conjunto de fontes de energias à disposição, caracterizando a quantidade de energia disponibilizado por um país. É fundamental a análise da matriz energética, pois permite uma orientação do planeamento do setor energético, conhecendo-se a quantidade de recursos naturais a ser produzido e utilizado. A matriz energética de Angola é apresentada através da tabela 1 abaixo. O SEI (Stockholm Environment Institute) forneceu acesso ao ficheiro LEAP-starter Angola, que permite ter estas informações de partida, assim como a projeção de um cenário de referência e um de mitigação. O ficheiro LEAP, vai buscar a matriz energética aos balanços da Agência Internacional de Energia (IEA), que não são acessíveis de outra forma.

**Tabela 1.** Matriz energética, 2000 (ano base)

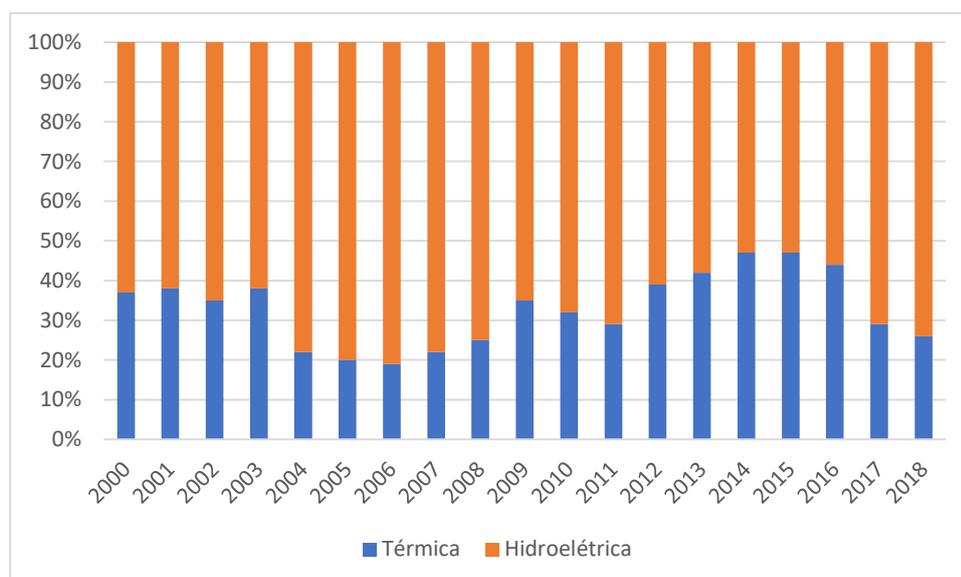
Unidade: MGJ	<b>Gás Natural</b>	<b>Petróleo bruto</b>	<b>Energia hídrica</b>	<b>Biomassa</b>	<b>Eletricidade</b>	<b>Produtos petrolíferos</b>	<b>Total</b>
Produção	0	0	3,3	170,9	0	0	174,2
Importações	19,8	1658,9	0	0	0	23,9	1702,7
Exportações	0	-1584,8	0	0	-0,3	-45,3	1630,4
<b>Fornecimento Primário Total</b>	<b>19,8</b>	<b>74,1</b>	<b>3,3</b>	<b>170,9</b>	<b>-0,3</b>	<b>-21,4</b>	<b>246,5</b>
Refinação de Petróleo	0	-74,1	0	0	0	74,1	0
Geração elétrica	0	0	-3,3	0	5,2	-7,4	-5,4
Perdas de Distribuição	0	0	0	0	-0,8	0	-0,8
<b>Transformação Total</b>	<b>0</b>	<b>-74,1</b>	<b>-3,3</b>	<b>0</b>	<b>4,4</b>	<b>66,8</b>	<b>-6,2</b>
Residencial	0	0	0	166,8	2,9	4,5	174,2
Agricultura	0	0	0	0	0	0,04	0,043
Serviços	0	0	0	0	0	10	10
Indústria	19,8	0	0	4,1	1,3	8,9	34,1
Transporte	0	0	0	0	0	14,9	14,9
Utilização não energética	0	0	0	0	0	7,1	7,1
<b>Procura Total</b>	<b>19,8</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>170,9</b>	<b>4,2</b>	<b>45,4</b>	<b>240,3</b>
Requisitos não cumpridos	0	0,00	0	0	0	0,00	0,00

**Fonte:** Elaboração própria com base no LEAP-starter Angola

Conforme evidencia a matriz energética para o ano 2000, que é o ano base do nosso estudo, a Biomassa, é a principal fonte ou sistema de energia final, constituindo 71% da capacidade total entre todas as fontes de energia, enquanto que a parcela dos produtos de petróleo foi de apenas 19%, o gás natural 8% e a eletricidade 2% para este ano. Uma das razões que torna a Biomassa a principal fonte de energia final é facto de que a maior parte da população do país neste período pertencia em zonas rurais sem acesso as energias convencionais e também a presença de conflitos internos em Angola. Apesar de que para este ano, a Biomassa ser a principal fonte de energia final, o petróleo é a fonte de energia que mais contribuiu nos níveis de emissões de dióxido de carbono com 80% (4 MtCO<sub>2e</sub>). Angola apresenta várias alternativas para a produção de energia, destacando as fontes de energias hidroelétricas, térmicas e renováveis. A energia hidroelétrica, tem sido dada como prioritária, tal como destaca MINEA (2018), na sua visão de longo prazo para o sector elétrico. A geração de energia com base em fontes térmicas tem sido uma grande aposta para a garantia e funcionamento do sistema elétrico em Angola.

O Gráfico 8, demonstra a produção de eletricidade por fontes, notando-se o domínio da fonte hidroelétrica em todos os anos. Considerando o período total, a produção de eletricidade através da fonte hidroelétrica passou de 63% no ano 2000 para 74% em 2018, registando-se reduções no nível de produção no ano 2014 e 2015 com 53%. Já a produção por via da fonte térmica, sofreu variações passando de 37% no ano 2000 para 26% em 2018, tendo sido o ano 2006 de maiores reduções com 19%.

**Gráfico 8.** Produção de eletricidade por fonte em % -2000 a 2018



**Fonte:** IEA-International Energy Agency 2018, Key energy statistics

## 4.2. Metodologia

Tal como apresentado na secção prévia da revisão de literatura, a ferramenta mais adequada à projeção de cenários de emissões e uso de energia numa região, com análise de diferentes medidas de redução de emissões, à luz das principais análises internacionais, como uma estratégia a longo prazo, para uma economia com baixo carbono, é o modelo LEAP (Plataforma de Análise de Baixa Emissões). O LEAP trata-se de um software amplamente utilizado para planeamento de políticas de energia, mitigação das mudanças climáticas e redução da poluição do ar, desenvolvido pelo Stockholm Environment Institute (SEI). O método de contabilidade no LEAP, pode ser usado para representar sistemas de energia futuros com base em vários cenários de políticas, permitindo a comparação de impactos energéticos, ambientais e económicos de várias políticas de energia (Handayani et al., 2017).

Como justificado, as razões que nos levaram a escolha desta ferramenta, foram que este modelo tem sido usado em muitos estudos, em mais de 190 países em todo o mundo, tornando relevante a comparação dos resultados entre os países, demonstrando ser um software eficaz no desenvolvimento de Estratégias de Desenvolvimento com Baixas Emissões (LEDS), e na avaliação da redução de emissões de gases com efeito estufa (GEE).

O modelo LEAP, pode ser usado para desenvolver vários cenários de demanda de energia projetada e impacto ambiental com base em, como a energia é consumida, transformada e gerada em uma determinada região ou economia sob uma gama de valores para parâmetros como aumento da população e o Produto Interno Bruto (Cai et al., 2020).

As inferências usadas pelo LEAP, são inferências de crescimento económico ou social, a destacar o crescimento do Produto Interno Bruto (PIB), da Riqueza Setorial e da População. Em conjunto destas, é também utilizada informação e a caracterização de uso e produção de energia no país, para calcular cenários de utilização e produção de energia. O cálculo dos requisitos de recursos ou combustível no LEAP, depende das saídas do módulo de geração de eletricidade. O LEAP aloca recursos necessários para a geração de energia elétrica de acordo com a eficiência de combustível de cada tecnologia (Handayani et al., 2017). O modelo pode calcular custos, mas, por aqui, tal sai fora do âmbito do trabalho e não foi considerado.

O LEAP inclui também uma base de dados exaustiva de tecnologias de utilização e produção de energia, devidamente associadas a fatores de emissão fornecidos pelo Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas (IPCC) nos seus relatórios, que permite projetar cenários de emissões de GEE.

### 4.2.1 Estrutura do modelo

Para explicarmos o mecanismo de configuração do modelo LEAP, utilizamos as interpretações de Emodi et al. (2017), sobre o algoritmo utilizado. O modelo LEAP calcula inicialmente o consumo de energia, depois a transformação para suprir aquela procura (geração de eletricidade, refinaria de petróleo, produção de carvão, mineração de carvão) e por fim calcula as emissões de carbono associadas. Apresenta-se de seguida o detalhe da metodologia, dentro da estrutura consumo-transformação-emissões referida.

#### Procura de Energia

O modelo LEAP de Angola referente a procura, é composto por residenciais, agricultura, serviços, indústria e o setor de transporte. O consumo total de energia final de cada um destes setores é calculado da seguinte forma:

$$EC_n = \sum_i \sum_j AL_{n,j,i} \times EI_{n,j,i} \quad (1)$$

Onde:

$CE$ : é o consumo agregado de energia de um determinado setor;

$AL$ : é o nível de atividade e é uma medida da atividade social ou econômica para a qual a energia é consumida.  $AL$  é medido para cada ano como uma escala de unidades por domicílio ou toneladas para a indústria;

$EI$ : é a intensidade energética ou o consumo final anual de energia por unidade de nível de atividade. Em  $EI$ , a energia utilizada em cada setor (por exemplo, carvão ou gás) é medida em unidades (megajoule ou barril) por tonelada métrica de cada ano no período em observação;

$n$ : é o tipo de combustível;

$i$ : é o setor;

$j$ : é o dispositivo;

O consumo líquido de energia para transformação é calculado da seguinte forma:

$$ET_s = \sum_m \sum_t ETP_{t,m} \times \left( \frac{1}{f_{t,m,s}} - 1 \right) \quad (2)$$

Onde:

$ET$ : é o consumo líquido de energia para transformação;

*ETP*: é o produto de transformação de energia, e pode ser eletricidade no caso de usinas ou produtos de refinaria (por exemplo, gasolina, diesel, gás liquefeito de petróleo) no caso de refinaria de petróleo bruto;

*f*: é a eficiência de transformação de energia e este é o conteúdo de energia dos combustíveis de saída dividida pelo conteúdo de energia dos combustíveis de matéria-prima (medido em%).

*s*: é o tipo de energia primária;

*m*: é o equipamento;

*t*: é o tipo de energia secundária;

O volume de negócios das existências de transporte é calculado da seguinte forma:

$$EV_n = \sum_c S \times \frac{m}{fe} \quad (3)$$

Onde:

*EV*: é o consumo de energia no setor de transporte,

*s*: é o número de veículos (estoque);

*m*: é a distância do veículo;

*fe*: é a economia de combustível;

*n* é o tipo de combustível;

*c*: é o tipo de veículo;

### **Oferta de energia - módulos de transformação**

O lado da oferta, é estratificada pelo setor de transformação, este que é dividido em distribuição, geração de eletricidade, e refino de petróleo. O ramo de recursos do setor de transformação contem recursos primários e secundários. Estrutura da base de dados na ferramenta LEAP pode ser observada nos anexos.

A transformação para cada processo *p*, é calculado da seguinte forma:

$$INPUT_p = \frac{OUTPUT_p}{EFFICIENCY_p} \quad (4)$$

Para um módulo de transmissão e distribuição:

$$EFFICIENCY_p = 1 - LOSSES_p \quad (5)$$

Onde

INPUT: é o combustível ou matéria-prima;

OUTPUT: é a eletricidade gerada ou a saída da refinaria / produção;

EFFICIENCY: é a eficiência das usinas ou usinas de refinaria;

### **Emissões de Carbono**

A emissão de carbono do consumo final de energia, é calculada da seguinte maneira:

$$CEC = \sum_i \sum_j \sum_n AL_{n,j,i} \times EI_{n,j,i} \times EF_{n,j,i} \quad (6)$$

Onde:

*CEC*: é a emissão de carbono;

*AL*: é o nível de atividade;

*EI*: é a intensidade energética e é o fator de emissão de carbono do combustível tipo *n* para o equipamento *j* do setor *i*;

A emissão de carbono da transformação de energia é calculada da seguinte forma:

$$CET = \sum_s \sum_m \sum_t ETP_{t,m} \times \frac{1}{f_{t,m,s}} \times EF_{t,m,s} \quad (7)$$

Onde:

*CET*: é a emissão de carbono,

*ETP*: é o produto de transformação de energia,

*f*: é a eficiência de transformação de energia e é o fator de emissão de uma unidade de tipo de combustível primário *s* consumido para produzir combustível secundário tipo *t* por meio do equipamento *m*.

A árvore do modelo LEAP de Angola, é ilustrada através Figura B.1 em Anexo.

#### **4.2.2 Cenários de projeção de uso de energia e emissões**

Estabelecendo o crescimento do uso de energia a partir do crescimento económico, populacional, e da estrutura de base das emissões (matriz energética), o modelo permite criar cenários de análise futura, que permitem comparar diversas situações.

Tal como alude Zhang et al. (2011), o escopo da construção dos cenários, é fundamentalmente para responder à crescente procura de energia no futuro, e também para apresentar um auxílio através das medidas que serão preponderantes no cumprimento do compromisso do Acordo de Paris. Um cenário é uma descrição auto consistente, de como um sistema de energia pode evoluir ao longo do tempo sob um determinado conjunto de condições. O modelo de base fornecido pelo SEI tinha já incorporadas propostas de cenário de Referência, e Mitigação. Como o cenário de Mitigação não trazia reduções de emissões suficientes, cria-se um terceiro cenário, de descarbonização. Estes cenários são descritos de seguida.

**Cenário de referência (REF):** Este cenário, caracteriza a situação inicial, sem a influência de qualquer política energética, refletindo a esperança de desenvolvimento na procura de energia do país, vinculando-se ao PIB e ao crescimento da população. A criação deste cenário, permite-nos fazer uma análise objetiva das alternativas de mitigação das emissões de GEE em Angola (em toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente) mediante um custo (em dólares anualizado por tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente).

**Cenário de Mitigação:** Mediante a uma análise detalhada ao cenário de referência, consegue-se ilustrar os cenários de mitigação e descarbonização, e mediante a esta ilustração com base numa comparação entre os cenários, se vai obter os principais resultados advindas das medidas definidas.

**Cenário de Descarbonização:** O Cenário de Descarbonização, é aquele que vai tentar atingir o objetivo de um saldo líquido neutro de emissões. A diferença deste cenário com o de Mitigação, é que este cenário inclui medidas mais fortes, por forma a que a taxa de crescimento de emissões seja quase zero – isto é – descarbonize o país. As medidas associadas ao cenário de descarbonização precisam de ser contabilizadas em termos monetários. É muito importante perceber os custos associados às medidas, para verificar se a medida é viável ou não. Assim, a análise da projeção das emissões poupadas e dos custos por tCO<sub>2</sub>eq, é feita tendo por base o Greenhouse gas Abatement Cost Model (GACMO). De acordo com Desgain & Jørgen (2020), o modelo GACMO (Greenhouse Gas Abatement Cost Model) é uma ferramenta de modelização, desenvolvida na UNEP DTU Partnership (UDP) ao longo de mais de 20 anos. Visa dotar os países, principalmente os países em desenvolvimento, de uma ferramenta que lhes permita realizar avaliações rápidas, mas precisas, do impacto das emissões de gases com efeito de estufa de uma variedade de opções de mitigação. Esta folha de cálculo oferece dados internacionalmente aceites, nomeadamente para realização das Contribuições Nacionais Designadas à UNFCCC, e com os custos

obtidos, constrói-se um gráfico, também amplamente generalizado, conhecido como Curva de Custo Marginal de Abatimento (MACC). Nela é visível a quantidade de emissões que parcialmente cada medida permite poupar, assim como o seu custo por unidade de redução. Idealmente cada análise de cada medida deveria ser ajustada à realidade local, de Angola, nomeadamente no que respeita aos preços da energia, mix elétrico, e custos de investimento e de operação e manutenção. No entanto tal trabalho corresponde a uma análise de projeto de investimento individual, por medida, que sai fora do âmbito desta tese, pelo que o deixamos para momentos futuros. Em alternativa utilizamos o GACMO, que é a forma internacionalmente reconhecida de atribuir prioridades às medidas de mitigação selecionadas.

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Na presente secção, são reportados e discutidos todos os resultados sobre os cenários de desenvolvimento de Baixo Carbono em Angola até 2050.

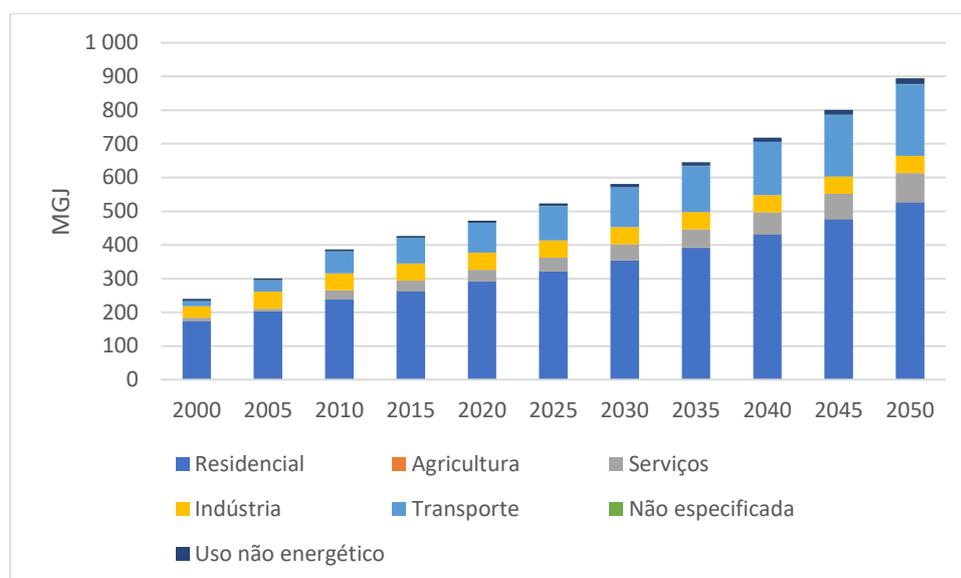
### **5.1. Cenário de Referência**

Este cenário, caracteriza a evolução do uso de energia por energia final e por setores, a produção de eletricidade por fontes, e por fim as emissões de GEE por setor.

#### **Uso de energia total por setor**

É ilustrado neste ponto, o uso total de energia em Angola, distribuído em cinco setores. Os setores apresentados são o setor residencial, o setor agricultura, serviços, indústria e transporte. De forma agrupada, percebe-se que o setor residencial é o setor que mais utiliza energia, tanto para o ano 2000 que é o ano base, com 73% de capacidade (174,2 milhões de Gigajoule) como para o ano 2050 que é o ano de projeção, com 59% de capacidade (526,9 milhões de Gigajoule), pelo que é nítida a importância do setor residencial. À vista disso, projeta-se para o ano 2050, a utilização de 24% do setor transporte como o segundo maior consumidor, e finalmente os serviços e a indústria, relativamente com uma importância menor (10% e 6% respetivamente). Projeta-se o crescimento do consumo total de energia em Angola por setor, em 3% ao ano (Pressuposto assumido no LEAP).

**Gráfico 9.** Uso de energia total em Angola por setor em Milhões de GJ, 2000 a 2050



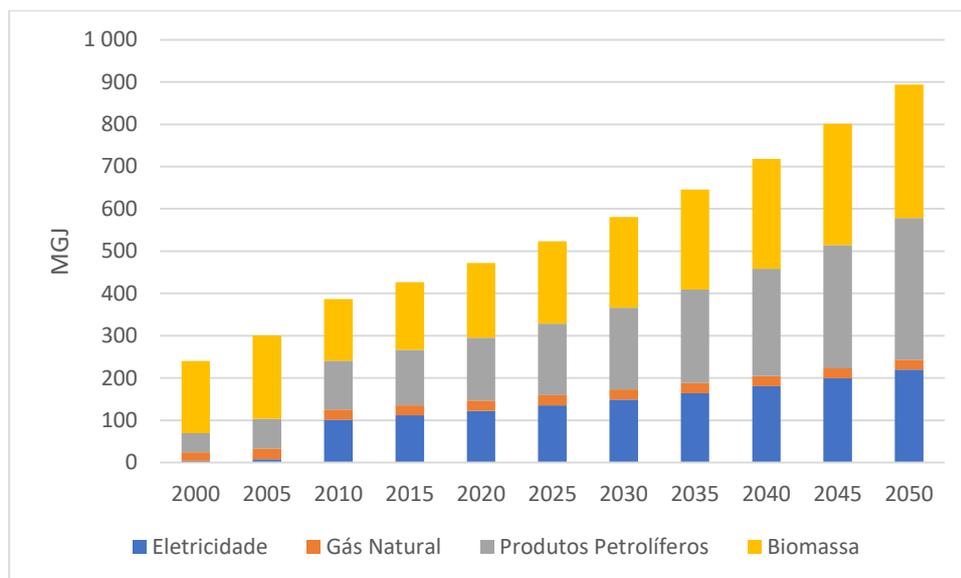
**Fonte:** Elaboração própria com base no LEAP-starter Angola

### Uso de energia total em Angola por energia final

As fontes de energia primária, energia secundária e de transformação, são designadas como os elementos constituintes do setor energético, e por sua vez, o término desta cadeia, é denominado como o uso final total, permitindo a diferenciação entre o consumo final energético e os para fins não energéticos. Neste contexto, o uso total de energia em Angola por energia final até 2050, é representado no gráfico 10, do qual a contabilização é feita em unidades de Gigajoule (Para mais informações, consultar a Tabela C.2 em Anexo).

Observa-se pelo gráfico 10 que a maior parte da utilização final, atribui-se a utilização da Biomassa com uma capacidade total de 71% (170,9 milhões de Gigajoule) para o ano base (2000) e os produtos petrolíferos ou gasolina, correspondem a segunda maior fonte de utilização final neste mesmo ano com cerca de 19% (45,4 milhões de Gigajoule). Para o ano 2050, projeta-se um maior uso dos produtos petrolíferos com uma capacidade de 37% (334,9 milhões de Gigajoule) em relação aos 35% (315,8 milhões de Gigajoule) da Biomassa que tenderá a ser a segunda maior fonte de utilização. Relativamente aos restantes usos para o ano de 2050, a eletricidade destaca-se em terceiro lugar com 25%, mostrando assim que há lugar para melhorias neste campo. Projeta-se que o consumo total de energia em Angola por energia final, terá um crescimento médio de 9% partindo de 523,1 milhões de Gigajoule (2025) para 894,1 milhões de Gigajoule (2050).

**Gráfico 10.** Uso de energia total em Angola por energia final em Milhões de GJ, 2000 a 2050

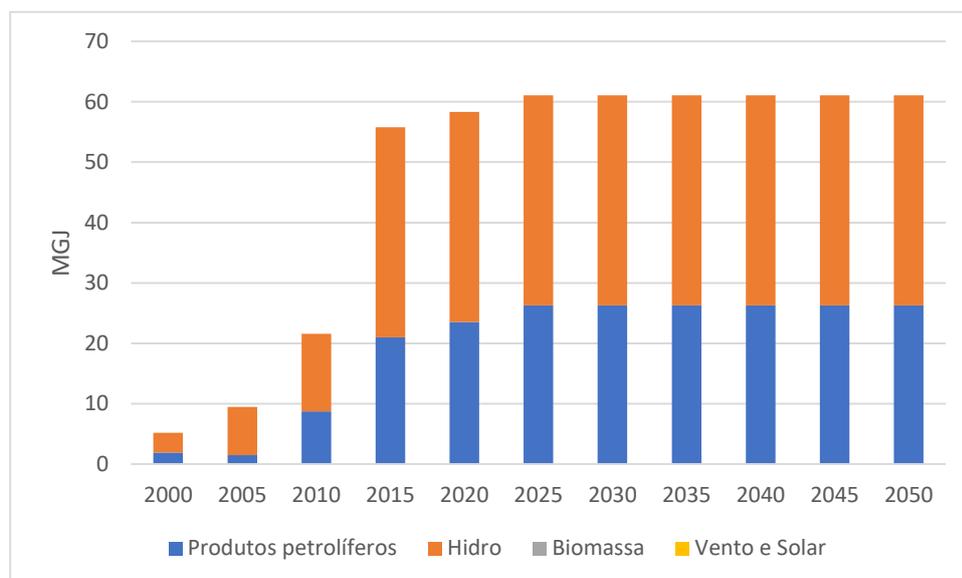


**Fonte:** Elaboração própria com base no LEAP-starter Angola

### Produção de eletricidade por fonte

O parque gerador de Angola, é principalmente caracterizado pela grande capacidade Hidro como se pode observar no gráfico 11. Para o ano 2000, as fontes Hidro representaram a maior capacidade de geração de eletricidade com 63% (3,3 Milhões GWh), e se projeta em 2050 uma capacidade de 57% (34,8 Milhões GWh), e de 43% (26,3 Milhões GWh) dos produtos petrolíferos (Gasolina ou gasóleo), este que constitui a segunda maior fonte geradora de eletricidade no país (Ver a Tabela C.3 em Anexo, para mais informações).

**Gráfico 11.** Produção de eletricidade por fonte em Milhões GWh, 2000 a 2050

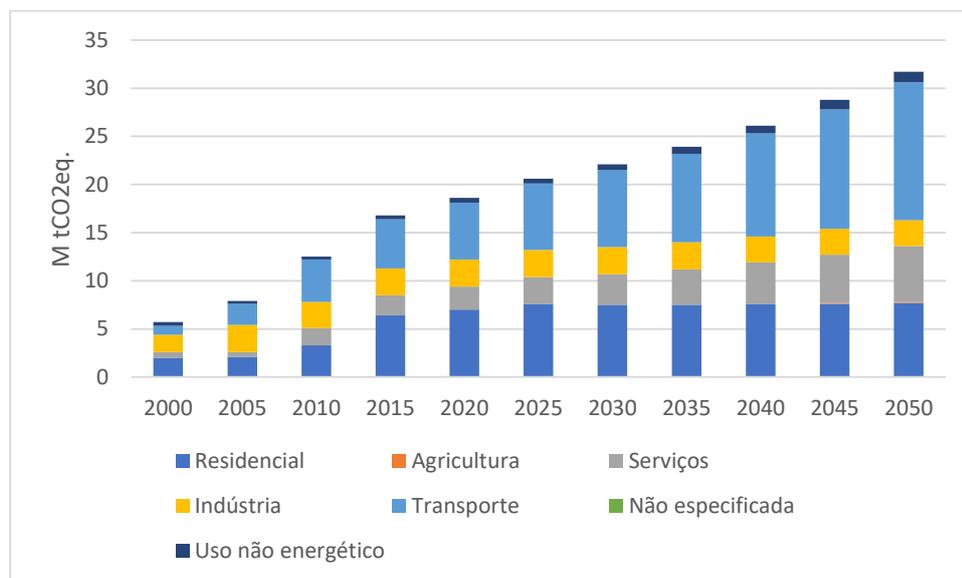


**Fonte:** Elaboração própria com base no LEAP-starter Angola

### **Emissões de GEE, por setor**

O gráfico 12, mostra as emissões de GEE diretas (Procura) mais indiretas (Transformação), alocadas por setores da procura. Os resultados atestam que durante os anos em análise, os setores que mais contribuíram nos níveis de emissões de dióxido de carbono foram o setor transporte e o setor residencial. As participações totais do setor transporte, cresce de 16% (0,9 MtCO<sub>2</sub>e) em 2000 para 45% (14,3 MtCO<sub>2</sub>e) em 2050, enquanto que o residencial regista um valor de 24% (7,7 MtCO<sub>2</sub>e) em 2050. Nota-se que proporcionalmente à evolução do uso de energia, os transportes veem a sua responsabilidade por emissões a crescer mais que o setor residencial, o que se deve, principalmente, pelo uso de eletricidade, menos emissora. Para o ano 2050 o nível de emissões dos outros setores serão de 18% (5,8 MtCO<sub>2</sub>e) para os serviços, 9% (2,7 MtCO<sub>2</sub>e) para a indústria e 4% (1,1MtCO<sub>2</sub>e) para o uso não energético (Ver Tabela C.4 em Anexo, para mais informações).

**Gráfico 12.** Emissões por setores da procura, em Milhões de Toneladas métricas de equivalente dióxido de carbono (MtCO<sub>2</sub>eq.), 2000 a 2050



**Fonte:** Elaboração própria com base no LEAP-starter Angola

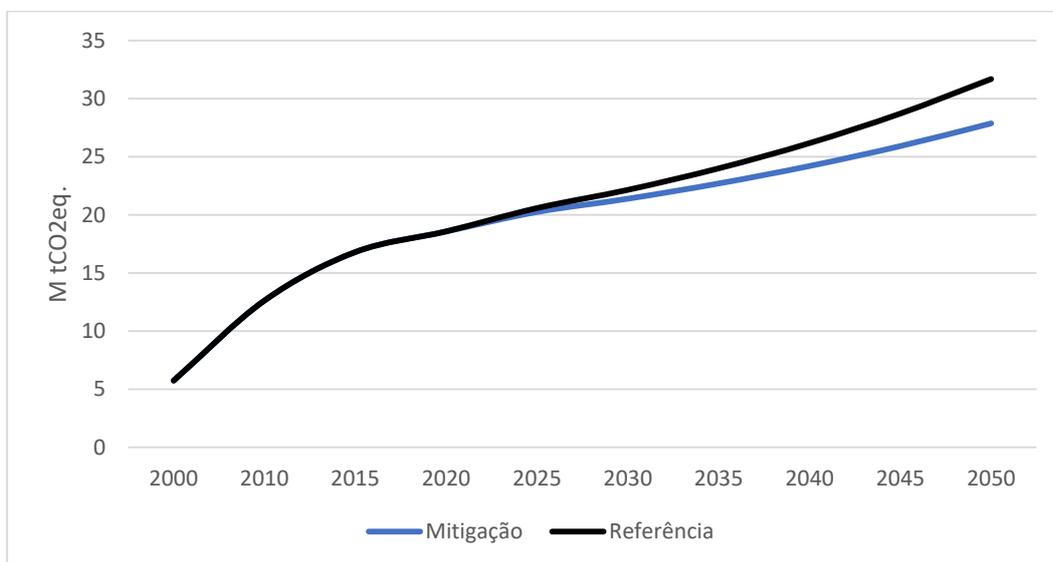
## 5.2. Cenário de Mitigação

Os gráficos 13,14 e 15, apresentam-nos uma descrição dos principais resultados do cenário de Mitigação, notando-se, contudo, as emissões totais e o uso de energia total em Angola nos cenários de Referência e Mitigação conjugando com uma necessária e importante comparação específica, da utilização de energia por energia final, nos setores residencial e transporte rodoviário.

Como é possível verificar pelos gráficos 14 e 15, o uso de energia é quase igual nos cenários Referência e Mitigação, e até ligeiramente maior em Mitigação o que traduz o maior acesso a energia, numa projeção de melhor, e maior, desenvolvimento sustentável. Em complemento, as emissões associadas são inferiores em Mitigação, o que quer dizer que apesar do aumento na quantidade de energia, este cenário ainda é menos emissor. Tendo isso em conta, ao compararmos os cenários indicados, observa-se que no cenário de Mitigação, considerou-se um crescimento no uso de energia de 70% do crescimento do cenário de Referência (3%), o que é explicado pela possibilidade dos modeladores do LEAP, considerarem a existência de algumas exceções ocorridas no setor Residencial onde se assume um crescimento de +7% que a tendência histórica (enquanto que em REF é de +2%), possivelmente porque assume-se que na Indústria, aviação e transporte marítimo, a energia usada no cenário Referência é igual a Mitigação. Ainda assim percebe-se que a tendência de emissões neste cenário é crescente, com

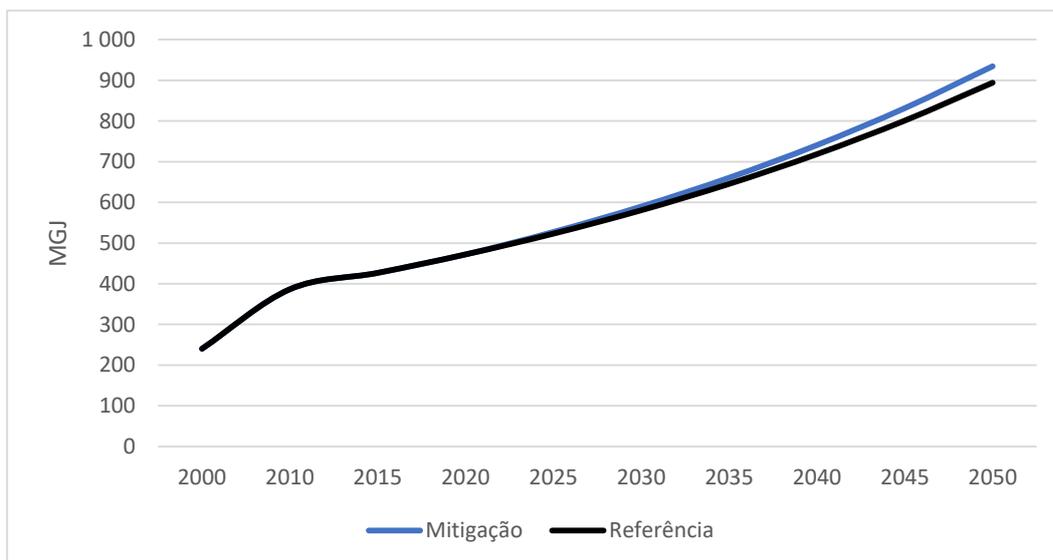
taxas de crescimento anuais médias de cerca de 2% (Consultar as Tabelas D.1 e D.2 em Anexo, para mais observações).

**Gráfico 13.** Emissões Totais nos cenários de Referência e Mitigação em Milhões de Toneladas métricas de equivalente dióxido de carbono (MtCO<sub>2</sub>eq.), 2000 a 2050



**Fonte:** Elaboração própria com base no LEAP-starter Angola

**Gráfico 14.** Uso de energia total em Angola nos cenários de Referência e Mitigação em Milhões de GJ, 2000 a 2050

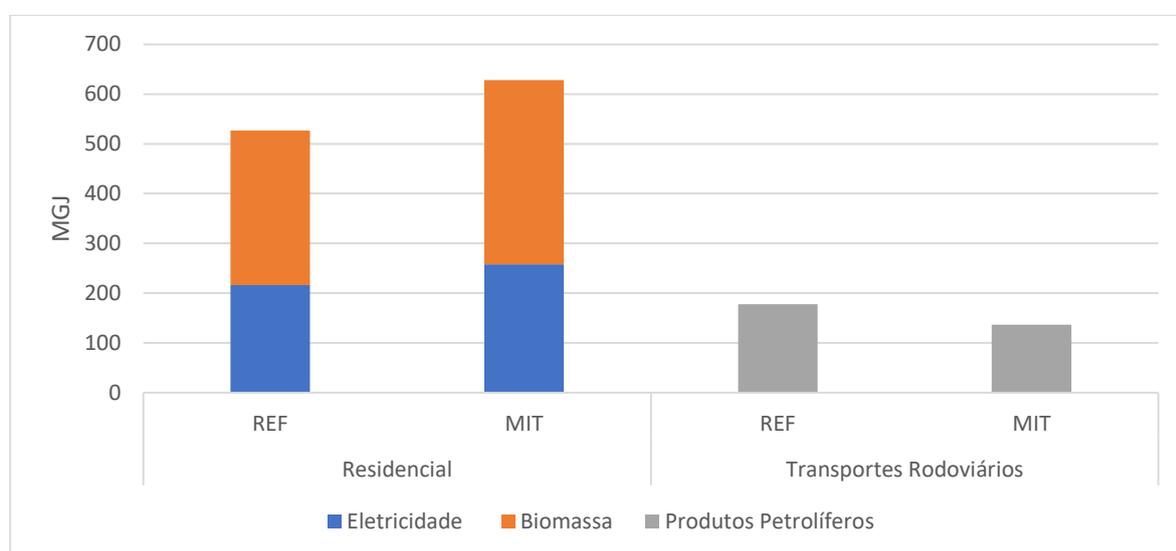


**Fonte:** Elaboração própria com base no LEAP-starter Angola

Nota-se, contudo, que neste cenário não há lugar a uma descarbonização da economia, porque a curva das emissões não decresce. As medidas descritas no presente trabalho, só servem para o cenário de descarbonização, não há nada feito no de mitigação.

As medidas vieram acompanhadas com o ficheiro LEAP-starter Angola, e não sabemos o que é que foi trabalhado pelo SEI. Em maior detalhe vê-se de seguida através do gráfico 15, a comparação dos dois cenários em 2050, por energia, para os setores mais emissores, que como descrito anteriormente no cenário de referência, eram os transportes rodoviários e residencial (Para mais observações, ver Tabela D.3 em anexo).

**Gráfico 15.** Uso de energia por energia final, setores residencial e transporte rodoviário, nos cenários de Referência e Mitigação em Milhões de GJ, em 2050



**Fonte:** Elaboração própria com base no LEAP-starter Angola

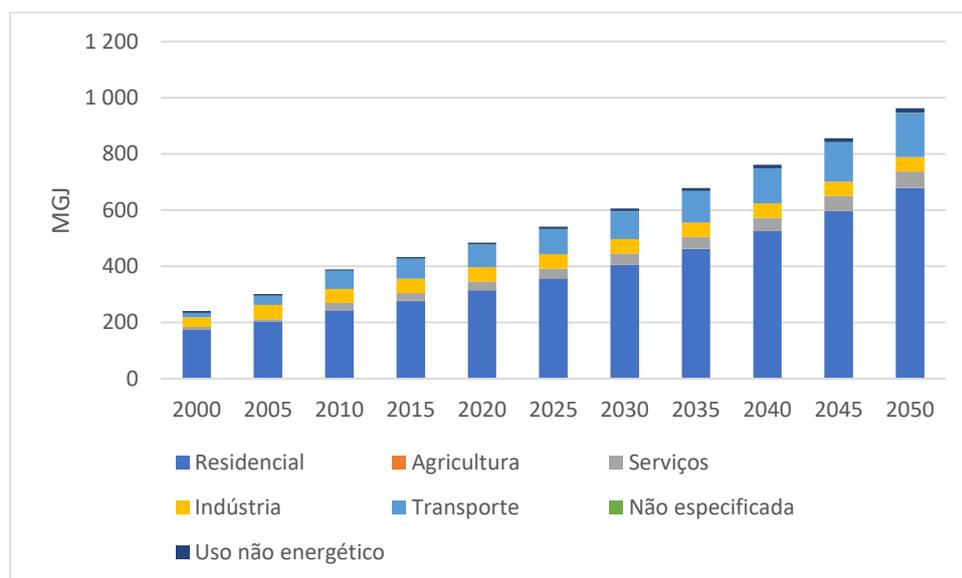
### 5.3 Cenário de Descarbonização

Após o desenvolvimento dos cenários de Referência e Mitigação, é apresentado neste ponto, a caracterização do cenário de Descarbonização e as medidas que podem contribuir para esta descarbonização.

## Uso de energia total por setor

O gráfico 16, refere-se ao uso de energia total por setor no cenário de Descarbonização. Nota-se que similar ao cenário de referência, o setor residencial é o setor que mais utiliza energia, aumentando a capacidade para 71% (678,2 milhões de Gigajoule) para o ano 2050. O setor dos transportes, continuará a ser o segundo maior consumidor com uma capacidade de 16% (157 milhões de Gigajoule), e os setores serviços e indústria registram uma menor capacidade (6% e 5% respetivamente). Constatase que o setor residencial, é o único setor em que o nível de consumo aumentou para este cenário, pelo que continua a ser nítida a importância do mesmo (Para mais informações, ver Tabela E.1 em Anexo).

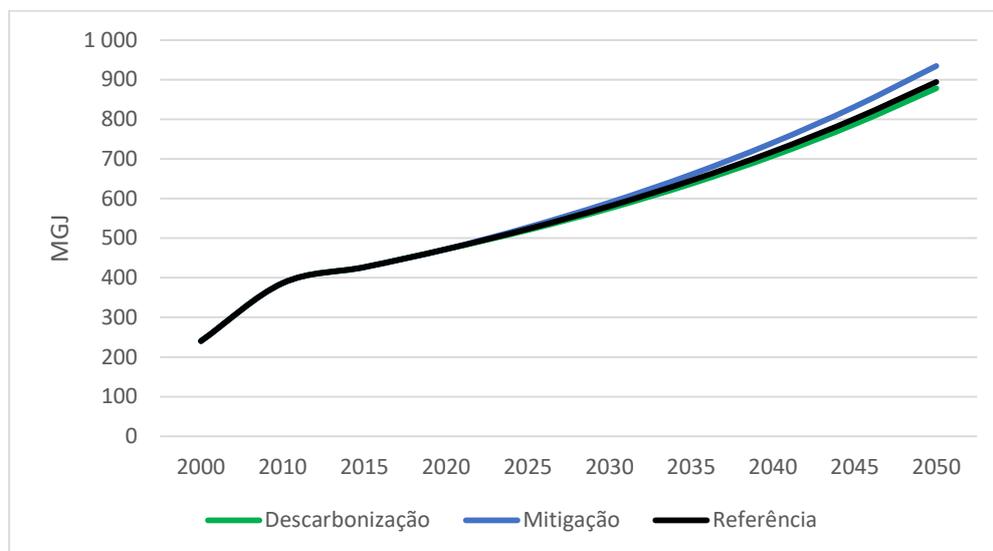
**Gráfico 16.** Uso de energia total em Angola por setor em Milhões de GJ, 2000 a 2050



**Fonte:** Elaboração própria com base no LEAP-starter Angola

Como é possível observar pelo gráfico 17, que nos apresenta uma comparação do uso de energia total em Angola nos 3 cenários, conseguiu-se com que a utilização de energia no cenário de Descarbonização, não decrescesse praticamente nada, por se ter continuado a permitir que o crescimento do uso de energia no setor residencial aumentasse, apesar de se ter reduzido o crescimento no uso de energia no setor dos transportes (Para mais observações, ver Tabela E.2 em Anexo).

**Gráfico 17.** Uso de energia total em Angola nos cenários de Referência, Mitigação e Descarbonização em Milhões de GJ, 2000 a 2050

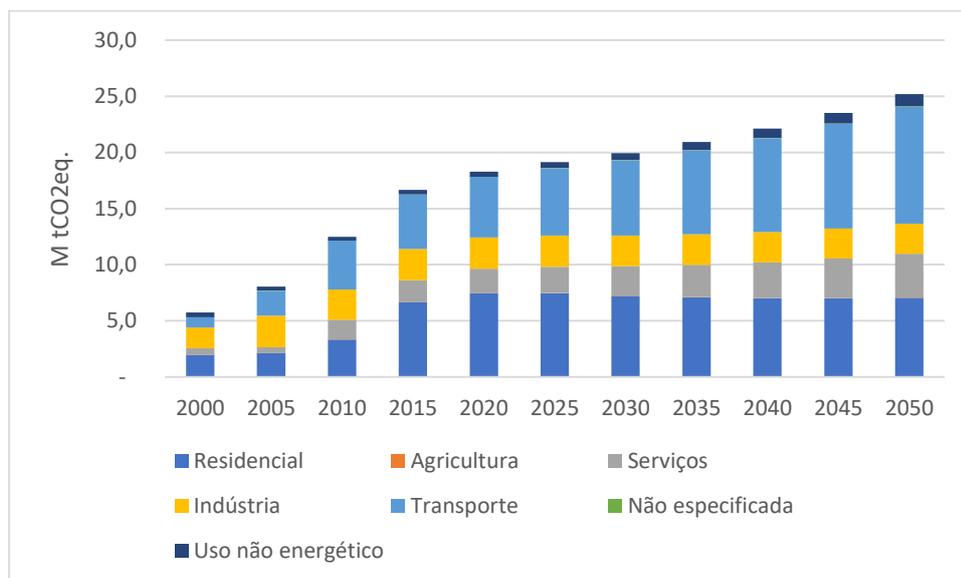


**Fonte:** Elaboração própria com base no LEAP-starter Angola

## Emissões de GEE

Tal como se pode ver no gráfico 18, os níveis de emissões de dióxido de carbono neste cenário são reduzidos em relação ao de Referência. Os setores que mais contribuem nos níveis de emissões, são os setores transportes decrescendo para 41% (10,4 MtCO<sub>2</sub>e) em 2050, enquanto que o residencial regista um valor de 28% (7,1 MtCO<sub>2</sub>e). O nível de emissões dos outros setores serão de 16% (3,9 MtCO<sub>2</sub>e) para os serviços, 11% (2,7 MtCO<sub>2</sub>e) para a indústria e 4% (1,1MtCO<sub>2</sub>e) para o uso não energético.

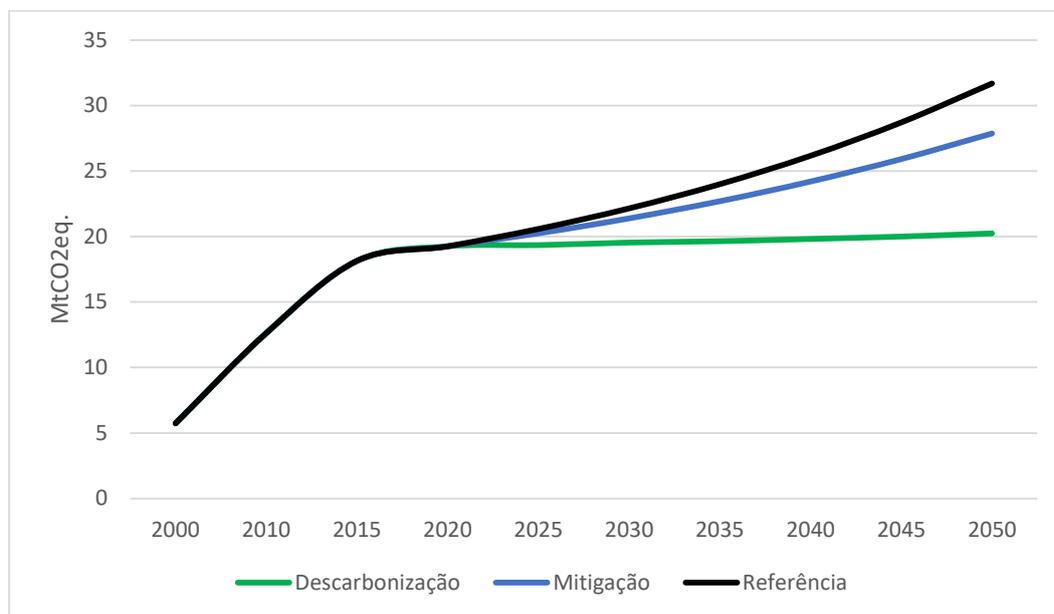
**Gráfico 18.** Emissões por setores da procura, em Milhões de Toneladas métricas de equivalente dióxido de carbono (MtCO<sub>2</sub>eq.), 2000 a 2050



**Fonte:** Elaboração própria com base no LEAP-starter Angola

Os gráficos 19 e 20 abaixo, ilustram melhor a comparação das emissões totais nos três cenários identificados, e como se pode ver no gráfico 19, a emissão final do país no cenário de descarbonização é de 20,2 Milhões de Toneladas métricas de equivalente dióxido de carbono (25%), relativamente mais reduzido em relação aos cenários de Mitigação 35 (27,9 MtCO<sub>2</sub>e) e referência 40% (31,7).

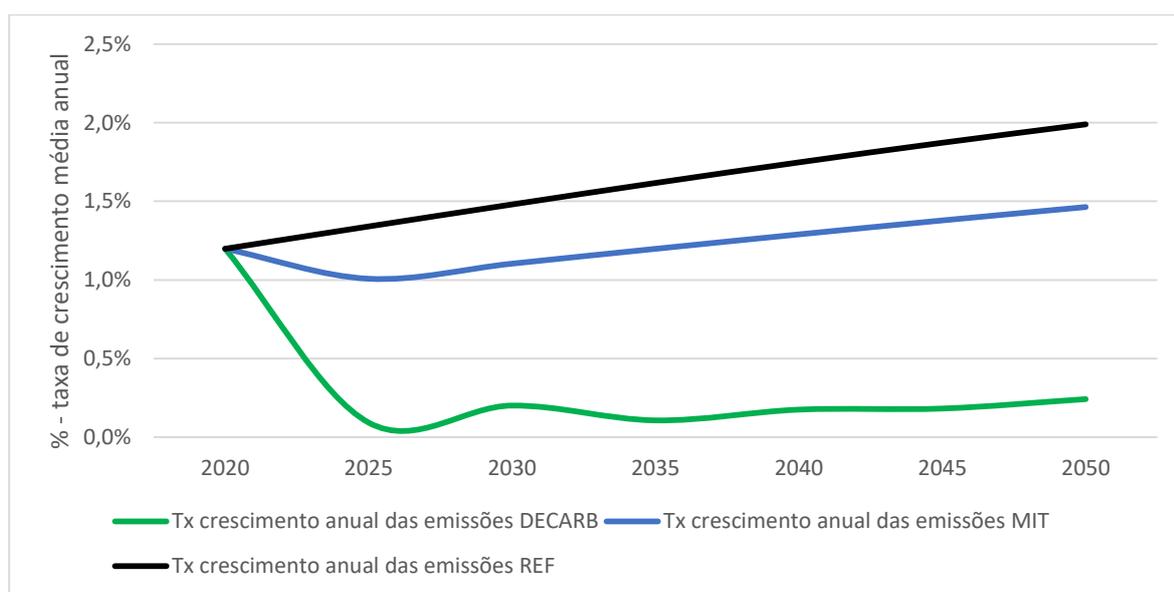
**Gráfico 19.** Emissões Totais nos cenários de Referência, Mitigação e Descarbonização em Milhões de Toneladas métricas de equivalente dióxido de carbono (MtCO<sub>2</sub>eq), 2000 a 2050



**Fonte:** Elaboração própria com base no LEAP-starter Angola

Do que é possível observar pelo gráfico 20, a taxa de crescimento de emissões associada ao cenário Descarbonização, cai a uma taxa praticamente a 0% enquanto os outros cenários registaram para ambos 2% (Para mais informações, ver Tabela E.3 em Anexo). Esta redução no cenário de Descarbonização, ocorreu por causa das medidas implementadas na sessão 5.4.

**Gráfico 20.** Taxa de crescimento anual de Emissões Totais nos cenários de REF, MIT e DESCAB em Milhões de Toneladas métricas de equivalente dióxido de carbono (MtCO<sub>2</sub>e), 2000 a 2050



**Fonte:** Elaboração própria com base no LEAP-starter Angola

## **5.4 Medidas de mitigação e Curva de custos**

Considerando o macro-cenário de descarbonização desenhado, por forma a que as emissões atinjam taxas de crescimento praticamente nulas, apresentam-se de seguida as medidas que para ele podem contribuir, cujos custos foram estimados com recurso ao GACMO, como referido.

A medida 1 respeita ao lado da oferta de energia, em concreto, produção de eletricidade centralizada, e as medidas 2, 3 e 4, ao lado da procura, nomeadamente, aos setores residencial, serviços e transportes.

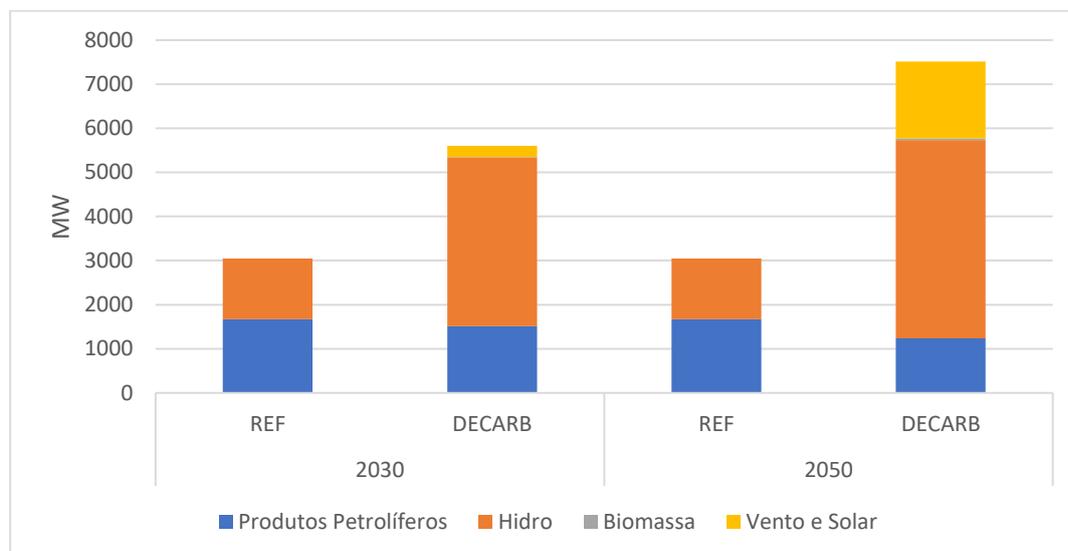
### **Medida 1. Oferta de Energia – Eletricidade**

Isto inclui tornar a produção elétrica menos emissora, através de:

1. A redução nas perdas da rede para 10% em 2050;
2. Redução da produção por petróleo em 1%/ano entre 2020 e 2050;
3. O aumento da capacidade de produção elétrica de:
  - a. Origem hídrica até 4500 MW em 2050 (de 3834 MW em 2016, a partir de 2020);
  - b. Origem biomassa, de 2MW em 2030, em 15%/ano até 2050 (+- até 32MW em 2050);
  - c. Origem eólica e solar, de 100MW em 2020, em 10%/ano até 2050 (+- até 1745MW em 2050);

É importante sublinhar que é preciso aumentar a capacidade por causa das maiores necessidades por eletricidade, portanto, a capacidade elétrica instalada nos cenários de Referência e Descarbonização se pode observar no gráfico 21.

**Gráfico 21.** Capacidade elétrica instalada nos cenários de Referência e Descarbonização em Megawatt, 2030 e 2050



**Fonte:** Elaboração própria com base no LEAP-starter Angola

Em complemento a estas medidas, associamos outras elementares para se atingirem os objetivos, incluindo nelas a produção de eletricidade de origem:

**Eletricidade hídrica:** 1 MW Energia hídrica ligada à rede principal de barragens;

**Eletricidade eólica:** 1 MW Turbinas eólicas ligadas à rede principal (on-shore);

**Eletricidade de biomassa:** 1 MW Energia de biomassa a partir de resíduos florestais;

**Rede elétrica eficiente:** Grelha mais eficiente (redução de perdas de 1 GWh);

**ANG50 eficiente-Geral (Não GACMO):** Medida de mitigação generalista criada pelo autor para colmatar as medidas em falta;

## Medida 2. Procura de Energia – Residencial

Considera-se as modificações das proporções de fontes de energia utilizadas até 2050, em: 5% solar, 40% biomassa e 55% eletricidade. Aplicou-se estas diferentes estruturas de percentagens em que se chegou, de forma que em 2050 tivesse o aspeto exposto na tabela 2.

**Tabela 2.** Fontes de energia utilizadas no setor Residencial até 2050, em %

Fonte	2000	2020	2030	2031	2050
Solar	0	0	0	0	5
Produtos Petrolíferos	3	0	0	0	0
Biomassa	96	59	59	58	40
Eletricidade	2	41	41	42	55

**Fonte:** Elaboração própria com base no LEAP-starter Angola

Associa-se nestas, as seguintes medidas:

**Fogões a lenha:** Esta medida considera o fornecimento de 1000 unidades de fogões de madeira eficientes, muito útil para as comunidades rurais;

**Casa solar:** Esta medida considera a instalação de 500 W de PVs da casa solar. Este cálculo para uma casa urbana é feito para um país com uma insolação diária de 5 horas. 3 KW de PV solar necessitarão de uma área de telhado de 20 m<sup>2</sup>;

**Fogões a carvão:** Esta medida inclui o fornecimento de 1000 unidades de Fogões a carvão eficientes, muito útil para as comunidades rurais;

**Eficiência energética geral:** Esta medida considera uma Eficiência energética no serviço (redução de 10% da procura de energia);

**Rede solar isolada:** Esta medida considera a instalação de PVs solares, pequena grelha isolada, 2 MW, 100% solar;

### **Medida 3. Procura de Energia – Serviços**

Medidas similares ao setor residencial, assumindo uma mudança na estrutura de uso de energia até 2050 por forma a atingir as proporções referidas na Tabela 3 em baixo.

**Tabela 3.** Fontes de energia utilizadas no setor Serviços até 2050, em %

Fonte	2000	2020	2030	2031	2050
Eletricidade	0	0	3	4	10
Produtos Petrolíferos	100	100	93	92	75
Gás Natural	0	0	0	0	5
Solar	0	0	3	4	10

**Fonte:** Elaboração própria com base no LEAP-starter Angola

#### Medida 4. Procura de Energia - Transportes Rodoviários

Devido ao consumo elevado de energia deste setor só de gasolina ou gasóleo, teve que se fazer um grande corte na quantidade de energia usada. Tendo isso em conta, considerou-se um pressuposto forte: o uso de energia neste setor, é de apenas 10% do crescimento de 3% considerado no cenário REF. Tentou-se 25%, mas a redução não era suficiente para equilibrar as emissões. Pode se pensar que este decréscimo será para ser substituído por uma rede ferroviária a instalar no país. Dos transportes rodoviários que ficam, considera-se ainda a introdução de veículos a Gás Natural, e elétricos, nas seguintes proporções de uso de energia:

**Tabela 4.** Fontes de energia utilizadas no setor Transportes até 2050, em %

Fonte	2020	2021	2030	2040	2050
Produtos Petrolíferos	100	100	95	89	85
Gás Natural	0	1	5	10	10
Eletricidade	0	0	0	1	5

**Fonte:** Elaboração própria com base no LEAP-starter Angola

Em associação, tem-se as seguintes medidas:

**Automóveis a gasolina:** Esta medida considera a substituição para 1000 carros a gasolina mais eficientes, incluindo medidas de manutenção, como inspeção obrigatórias, limites de tempo de vida útil, e outros regulamentos;

**Automóveis a gasóleo:** A medida proposta, considera a substituição para 1000 carros a gasóleo mais eficientes;

**Automóveis a Gás Natural:** A presente medida propõe automóveis com gás natural (1000 carros);

**Mercadorias automóvel» comboio:** A presente medida propõe a substituição da deslocação do transporte de mercadorias da estrada para comboios (1000 tonkm/dia);

**BRT:** Esta medida considera o Trânsito rápido de autocarro (1 km BRT), muito utilizado no mundo inteiro como sendo autocarros a diesel, mas altamente eficientes e com linhas específicas;

**Passageiros automóvel» comboio:** A presente medida propõe a substituição da deslocação de passageiros de carro para comboios (1Mill. personkm/dia);

**Transportes eficientes – geral (Não GACMO):** Medida de mitigação generalista criada pelo autor para colmatar as medidas em falta;

**Comboio elétrico:** Esta medida considera o trilho elétrico (1 Moinho de comboio/dia). Esta medida foi feita considerando uma alternativa que era o comboio a diesel, em boa verdade não é uma realidade ajustada à Angola, porque não tem comboio a diesel, mas para os objetivos em que se pretende atingir é suficiente;

É importante realçar que a justificação das fontes das medidas GACMO (Das quais foram associadas as medidas 1,2,3 e 4), são possíveis de serem vistas em Anexo no ponto G.

### **Curva de Custos Marginais de Abatimento**

Os custos das medidas foram obtidos do modelo GACMO, tal como referido no final da secção 4.2.2 da metodologia. Neste contexto, os valores utilizados são estandardizados, pelo que a interpretação deve ser cuidada. Pretende-se apenas representar visualmente as medidas com custos negativos (rendimentos) e positivos, por forma a proporcionar uma orientação sobre a prioridade de implementação, e o custo total da descarbonização em Angola. Na Tabela 5, seguinte, apresenta-se então os resultados relevantes para a construção da curva de custo marginal de abatimento (MACC – Marginal Abatement Cost Curve). Uma vez mais, é importante fazer uma interpretação conservadora dos valores obtidos visto que foram utilizados valores estandardizados de projetos e estudos que se supõem similares.

**Tabela 5.** Custo marginal e quantidade abatida de dióxido de carbono equivalente, por medida

Medidas	Custo de redução de emissões	Total de emissões poupadas ANG2050	Custo total de emissões poupadas ANG2050
	\$/tCO <sub>2</sub> eq.	MtCO <sub>2</sub> eq.	M \$
Mercadorias automóvel» comboio	-1534,83	0,241	-370
Fogões a lenha	-933,25	0,067	-62
Eletricidade hídrica	-358,20	1,281	-459
Eletricidade eólica	-347,05	1,997	-693
Casa solar	-215,58	0,000	0
Automóveis a gasolina	-210,55	0,020	-4
Eletricidade de biomassa	-177,33	0,073	-13
Automóveis a gásóleo	-158,53	0,009	-1
Automóveis a Gás Natural	-111,59	0,078	-9
Fogões a carvão	-62,01	0,015	-1
Transportes eficientes - geral	0,00	54,785	0
ANG50 eficiente - geral	0,00	54,985	0
Eficiência energética geral	0,94	20,115	19
BRT	89,46	1,983	177
Rede elétrica eficiente	145,24	19,268	2798
Rede solar isolada	221,44	0,026	6
Passageiros automóvel » comboio	1961,84	0,355	696
Comboio elétrico	3950,93	0,328	177
TOTAL	-	155,63	3380

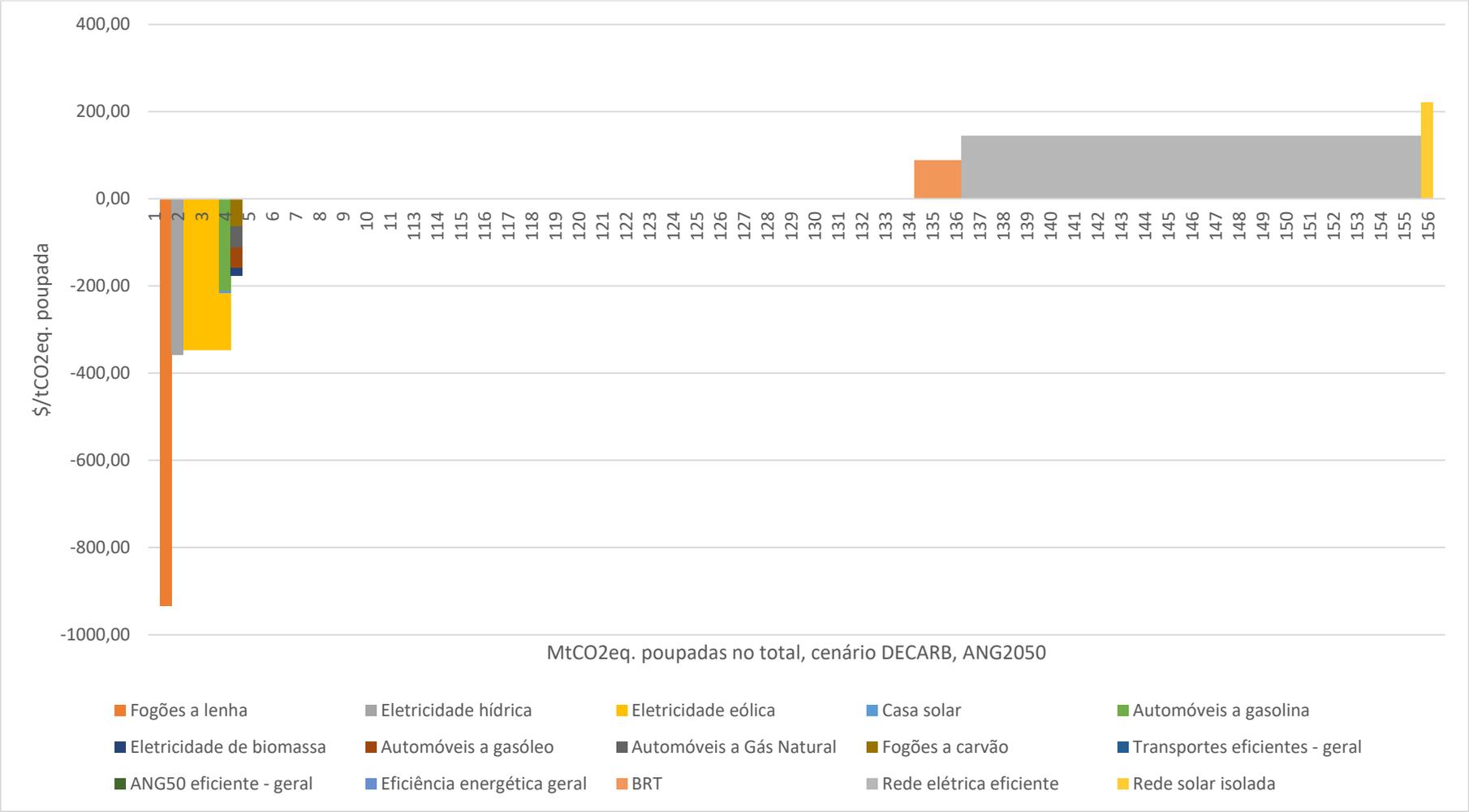
**Fonte:** Elaboração própria com base no GACMO

Neste ponto há que destacar as medidas relativas a “Transportes eficientes – geral”, e “ANG50 eficiente – geral”, pois não fazem parte do pacote de medidas disponibilizadas no GACMO, ao contrário de todas as outras. Estas medidas foram incluídas para colmatar as quantidades de emissões que estavam em falta, e atingir o total de 155,63 MtCO<sub>2</sub>eq. conforme referido na tabela 5.

Note-se que as medidas de custo negativo traduzem ganhos líquidos, ou rendimentos, da poupança de energia, essencialmente. Não está considerada a inclusão de qualquer preço de carbono. O total traduz a soma de todas as medidas com rendimentos e com custos líquidos (Para mais observações, ver Tabela F.6 em Anexo).

De forma gráfica, a Curva de Custo Marginal de Abatimento, no gráfico 22, demonstra de forma mais clara a importância das medidas, em termos do potencial individual de abatimento e do respectivo custo.

**Gráfico 22.** Custos marginais de abatimento de emissões em Angola, 2050



Fonte: Elaboração própria com base no LEAP-starter Angola

Tal como se pode ver no gráfico 22, as medidas fogões a lenha, fogões a carvão, eletricidade hídrica, eletricidade eólica, eletricidade Biomassa, automóveis a gás natural, gasóleo, gasolina e finalmente a casa solar, são as que revelaram ser as mais importantes para a implementação no país, por apresentarem custos negativos. Tipicamente, este tipo de investimentos consegue-se facilmente recuperar após o período de aplicação. A BRT, a rede elétrica eficiente e a rede solar isolada, suportam maiores custos, o que constituem um grande desafio para o país. Nota-se que as medidas transportes eficientes geral e ANG50 eficiente geral, não se refletem perfeitamente no gráfico, por suportarem custos 0 \$ (zero), lembrar que são duas medidas de mitigação generalistas criadas para colmatar as medidas em falta, por forma a atingir as reduções de emissões previstas no modelo, em função de algumas alternativas consideradas no modelo que era o comboio a diesel, que não se ajusta a realidade Angolana.

E por esta razão, nota-se que as medidas comboio elétrico, a substituição de Mercadorias automóvel para comboios, e a substituição de Passageiros automóvel para comboios, foram excluídas do gráfico 20, por apresentarem custos muito elevados. Contudo, com as medidas descritas anteriormente, calcula-se que o país poupe, no cenário de Descarbonização, em relação a Referência, um total de 156 MtCO<sub>2</sub>eq., com um custo total emissões poupadas estimado, com medidas de estandardizadas, de 3380 Milhões de dólares.

## 5.5 Discussão final de resultados

Os resultados apresentados nas secções anteriores, nos permitem fazer uma caracterização dos cenários futuros, para um desenvolvimento com emissões reduzidas de carbono. Dos cenários apresentados, o cenário de Descarbonização, projeta, uma melhor trajetória para o desenvolvimento de baixo carbono em Angola, através de estratégias e medidas adicionais tal como proposto neste estudo. Nota-se, entretanto, que a projeção da tendência de emissões no cenário de Referência e Mitigação, é crescente com taxas de crescimento anuais médias de cerca de 2%, diferente do cenário de Descarbonização em que a taxa de crescimento de emissões, cai a uma taxa praticamente a 0% (Ver gráfico 20).

A oferta de eletricidade em Angola para o cenário de Referência, será essencialmente caracterizado pela fonte Hidro com a capacidade de 57%, seguida dos produtos petrolíferos com a capacidade de produção de 43%. Dado importante, visto que a energia elétrica é um campo em que mais se pretende melhorar em Angola (MINEA, 2018).

No que respeita aos cenários de Referência e de Mitigação em termos comparativos, observa-se que o uso de energia é quase igual em ambos os cenários, e até ligeiramente maior em Mitigação o que traduz num maior acesso a energia, numa projeção de melhor, e maior, desenvolvimento sustentável (Ver Gráfico 14 e 15). Ainda assim, observa-se no cenário de Mitigação níveis inferiores de emissões em relação à Referência, porém, por se manterem crescentes, leva-nos rejeitar a hipótese de descarbonização para este cenário (Ver Gráfico 13). O presente estudo olhou para o cenário de Descarbonização, como o cenário que transpõe um certo nível de otimismo, em função das medidas propostas. Se tenta com estas medidas, reduzir as taxas de crescimento das emissões a quase 0%, com o propósito de uma descarbonização a sério. No entanto, este cenário aconselha que se, o governo Angolano tenciona alcançar reduções na procura de energia e nas emissões de gases de efeito de estufa, é preponderante que enfrente os vários desafios, com implementações de medidas necessárias para estes alcances. Acreditamos que o setor residencial, deve relevar a melhoria da eficiência das tecnologias de energia como fogões a lenha, casa solar, fogões a carvão, eficiência energética geral, e rede solar isolada. Estas tecnologias constituem excelentes alternativas para serem introduzidas na matriz energética residencial, e para as políticas nacionais de energia.

Para o setor de transporte, a substituição para veículos a gasóleo ou a gasolina mais eficiente, a introdução de veículos a Gás Natural e elétricos, o uso de sistemas de transporte público como os Comboios elétricos, Trânsito rápido de autocarro (BRT) ou mesmo a instalação uma rede ferroviária que

liga o país, precisam ser fomentados e popularizado pelo governo Angolano, e isto permitirá uma maior mobilidade e uma aceleração no processo económico. No que respeita a oferta de Energia, é preponderante tornar a produção elétrica menos emissora, isso através da redução da produção por petróleo em 1%/ ano, e para isso deve-se pensar nas diferentes escapatórias de receitas para o país. O aumento da capacidade de produção elétrica de origem hídrica, eólica e solar, estas consideradas como alternativas limpas, constituem uma excelente oportunidade de redução dos custos de produção.

Os resultados deste estudo, calcula que o país poupe, no cenário de Descarbonização, em relação a Referência, um total de 156 MtCO<sub>2</sub>eq., com um custo total emissões poupadas estimado, com medidas de standardizadas, de 3380 Milhões de dólares, portanto, se reconhece que o valor seja extremamente elevado. É importante fazer uma interpretação conservadora dos valores obtidos na tabela 5, visto que foram utilizados valores standardizados de projetos e estudos que se supõem similares. Muitas destas ações das medidas identificadas, como é o caso dos transportes, em específico os comboios elétricos consideram como alternativa o comboio a diesel, o que não se ajusta com a realidade Angolana. Os valores identificados na tabela 5, permite-nos fazer uma avaliação de modo a termos uma noção dos mesmos. Estes são os valores que são reconhecidos internacionalmente, e que são aceites pelas Nações Unidas, quando há falta de informações como é o caso de Angola. Em complemento, a análise bottom-up, das medidas, é feita com recurso a outros exemplos, pelo que todas as assunções desta parte do cálculo devem ser revistas à luz de dados locais, que não nos foi possível obter. Este valor apenas é útil para nos fornecer uma visão geral do potencial total de redução, pois nos apresenta um alto nível de incerteza.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A economia de baixo carbono, tornou-se o pilar para a formulação de medidas, para eliminar os gases de efeito estufa, e outros atores desfavoráveis associados aos processos industriais, pelo que se considera pertinente esta temática. Para Angola, um desenvolvimento de baixo carbono no futuro em particular no sistema energético, estará estreitamente relacionado com as estratégias de energia eficientes e sustentáveis.

O presente estudo, desenvolveu três cenários para o setor energético em Angola até o ano 2050, e duas conclusões podem ser retiradas de forma objetiva:

1. Para um país em desenvolvimento como Angola, o desenvolvimento de baixo carbono, é um processo desafiante e que pode ser alcançado à médio ou longo prazo, mediante esforços do país em descarbonizar, melhorando às políticas de eficiência energética.

2. As políticas estratégicas implementadas no modelo LEAP de Angola e com o auxílio da Greenhouse gas Abatement Cost Model (GACMO), terão um impacto significativo no consumo de energia e nas emissões de gases de efeitos de estufa.

De modo geral, o nosso estudo começou por fazer uma caracterização de Angola, abordando sobre os aspetos socioeconómicos e também as tendências de emissões do país, com objetivo de se contruir os cenários. Utilizou-se o modelo LEAP, para contruir os cenários de baixo carbono, originando assim os cenários de Referência, Mitigação e o de Descarbonização. Assim sendo, constatou-se no cenário de Referência que a procura de energia, em 2050 será de 894,1 milhões de Gigajoule, registando uma taxa de crescimento nas emissões de 2%, sendo que o setor que mais emitirá emissões será o setor transporte com 45%. Para os restantes cenários, notou-se que o cenário de Mitigação seguirá quase a mesma a tendência de consumo de energia do cenário de Referência, com 935 milhões de Gigajoule. Embora inferior que o cenário de Referência, o cenário de Mitigação apresenta níveis crescentes nas emissões, pelo que neste cenário não houve lugar a uma descarbonização da economia. O cenário de Descarbonização, demonstrou ser mais otimista, sendo que os resultados apresentam uma taxa crescimento anual das emissões em quase 0%. Em função disto, foram avaliadas diferentes medidas, em que consistiam na passagem de uma economia de energia limpa, garantindo a melhoria da eficiência das tecnologias de energia, e que sejam capazes de tornar a produção elétrica menos emissora.

Os resultados da análise de Custos Marginais de Abatimento para os cenários, permitiu-nos analisar individualmente cada medida de forma estandardizada a partir do modelo GACMO. Notou-se, contudo, que as medidas as que revelaram ser as mais importantes para a implementação no país, por suportarem custos negativos e por serem mais rentáveis foram fogões a lenha, fogões a carvão, eletricidade hídrica, eletricidade eólica, eletricidade Biomassa, automóveis a gás natural, gasóleo, gasolina e finalmente a casa solar. Por sua vez, calcula-se que o país poupe, no cenário de Descarbonização, em relação a Referência, um total de 156 MtCO<sub>2</sub>eq., com um custo total emissões poupadas estimado, com medidas de estandardizadas, de 3380 Milhões de dólares. Admitimos que o valor estimado é demasiado alto, e isso é sustentado pela explicação de que a análise dos custos baseou-se num estudo já elaborado pelo GACMO, este valor apenas é útil para nos fornecer uma visão geral do potencial total de redução. Em função das medidas analisadas, constatamos que no lado da procura, os setores residencial e transporte demonstram ser os setores preponderantes para o desenvolvimento de baixo carbono.

Todavia, as medidas apresentadas neste estudo, levam-nos a conclusão de que Angola precisa de implementar nas suas políticas de energia, alinhado ao plano de desenvolvimento económico, vários recursos de energia limpas, de modo que consiga a medio ou longo prazo, uma procura e oferta de energia sustentável, procurando a geração de energia a partir de fontes renováveis. Reconhecemos que não será um processo fácil para Angola alcançar um desenvolvimento de baixo carbono, pois, consideramos que exista em torno disso um desafio, tanto a nível de custo (Custo de tecnologia e da energia renovável), como também na realidade socioeconómica do país. Mas, como sugere Emodi et al. (2017), isso poderia ser resolvido se o governo implementasse alguns incentivos fiscais, como redução de impostos e exceção para importações de tecnologia de energia limpa, subsídios e empréstimos para a compra de energia renovável e conscientização pública para aumentar os juros sobre o benefício de tecnologias de energia limpa.

Portanto, o alcance de um desenvolvimento de baixo carbono, necessita de uma ação conjunta em que todos os intervenientes tais como, o governo, empresas, consumidores, e pesquisadores devem trabalhar para a sua concretização, garantindo assim um desenvolvimento e crescimento económico bem como o meio ambiente saudável e sustentável.

Ao longo da elaboração da presente dissertação, obtivemos alguns pressupostos e limitações do estudo:

- Em função do horizonte temporal do nosso estudo, é fundamental suportar o nível de incerteza relacionado aos resultados, pois a modelagem é baseada em premissas em que se levam consideração as taxas de crescimento económico e a evolução populacional;
- As taxas de crescimento do PIB podem vir a variar, alterando o cálculo de emissões dos setores produtivos (indústria e serviços, principalmente);
- Não se consideraram centrais elétricas a gás natural, o que pode ser uma possibilidade;
- Não se analisaram as necessidades de aumento de capacidade elétrica que seja necessário por causa da introdução do transporte ferroviário;
- A análise bottom-up, das medidas, é feita com recurso a outros exemplos, pelo que todas as assunções desta parte do cálculo devem ser revistas à luz de dados locais, que não nos foi possível obter;
- Na MACC as medidas foram retiradas do GACMO, pelo que não estão exatamente ajustadas à realidade do país;
- Foram criadas duas medidas de mitigação generalistas (Transportes eficientes e ANG50 eficiente - geral) para colmatar as medidas em falta, por forma a atingir as reduções de emissões previstas no modelo. Os custos associados a estas medidas foram de 0 \$ (zero) pois considera-se que em 30 anos, de alguma forma, estarão incluídas medidas de custos mais altos, e outros mais baixos, que no final se equilibram em 0.

Numa perspetiva futura, e como complemento da investigação aqui realizada, pretende-se considerar todas as limitações e pressupostos encontrados, que certamente influenciarão os resultados do nosso estudo, e que nos permitirão chegar ainda mais próximo do objetivo proposto. Idealmente cada análise de cada medida deveria ser ajustada à realidade local, de Angola, nomeadamente no que respeita aos preços da energia, mix elétrico, custos de investimento, de operação e manutenção. No entanto tal trabalho corresponde a uma análise de projeto de investimento individual, por medida, que sai fora do âmbito desta dissertação, pelo que o deixamos também para momentos futuros.

## BIBLIOGRAFIA

Ainger, C. M., & Fenner, R. A. (2014). *Sustainable infrastructure: principles into practice*. ICE publishing London, UK.

African Development Bank, 2021. Angola Economic Outlook, em: <https://www.afdb.org/en/countries/southern-africa/angola/angola-economic-outlook>.

Agência Portuguesa do Ambiente. (2012). Roteiro Nacional de Baixo Carbono 2050, Opções de transição para uma economia de baixo carbono competitiva em 2050. *Agência Portuguesa Do Ambiente*.

Barros, C. P., & Wanke, P. (2017). Efficiency in Angolan thermal power plants: Evidence from cost structure and pollutant emissions. *Energy*, *130*, 129–143. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.04.114>.

Bazilian, M., Nussbaumer, P., Rogner, H., Brew-hammond, A., Foster, V., Pachauri, S., Williams, E., Howells, M., Niyongabo, P., Musaba, L., Gallachóir, B. Ó., Radka, M., & Kammen, D. M. (2012). Energy access scenarios to 2030 for the power sector in sub-Saharan Africa. *Utilities Policy*, *20*(1), 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2011.11.002>.

Britannica, The Editors of Encyclopaedia. "Paris Agreement". Encyclopedia Britannica, 27 January 2021, <https://www.britannica.com/topic/Paris-Agreement-2015>.

Cai, W., Ā, C. W., Chen, J., Wang, K., Zhang, Y., & Lu, X. (2020). *Comparison of CO<sub>2</sub> emission scenarios and mitigation opportunities in China ' s five sectors in 2020*. *36*(2008), 1181–1194. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.11.030>.

Climate Watch, 2020. Global Historical Emissions, em: [https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?breakBy=countries&calculation=ABSOLUTE\\_VALUE&chartType=line&end\\_year=2018&gases=co2&regions=AGO&sectors=energy&start\\_year=2000](https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?breakBy=countries&calculation=ABSOLUTE_VALUE&chartType=line&end_year=2018&gases=co2&regions=AGO&sectors=energy&start_year=2000), Consultado a: 19 de Junho de 2020.

Climate Change, 2019. Climate Change in the American Mind: December 2018, em: <https://climatecommunication.yale.edu/publications/climate-change-in-the-american-mind-december-2018/2/>. Consultado a: 2 de junho de 2021.

Connolly, D., Lund, H., Mathiesen, B. V., & Leahy, M. (2010). A review of computer tools for analysing the integration of renewable energy into various energy systems. *Applied Energy*, *87*(4), 1059–1082. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.09.026>.

Cormio, C., Dicatorato, M., Minoia, A., & Trovato, M. (2003). A regional energy planning methodology including renewable energy sources and environmental constraints. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *7*(2), 99–130. [https://doi.org/10.1016/S1364-0321\(03\)00004-2](https://doi.org/10.1016/S1364-0321(03)00004-2).

Dedinec, A., Markovska, N., Taseska, V., & Duic, N. (2020). Assessment of climate change mitigation potential of the Macedonian transport sector. *Energy*, *57*(2013), 177–187. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.05.011>.

Desgain, D., & Jørgen, F. (2020). *Introduction and guidelines to the Greenhouse Gas Abatement Cost Model (GACMO)*. UNEP DTU Partnership, *November*, 1–22.

du Can, S. de I. R., & Price, L. (2008). Sectoral trends in global energy use and greenhouse gas emissions. *Energy Policy*, *36*(4), 1386–1403. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421507005502>.

- Dudek, D., Golub, A., & Strukova, E. (2003). Ancillary Benefits of Reducing Greenhouse Gas Emissions in Transitional Economies. *World Development*, 31(10), 1759–1769. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0305-750X\(03\)00139-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0305-750X(03)00139-6).
- Ellis, J., Winkler, H., Corfee-Morlot, J., & Gagnon-Lebrun, F. (2007). CDM: Taking stock and looking forward. *Energy Policy*, 35(1), 15–28. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enpol.2005.09.018>.
- Emodi, N. V., Emodi, C. C., Murthy, G. P., & Emodi, A. S. A. (2017). Energy policy for low carbon development in Nigeria: A LEAP model application. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68(October 2016), 247–261. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.118>.
- ENAC-Angola. (2017). Estratégias Nacional para as Alterações Climáticas 2018-2030. *Ministério Do Ambiente*, Agosto, 1–118. [https://info.undp.org/docs/pdc/Documents/AGO/ENAC%202018-2030\\_14082017.pdf](https://info.undp.org/docs/pdc/Documents/AGO/ENAC%202018-2030_14082017.pdf).
- Fay, M., Hallegatte, S., Vogt-Schilb, A., Rozenberg, J., Narloch, U., & Kerr, T. (2015). *Decarbonizing development: Three steps to a zero-carbon future*. World Bank Publications.
- França, C. I. F., Zapparoli, I. D., & Filho, U. A. S. (2017). ZONA DO EURO: Estrutura produtiva e emissões de gases do efeito estufa. *Geosul, Florianópolis*, 33, 118–139. <http://dx.doi.org/10.5007/2177-5230.2018v33n67p118>.
- Garg, A., Kazunari, K., & Pulles, T. (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. *JP Hayama*, 2, Chap 1. [https://doi.org/10.1016/S0167-5060\(08\)70670-8](https://doi.org/10.1016/S0167-5060(08)70670-8).
- Gerard, T., Hamilton, A., & Kelly, S. (2017). Low carbon energy scenarios for sub-Saharan Africa : An input-output analysis on the effects of universal energy access and economic growth. *Energy Policy*, 105(February), 303–319. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.02.012>.
- Gielen, D. (2017). *Perspectives for the Energy Transition Investment Needs for a Low-Carbon Energy System*. [https://books.google.pt/books?hl=en&lr=&id=VQQ7CgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&ots=UFkgaKilHh&sig=C1os4xYQBjdziH7jfrNaleYZfo&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.pt/books?hl=en&lr=&id=VQQ7CgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&ots=UFkgaKilHh&sig=C1os4xYQBjdziH7jfrNaleYZfo&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false).
- Gillingham, K., & Stock, J. H. (2018). The cost of reducing greenhouse gas emissions. *Journal of Economic Perspectives*, 32(4), 53–72.
- Handayani, K., Krozer, Y., & Filatova, T. (2017). *Trade-offs between electrification and climate change mitigation: An analysis of the Java-Bali power system in Indonesia*. 208(August), 1020–1037. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.09.048>.
- Hughes, N., & Strachan, N. (2010). Methodological review of UK and international low carbon scenarios. *Energy Policy*, 38(10), 6056–6065. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.05.061>.
- IEA-International Energy Agency, 2018. Key energy statistics, em: <https://www.iea.org/countries/angola#analysis>, Consultado a: 5 de julho de 2021.
- INE-Angola, 2021. Estatística sociais, em: <https://www.ine.gov.ao/inicio/estatisticas>, Consultado a: 1 de Fevereiro de 2021.
- International Union for Conservation of Nature (IUCN), 2021. Forests and climate change, em: <https://www.iucn.org/resources/issues-briefs/forests-and-climate-change>, Consultado a: 5 de julho de 2021.
- Journal, I., & Page, R. S. (2002). Low-Emission Energy Outlook in Small Island Developing States – The case of Sao Tome and Principe. *Journal of Environmental Planning and Management*, 3, 2–16.

- Kumar, S. (2016). Assessment of renewables for energy security and carbon mitigation in Southeast Asia: The case of Indonesia and Thailand. *Applied Energy*, 163, 63–70. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.11.019>.
- Kumar, A., Sah, B., Singh, A. R., Deng, Y., He, X., & Kumar, P. (2017). A review of multi criteria decision making ( MCDM ) towards sustainable renewable energy development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69(November 2016), 596– 609. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.191>.
- LEAP Help, em:<https://leap.sei.org/help/leap.htm#t=Concepts%2FIntroduction.htm>. Consultado a: 12 de Junho de 2020.
- Leite, A., Cáceres, A., Melo, M., Mills, M. S. L., & Monteiro, A. T. (2018). Reducing emissions from Deforestation and forest Degradation in Angola: Insights from the scarp forest conservation ‘hotspot.’ *Land Degradation and Development*, 29(12), 4291–4300. <https://doi.org/10.1002/ldr.3178>.
- McCarthy, J. J., Canziani, O. F., Leary, N. A., Dokken, D. J., & White, K. S. (2001). *Climate change 2001: impacts, adaptation, and vulnerability: contribution of Working Group II to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Vol. 2). Cambridge University Press.
- McKinsey & Company. (2009). Pathways to an Energy and Carbon Efficient Russia. *McKinsey & Company*, 16. <https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability/our-insights/greenhouse-gas-abatement-cost-curves>.
- McKinsey & Company. (2013). Pathways to a low-carbon economy: Version 2 of the global greenhouse gas abatement cost curve. *McKinsey & Company*, 1–192. <https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability/our-insights/pathways-to-a-low-carbon-economy?cid=eml-web>.
- MINEA. (2018). Angola Energia 2025. *Ministério Da Energia e Águas*, 13. <http://www.angolaenergia2025.com/pt-pt/conteudo/geracao-0>.
- Ouedraogo, N. S. (2017). Modeling sustainable long-term electricity supply-demand in Africa. *Applied Energy*, 190, 1047–1067. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.12.162>.
- Our World in Data, 2017. How much will it cost to mitigate climate change?, em: <https://ourworldindata.org/how-much-will-it-cost-to-mitigate-climate-change>, Consultado a: 9 de julho de 2021.
- Papadis, E., & Tsatsaronis, G. (2020). Challenges in the decarbonization of the energy sector. *Energy*, 205, 118025. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118025>.
- Pegels, A. (2010). Renewable energy in South Africa : Potentials , barriers and options for support. *Energy Policy*, 38(9), 4945–4954. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.03.077>.
- República de Angola Ministério da energia. (2018). *Projecto de Elaboração do Plano Director de Desenvolvimento do Sector Electrico na República de Angola Relatório Final Dezembro de 2018*.
- Shukla, P. R. (1995). Greenhouse gas models and abatement costs for developing nations: A critical assessment. *Energy Policy*, 23(8), 677–687. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0301-4215\(95\)00062-N](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0301-4215(95)00062-N).
- SHUKLA, P. R., DHAR, S., & MAHAPATRA, D. (2008). Low-carbon society scenarios for India. *Climate Policy*, 8(sup1), S156–S176. <https://doi.org/10.3763/cpol.2007.0498>.
- Sousa, R., Mourão, I., & Cavalheiro, G. (2016). *Estudo viabilidade de opções de desenvolvimento de baixo carbono*, São Tomé e Príncipe.

- Suganthi, L., & Samuel, A. A. (2012). Energy models for demand forecasting—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *16*(2), 1223–1240. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84855292182&origin=inward&txGid=806d4de780a262b24404b3a3b26d230d>.
- Tao, Z., Zhao, L., & Changxin, Z. (2011). Research on the prospects of low-carbon economic development in China based on LEAP model. *Energy Procedia*, *5*, 695–699. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610211010599>.
- United Nations. (2016). Aggregate effect of the intended nationally determined contributions: an update. 07126(May), 1–75.
- United Nations- Climate Change, 2016. Synthesis report on the aggregate effect of INDCs, em :<https://unfccc.int/process/the-paris-agreement/nationally-determined-contributions/synthesis-report-on-the-aggregate-effect-of-intended-nationally-determined-contributions>.
- Urban, F., Benders, R. M. J., & Moll, H. C. (2007). Modelling energy systems for developing countries. *Energy Policy*, *35*(6), 3473–3482. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enpol.2006.12.025>.
- Viebahn, P., Lechon, Y., & Trieb, F. (2011). The potential role of concentrated solar power ( CSP ) in Africa and Europe – A dynamic assessment of technology development , cost development and life cycle inventories until 2050. *Energy Policy*, *39*(8), 4420– 4430. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.09.026>.
- WayCarbon, 2017. Economia de Baixo Carbono: 5 passos para chegarmos lá, em: <https://blog.waycarbon.com/2017/06/passos-para-economia-de-baixo-carbono/>, Consultado a: 10 de julho de 2020.
- Weisser, D. (2004). *On the economics of electricity consumption in small island developing states : a role for renewable energy technologies ?* *Energy Policy*, *32*, 127–140. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(03\)00047-8](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(03)00047-8).
- Worldbank, 2020. The World Bank in Angola, em: <https://www.worldbank.org/en/country/angola/overview#>, Consultado a: 9 de julho de 2021.
- Word Economic Forum, 2015. What's the path to deep decarbonization, em: <https://www.weforum.org/agenda/2015/12/whats-the-path-to-deep-decarbonization/>. Consultado a :14 de junho de 2021.
- Worrell, E., Bernstein, L., Roy, J., Price, L., & Harnisch, J. (2009). Industrial energy efficiency and climate change mitigation. *Energy Efficiency*, *2*(2), 109.
- Xiu, Y., Xue-chun, W., & Ze-yu, Z. (2018). ScienceDirect Development path of Chinese low-carbon cities based on index evaluation. *Advances in Climate Change Research*, *9*(2), 144–153. <https://doi.org/10.1016/j.accre.2018.05.004>.
- Yang, X., Teng, F., Xi, X., Khayrullin, E., & Zhang, Q. (2018). Cost – bene fi t analysis of China ' s Intended Nationally Determined Contributions based on carbon marginal cost curves. *Applied Energy*, *227*(January 2017), 415–425. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.08.016>.
- Zhang, L., Feng, Y., & Chen, B. (2011). Alternative scenarios for the development of a low-carbon city: A case study of Beijing, China. *Energies*, *4*(12), 2295–2310. <https://doi.org/10.3390/en4122295>.
- Zhou, Y., Hao, F., Meng, W., & Fu, J. (2014). Scenario analysis of energy-based low-carbon development in China. *Journal of Environmental Sciences*, *26*(8), 1631–1640. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jes.2014.06.003>.

## ANEXOS

### A. ANGOLA-ENERGIA E EMISSÕES

**Tabela A.1:** Projeção da quantidade de energia a ser produzida anualmente em GWh

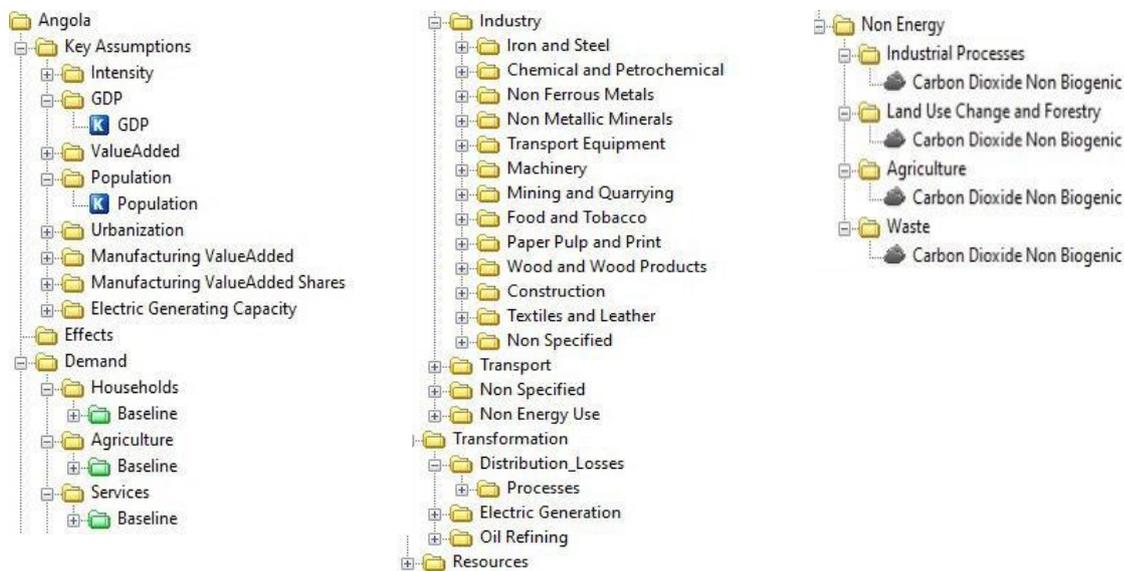
<b>Ano</b>	<b>Região Norte</b>	<b>Região Centro</b>	<b>Região Sul</b>	<b>Região Leste</b>	<b>Todo País</b>
2016	9.522	1.325	673	208	11.728
2020	15.977	2.860	1.329	453	20.619
2025	22.183	4.366	2.485	1.241	30.275
2030	29.685	6.347	3.774	1.723	41.529
2035	36.805	8.790	5.279	2.442	53.316
2040	43.236	11.518	7.015	2.309	64.979

**Tabela A.2:** Emissões de dióxido de carbono de Angola incluindo Florestas (LUCF) em milhões de toneladas métricas de CO<sub>2</sub>e, ano 2000

<b>Procura</b>	5,2
Residencial	1,7
Agricultura	0,0
Serviços	0,7
Indústria	1,8
Transporte	1,0
<b>Transformação</b>	0,5
Geração elétrica	0,5
<b>Não Energia</b>	141,5
Processos Industriais	0,1
Mudança de Uso do Território e Silvicultura	112,3
Agricultura	28,4
Resíduos	0,7
<b>Total</b>	147,2

## B. METODOLOGIA

**Figura B.1:** Árvore do modelo LEAP de Angola



## C. CENÁRIO DE REFERÊNCIA

**Tabela C.1:** Uso de energia total em Angola por setor em Milhões de GJ, 2000 a 2050

	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Residencial	174,2	203,1	238,6	263,4	290,9	321,1	354,6	391,5	432,2	477,2	526,9
Agricultura	0,0	0,1	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Serviços	10,0	7,8	26,2	30,4	35,2	40,8	47,3	54,9	63,6	73,7	85,5
Indústria	34,1	51,0	50,9	50,9	50,9	50,9	50,9	50,9	50,9	50,9	50,9
Transporte	14,9	33,5	65,2	75,6	87,7	101,6	117,8	136,6	158,3	183,5	212,8
Não especificada	-	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6
Uso não energético	7,1	5,2	5,1	5,9	6,8	7,9	9,2	10,6	12,3	14,3	16,5
Total	240,3	300,9	386,5	426,8	472,1	523,1	580,6	645,4	718,5	801,0	894,1

**Tabela C.2:** Uso de energia total em Angola por energia final

	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Eletricidade	4,2	7,6	101,3	111,4	122,7	135,1	148,8	163,9	180,6	199,1	219,4
Gás Natural	19,8	25,6	23,9	23,9	23,9	23,9	23,9	23,9	23,9	23,9	23,9
Produtos Petrolíferos	45,4	70,1	115,5	131,0	148,9	169,6	193,7	221,6	253,9	291,4	334,9
Biomassa	170,9	197,5	145,8	160,4	176,6	194,5	214,2	236,0	260,0	286,5	315,8
Total	240,3	300,9	386,5	426,8	472,1	523,1	580,6	645,4	718,5	801,0	894,1

**Tabela C.3:** Produção de eletricidade por fonte em Milhões GWh, 2000 a 2050

Fonte	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Produtos petrolíferos	1,9	1,5	8,8	21,0	23,5	26,3	26,3	26,3	26,3	26,3	26,3
Hidro	3,3	8,0	12,8	34,8	34,8	34,8	34,8	34,8	34,8	34,8	34,8
Biomassa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vento e Solar	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	5,2	9,5	21,6	55,8	58,3	61,1	61,1	61,1	61,1	61,1	61,1

**Tabela C.4:** Emissões de dióxido de carbono por setores da procura, em Milhões de Toneladas métricas de equivalente dióxido de carbono (MtCO<sub>2</sub>e), 2000 a 2050

	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Residencial	2,0	2,1	3,3	6,4	7,0	7,6	7,5	7,5	7,6	7,6	7,7
Agricultura	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
Serviços	0,6	0,5	1,8	2,1	2,4	2,8	3,2	3,7	4,3	5,0	5,8
Indústria	1,8	2,8	2,7	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,7	2,7	2,7
Transporte	0,9	2,2	4,4	5,1	5,9	6,9	8,0	9,2	10,7	12,4	14,3
Não especificada	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Uso não energético	0,4	0,3	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,1
Total	5,7	8,0	12,6	16,8	18,6	20,6	22,1	24,0	26,2	28,7	31,7

## D. CENÁRIO DE MITIGAÇÃO

**Tabela D.1:** Emissões Totais nos cenários de Referência e Mitigação em Milhões de Toneladas métricas de equivalente dióxido de carbono (MtCO<sub>2</sub>e), 2000 a 2050

	2000	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Mitigação	5,7	12,6	16,8	18,6	20,2	21,4	22,7	24,2	25,9	27,9
Referência	5,7	12,6	16,8	18,6	20,6	22,1	24,0	26,2	28,7	31,7
Total	17,2	37,9	50,4	55,7	60,8	64,3	68,6	73,5	79,3	86,0

**Tabela D.2:** Uso de energia total em Angola nos cenários de Referência e Mitigação em Milhões de GJ, 2000 a 2050

Cenário	2000	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Mitigação	240	386	427	472	527	590	661	741	832	935
Referência	240	386	427	472	523	581	645	718	801	894
Total	721	1159	1280	1416	1578	1760	1967	2200	2464	2763

**Tabela D.3:** Uso de energia por energia final, setores residencial e transporte rodoviário, nos cenários de Referência e Mitigação em Milhões de GJ, em 2050

Cenário	Residencial		Transportes Rodoviários	
	REF	MIT	REF	MIT
Eletricidade	216,0	257,6		
Biomassa	310,9	370,7		
Produtos petrolíferos			177,4	136,4

## E. CENÁRIO DE DESCARBONIZAÇÃO

**Tabela E.1:** Uso de energia total em Angola por setor em Milhões de GJ, 2000 a 2050

	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Residencial	174,2	203,1	242,9	276,1	313,9	356,9	405,8	461,4	524,6	596,5	678,2
Agricultura	0,0	0,1	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6
Serviços	10,0	7,8	25,5	28,3	31,4	34,9	38,7	42,9	47,6	52,8	58,6
Indústria	34,1	51,0	50,9	50,9	50,9	50,9	50,9	50,9	50,9	50,9	50,9
Transporte	14,9	33,5	63,8	71,3	79,8	89,2	99,9	111,8	125,1	140,1	157,0
Não especificada	-	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6
Uso não energético	7,1	5,2	5,1	5,9	6,8	7,9	9,2	10,6	12,3	14,3	16,5
Total	240,3	300,9	388,6	433,1	483,4	540,5	605,2	678,5	761,5	855,7	962,5

**Tabela E.2:** Uso de energia total em Angola nos cenários de Referência, Mitigação e Descarbonização em Milhões de GJ, 2000 a 2050

Cenário	2000	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Descarbonização	240	386	427	472	520	575	637	708	787	878
Mitigação	240	386	427	472	527	590	661	741	832	935
Referência	240	386	427	472	523	581	645	718	801	894
Total	721	1159	1280	1416	1571	1746	1943	2167	2420	2707

**Tabela E.3:** Taxa de crescimento anual de Emissões Totais nos cenários de REF, MIT e DESCAB em Milhões de Toneladas métricas de equivalente dióxido de carbono (MtCO<sub>2</sub>e), 2000 a 2050

	2000	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Descarbonização	5,737	12,626	18,142	19,255	19,344	19,539	19,643	19,816	19,997	20,240
Mitigação	5,737	12,626	18,142	19,255	20,244	21,386	22,698	24,199	25,913	27,866
Referência	5,737	12,626	18,142	19,255	20,580	22,148	23,997	26,168	28,711	31,683
Total	17,212	37,877	53,428	57,764	60,168	63,073	66,338	70,183	74,621	79,788
Tx crescimento anual das emissões DECARB		8,207%	7,519%	1,198%	0,093%	0,201%	0,107%	0,175%	0,182%	0,242%
Tx crescimento anual das emissões MIT		8,207%	7,519%	1,198%	1,007%	1,103%	1,198%	1,289%	1,378%	1,463%
Tx crescimento anual das emissões REF		8,207%	7,519%	1,198%	1,340%	1,480%	1,616%	1,748%	1,872%	1,989%
Poupança anual de emissões DECARB vs REF					1,236	2,609	4,353	6,352	8,714	11,443

## F. MEDIDAS DE MITIGAÇÃO E CURVA DE CUSTOS

**Tabela D.6: Curva de Custos Marginais de Abatimento**

Curva de Custos Marginais de Abatimento		Medidas			
Legenda		SE - oferta de eletricidade			
Medidas da oferta de eletricidade		RS - residencial e serviços			
Medidas da procura de energia nos setores residencial e de serviços		T - transportes			
Medidas da procura de energia nos transportes rodoviários		G - geral			
		gacmo	gacmo	cálculo	cálculo
CÁLCULOS		custo da redução de emissões	redução emissões	total emissões poupadas ANG2050	custo total emissões poupadas ANG2050
C	Acções	Título	\$/tCO2eq.	tCO2eq.	MtCO2eq. M \$
SE	More efficient grid (loss reduction of 1 GWh)	Rede elétrica eficiente	145.24	485.50	19.268 2798
SE	1 MW Hydro power connected to main grid in 2020	Eletricidade hídrica	-358.20	1923.07	1.281 -459
SE	1 MW Biomass power from biomass residues - 2020	Eletricidade de biomassa	-177.33	2427.50	0.073 -13
SE	1 MW Wind turbines connected to main grid (on-shore) in 2020	Eletricidade eólica	-347.05	1213.75	1.997 -693
RS	Energy efficiency in service (10% reduction of energy demand) in 2020	Eficiência energética geral	0.94	3192801.68	20.115 19
RS	Efficient charcoal stoves (1000 units)	Fogões a carvão	-62.01	292.92	0.015 -1
RS	Efficient wood stoves (1000 units)	Fogões a lenha	-933.25	1338.33	0.067 -62
RS	Solar PVs, small isolated grid, 2 MW, 100% solar	Rede solar isolada	221.44	2628.00	0.026 6
RS	Solar house PVs, 500 W	Casa solar	-215.58	0.40	0.000 0
T	More efficient gasoline cars (1000 cars)	Automóveis a gasolina	-210.55	408.90	0.020 -4
T	More efficient diesel cars (1000 cars)	Automóveis a gasóleo	-158.53	179.72	0.009 -1
T	Shifting passengers from car to rail (1Mill. personkm/day)	Passageiros automóvel » comboio	1961.84	35457.80	0.355 696
T	Shifting freight transport from road to rail (1000 tonkm/day)	Mercadorias automóvel » comboio	-1534.83	241.36	0.241 -370
T	Taxis using natural gas (1000 cars)	Automóveis a Gás Natural	-111.59	778.08	0.078 -9
T	Electric rail (1Mill. trainkm/day)	Comboio elétrico	3950.93	3281.85	0.328 1297
T	Bus Rapid transit (1 km BRT)	BRT	89.46	1983.46	1.983 177
T	Não-GACMO	Transportes eficientes - geral	0.00		54.785 0
G	Não-GACMO	ANG50 eficiente - geral	0.00		54.985 0
			<b>TOTAL</b>	<b>155.63</b>	<b>3380</b>

## G. JUSTIFICAÇÃO DAS FONTES GACMO

São apresentadas aqui, as fontes das principais medidas propostas pelo GACMO:

- **Categoria Residencial**

**Fogões a lenha:** Este cálculo do GACMO, é referente aos Dados do projeto CDM (ref=4772): "Projeto de CDM de Fogões Melhorados de SAMUHA" em Karnataka, Índia. 1,85 kg/pessoa/dia para cozinhar e 1,02 kg/pessoa/dia para aquecimento de água em uma casa composta por 5 pessoas.

**Fogões a carvão:** O GACMO propõe dados obtidos do PoA 7997: BioLite Betterd Cook Stoves Program, CPAs do Quênia. ASB0035: Consumo de biomassa lenhosa de base para fogões domésticos no Quênia. Custo a partir de: <http://afrishop.biz/product/ecozoom-super-saver-charcoal-stove-green/>.

**Eficiência energética geral:** O GACMO propõe dados do capítulo edifícios no IPCC AR4.

**Rede solar isolada:** Este cálculo do GACMO, é referente ao Projeto sobre as Maldivas: Relatório SREP: Converter 10 pequenas ilhas, cada uma usando 250-350 MWh/yr Assumindo que 5 h/dia dá um total para 10 ilhas de 2 MW. Custo de uma bateria de iões de lítio: 450 US\$/kWh (pesquisa Pike).

- **Categoria Transportes**

**Mercadorias automóvel» comboio:** O GACMO propõe dados obtidos em: <http://www.industrytap.com/ges-hybrid-locomotive-moves-a-ton-of-freight-500-miles-on-a-gallon-of-fuel/4226>. A Canadian National Railway Co. está a gastar cerca de 600 milhões de dólares (EUA) para comprar 200 locomotivas.

**BRT:** O GACMO propõe dados do projeto CDM. "BRT Metrobus Insurgentes, México", (ref=4945) na Cidade do México. 142 autocarros são Euro 3 & 4 com 160-240 passageiros com 33% de poupança de tempo de viagem. Maior quota de autocarros grandes (21 gCO<sub>2</sub>/pkm) do que pequeno no BAU (30 gCO<sub>2</sub>/pkm). Custo de alternativas: Os sistemas de transporte ferroviário ligeiro custam 13-38 MUS\$/km. Elevado LRT/Monorail custa 50-102 MUS\$/km. O metro subterrâneo custa 41-350 MUS\$/km. A maioria dos autocarros BRT são diesel substituindo autocarros a gasolina mais pequenos na linha de base. Em todo o mundo existem 170 cidades com sistemas BRT.

**Comboio elétrico:** O GACMO propõe dados do projeto Eletrificação da linha Esbjerg-Lunderskov de 57 km na Dinamarca, disponível em: <https://www.yumpu.com/da/document/read/18270705/opgave-a-strategianalysen-transportministeriet>.

- **Categoria oferta de eletricidade**

**Eletricidade hídrica:** Este cálculo do GACMO, é referente ao investimento proveniente de [www.cdmpipeline.org](http://www.cdmpipeline.org): Dak Mi 4 Hydropower Project, Vietname (ref=4970). A atividade do projeto é implementada numa albufeira existente, onde o volume de reservatório é aumentado e a densidade de potência da atividade do projeto é de 16,95 W/m<sup>2</sup>. O custo inclui: Construção, Equipamento, Linha de Transmissão para grelha, preparação de obras. Outros custos (consultoria, imposto, seguro, etc), Custo de Compensação e reinstalação, Custo de Backup.

**Eletricidade eólica:** O GACMO propõe dados do investimento de [www.cdmpipeline.org](http://www.cdmpipeline.org). Rede Ligada à Produção de Energia Renovável por Asian Fabricx Private Limited (ref=7182). O projeto é composto por cinco turbinas de 1,25 MW.

**Rede elétrica eficiente:** O GACMO propõe Dados de custos da CDM project "Programa de eficiência energética na rede de distribuição de eletricidade em Tirupati e divisão operacional Puttur de Andhra Pradesh" na Índia (Ref=8667). Aqui 30,9 MUS\$ foi investido para reduzir perdas em 32,25 GWh.