UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRAÇÃO LATINO-AMERICANA (UNILA)
INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE ECONOMIA, SOCIEDADE E POLÍTICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM POLÍTICAS PÚBLICAS E DESENVOLVIMENTO (PPGPPD)

ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: CASO DE ESTUDO DA COLÔMBIA EM COMPARAÇÃO A AMÉRICA DO SUL

YUDI LORENA GOMEZ BRAVO

DISSERTAÇÃO

Foz do Iguaçu
2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRAÇÃO LATINO-AMERICANA (UNILA)
INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE ECONOMIA, SOCIEDADE E POLÍTICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM POLÍTICAS PÚBLICAS E DESENVOLVIMENTO (PPGPPD)

ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: CASO DE ESTUDO DA COLÔMBIA EM COMPARAÇÃO A AMÉRICA DO SUL

YUDI LORENA GOMEZ BRAVO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Políticas Públicas e Desenvolvimento da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Políticas Públicas e Desenvolvimento.

Orientador: Prof. Dr. Guillermo Javier Díaz Villavicencio

Foz do Iguaçu
2023

YUDI LORENA GOMEZ BRAVO

ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: CASO DE ESTUDO A COLÔMBIA EM COMPARAÇÃO A AMÉRICA DO SUL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Políticas Públicas e Desenvolvimento da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Políticas Públicas e Desenvolvimento.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Guillermo Javier Díaz Villavicencio
UNILA

Prof. Dr. Exzolvildres Queiros Neto
UNILA

Prof. Dr. Lucas Kerr de Oliveira
UNILA

Foz do Iguaçu, 31 de julho de 2023.

Catalogação elaborada pelo Setor de Tratamento da Informação
Catalogação de Publicação na Fonte. UNILA - BIBLIOTECA LATINO-AMERICANA - CENTRAL

B826
Bravo, Yudi Lorena Gomez.
Análise de eficiência energética: caso de estudo da Colômbia em comparação a América do Sul / Yudi Lorena Gomez Bravo. - Foz do Iguaçu, 2023.
77 f.: il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Integração Latino-Americana. Instituto Latino-Americano de Economia, Sociedade e Política. Programa de Pós-Graduação em Políticas Públicas e Desenvolvimento. Foz do Iguaçu-PR, 2023.
Orientador: Guillermo Javier Díaz Villavicencio.

1. Eficiência (energia). 2. Energia elétrica (primária). 3. Recursos naturais renováveis. I. Villavicencio, Guillermo Javier Díaz. II. Título.

CDU 620.9:502(862)

Dedico este trabalho a meus avós.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, expresso meus sinceros agradecimentos ao meu professor orientador, Dr. Guillermo D. Villavicencio, não apenas pela constante orientação neste trabalho, mas também pela sua amizade ao longo desse processo.

Aos professores membros das bancas de qualificação, Dr. Miguel Ahumada e Dr. Lucas Kerr e na banca de defensa Dr. Exzolvildres Queiros Neto, pelo tempo despendido e contribuições para este trabalho.

Minha gratidão a meus avós, Trinidad Bolanos e Gerardo Bravo, e minha família pelo apoio incondicional, encorajamento e compreensão ao longo dessa jornada acadêmica.

Agradeço a meu companheiro pelo apoio incondicional, paciência e por sempre ter estado ao meu lado, me incentivando a continuar.

Agradeço àqueles que, de alguma forma, contribuíram para que eu estivesse aqui, mesmo que não estejam mencionados diretamente, seu apoio significou muito.

Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme.
(Antoine-Laurent de Lavoisie)

RESUMO

A energia é estimada como um elemento vital para uma sociedade, um componente na melhoria da qualidade de vida e no desenvolvimento sustentável, sendo parte do dia a dia das políticas públicas e de desenvolvimento. Este trabalho aborda a eficiência energética, examinada por meio da produção de energia de fontes renováveis, em relação a trajetória de expansão econômica caracterizada pelas emissões de CO2 significativas na Colômbia, em comparação com os países da América do Sul, no período de 2000 a 2020. O principal objetivo é descrever os fatores determinantes da produção de energia com a geração calcada em fontes renováveis. Será utilizada a metodologia de Dados de Painel para analisar o conjunto de indicadores de entradas e saídas, tomando como variáveis a produção de energia primária, a eletricidade de fontes de energia renováveis e outros fatores, estes valores serão não negativos para calcular as pontuações de eficiência. Os resultados dos dados de painel serão gerados por meio de uma análise de regressão com efeitos fixos, a qual mostra que a produção de energia de fontes renováveis afeta a eficiência em geral, apresentando resultados significantes estatisticamente para as variáveis de produção de energia primária e eletricidade de fontes renováveis, reduzindo as emissões de CO2 com a eletricidade de fontes renováveis.

Palavras-chave: Eficiência energética. Energia primária. Dados de painel. Emissões de CO_2.

ABSTRACT

Energy is estimated as a vital element for a society, a component in improving the quality of life, and sustainable development are part of the day-to-day public policy and development. This paper addresses energy efficiency examined through energy production from renewable sources in relation to the economic expansion trajectory characterized by significant CO_2 emissions in Colombia, compared to South American countries, in the period 2000 to 2020. The main objective is to describe the determinants of energy production with generation based on renewable sources. For this purpose, Panel Data will be used to analyze the set of input-output indicators taking as variables primary energy production, electricity from renewable energy sources and other factors, these values will be non-negative to calculate the efficiency scores. The panel data results will be generated through a regression analysis with fixed effects, which shows that the production of energy from renewable sources affects efficiency in general presenting statistically significant results for the variables, primary energy production, electricity from renewable sources, reducing CO_2 emissions with electricity from renewable sources.

Keywords: Energy efficiency. Primary energy. Panel data. CO_2 emissions.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Pilares do desenvolvimento sustentável **29**
Figura 2 - Modelo de regressão em painel de dados **44**

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Revisão bibliográfica de desenvolvimento sustentável na energia – principais autores T: teóricos - E: empíricos **33**

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Panorama energético dos países da América do Sul **16**
Tabela 2 - Panorama energético dos países da América do Sul **49**
Tabela 3 - Definições das variáveis **53**
Tabela 4 - Estadísticas resumidas das medias por países das variáveis durante todo o período **54**
Tabela 5 - Estatísticas resumidas para todos os países durante o período **55**
Tabela 6 - Valores das correlações e dos VIF **56**
Tabela 7 - Teste de Hausman **57**
Tabela 8 - Resultados estimativos do modelo de efeitos fixo com variável dependente emissões (CO2) **58**

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

GWh	Giga Watts hora
JCR	Isi Web Of Knhowlede
kW	Kilo Watts
kWh	Kilo Watts hora
LP	Programação linear
Mtep	Milhões de toneladas equivales de petróleo
ONU	Organização das Nações Unidas
PIB	Produto Interno Bruto
RETs	Tecnologias de energias renováveis
SCOPUS	Elsevier
WBCSD	World Business Council for Sustainable Development
ZNI	Zonas não interconectadas

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 11
1.1 JUSTIFICATIVA E ADERÊNCIA AO ESCOPO DO PROGRAMA 12
1.2 PROBLEMA 14
1.3 PERGUNTA DE PESQUISA 24
1.4 HIPÓTESE(S) 24
1.5 OBJETIVO(S) 24
2 MARCO TEÓRICO E REVISÃO DA LITERATURA 25
2.1 ENERGIA ELÉTRICA 25
2.2 CONCEITO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL 28
2.3 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA 30
3 REVISÃO DA LITERATURA 32
3.1 VARIÁVEIS 42
4 METODOLOGIA 45
4.1 ENTENDENDO DADOS LONGITUDINAIS E TIPOS DE PAINEL 45
4.2 MODELO GERAL PARA DADOS EM PAINEL 45
5 RESULTADOS 53
5.1 ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS 53
5.2 TESTES DE ESPECIFICAÇÃO 55
5.3 RESULTADOS EMPÍRICOS 57
6 DISCUSSÃO 60
7 CONCLUSÕES 63
REFERÊNCIAS 65
GLOSSÁRIO 74

1 INTRODUÇÃO

Apresenta-se a relevância da energia, sendo estimada como um elemento vital para uma sociedade em meio às mudanças climáticas. A eficiência energética é essencial para a solução dos problemas ambientais, garantindo a sustentabilidade, a oferta de energia e preservando os sistemas naturais.

Ao longo dos milênios, a humanidade tem presenciado profundas transformações no planeta. O desenvolvimento de novas tecnologias, associado às infinitas necessidades das pessoas, de modo algum possibilita idealizar a vida na terra sem articulá-la ao consumo da energia. Paralelamente, manteve-se uma postura extrativa em relação aos recursos naturais, o que tem levado, nas últimas décadas do século, a mudanças nas políticas públicas e no grau de consciência da população.

Do ponto de vista das políticas públicas, estas alterações estão focalizadas na importância do meio ambiente em conjunto com o desenvolvimento sustentável. A mitigação das mudanças climáticas evidencia uma base normativa essencial para pesquisa e inovação. Como resultado, ocorre uma maior inserção de pesquisas sobre transição para sistemas de energia de baixo carbono, que explicam melhor as ponderações sociais. Portanto, o setor energético passa a ser notado pelos efeitos negativos ao meio ambiente, do ponto de vista da ineficiência quanto a produção e uso próprios do setor (Foulds *et al*., 2022).

Partindo do ponto que a energia é estimada como um elemento vital para uma sociedade, um componente na melhoria da qualidade de vida e no desenvolvimento econômico, é fundamental reconhecer a energia como algo especial à vida e estratégico em diferentes formas de organização social (Fischer-Kowalski; Haberl, 2000). Neste caso, quando falamos de energia, e no contexto deste trabalho, estamos nos referindo à energia elétrica.

Sendo assim, a eficiência energética é a capacidade de utilizar menos energia para produzir a mesma quantidade de produto final, como, por exemplo, iluminação, transporte, e qualquer serviço que utilize energia (US National Policy Development Group, 2001). A eficiência energética hoje desempenha um papel fundamental no desenvolvimento sustentável, energia global e políticas ambientais. Entretanto, a eficiência energética só passou a tomar maior relevância

com a crise do petróleo entre 1973 e 1979, e na década de 1990. Desde a metade do século XIX, Stanley Jevons conceituou o efeito rebote (Jevons, 1866), que também foi chamado de Retorno energético sobre investimento, em outras palavras, considerada como “energia social” (Martinez-Alier, 1987).

A eficiência energética está interligada às discussões sobre o aumento das emissões de gases de efeito estufa[1], especialmente após a Conferência Mundial de Meio Ambiente. Como resultado, foram criadas instituições dedicadas a tratar práticas de eficiência energética, com o objetivo da redução do consumo de energia proveniente de combustíveis fósseis (maiores causadores dos gases do efeito estufa), para execução do tratado de Kyoto. Desta maneira, as organizações internacionais com políticas energéticas regulares incluiriam essa questão dentro dos seus objetivos (Enflo; Henriques, 2007). Em vista disso, a eficiência energética entrou em cena como uma solução eficiente.

Conseguir soluções para os problemas ambientais e, ao mesmo tempo, cumprir o tratado, requer práticas possíveis a longo prazo para o desenvolvimento sustentável, referindo-se como aquele que permite satisfazer as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das próximas gerações (WCED, 1987). Neste sentido, os meios energéticos renováveis aparecem como uma solução eficiente, a partir do desenvolvimento sustentável e energias limpas.

O conceito de sustentabilidade energética abarca a necessidade de garantir uma oferta de energia para atender as necessidades futuras, de modo que seja compatível com a preservação dos sistemas naturais, evitando mudanças climáticas catastróficas; que contenha os serviços básicos de energia aos mais de 2 bilhões de pessoas no mundo que não têm acesso, melhorando a eficiência dos recursos e, finalmente, reduzindo os conflitos geopolíticos por recursos energéticos irregularmente distribuídos.

1.1 JUSTIFICATIVA E ADERÊNCIA AO ESCOPO DO PROGRAMA

RESUMO: A ligação entre o projeto e a área de concentração do mestrado se deve à intenção de contribuir para preencher a grande lacuna no marco das políticas públicas de eficiência energética na Colômbia em comparação com os

[1] Principais gases do efeito estufa: Dióxido de carbono (CO_2), Metano (CH_4), Oxido Nitroso (N_2O), Clorofluorcarboneto (CFC) e Ozônio (O_3).

países da América do Sul.

A vinculação do projeto com a área de planejamento urbano e regional está ligado ao estudo de políticas públicas de acesso à energia em países em desenvolvimento, sendo fundamental para permitir as condições para o desenvolvimento e permanência da população com melhores condições de vida humanizadas. Este projeto está estreitamente vinculado à área de avaliação da CAPES: Planejamento Urbano e Territorial, pois seu objetivo é estudar e analisar estratégias de desenvolvimento, permitindo a identificação de resolução dos problemas ligados à prática ineficaz de políticas públicas e sobretudo envolvendo a distribuição de recursos, e conflitos sociais (UNILA, 2020).

Assim, correlaciona-se com a intenção de explorar questões relacionadas ao papel do Estado e das políticas públicas diante dos grandes desafios da sociedade contemporânea, contribuindo notadamente para a resolução dos desequilíbrios sociais e regionais existentes na América do Sul. Propor uma solução de problemas relacionados a prática ineficaz de políticas públicas, especialmente no processo de elaboração e implementação, bem como nos resultados e formas de exercício de poder político. Além disso, está de acordo com a visão de desenvolvimento do programa, que é entendido como a melhoria da qualidade de vida da sociedade Sul Americana, neste caso, proporcionada pela eficiência energética (UNILA, 2020).

A Organização das Nações Unidas (ONU) escolheu a eficiência energética como fator mais considerável para sustentar o suprimento de energia das economias em desenvolvimento e reduzir os impactos causados pelo aquecimento global (ONU, 2007). Este tema de discussão vem sendo relevante nos últimos anos (Cullen; Allwood, 2010; Patterson, 1996; WBCSD, 2007; Goldemberg *et al*., 1994).

As mudanças climáticas têm oferecido novos argumentos para estimular a necessidade de efetivar ações de eficiência energética, levando em conta os princípios associados ao desenvolvimento sustentável que contribuem com novos argumentos ao uso de eficiência energética. Neste sentido, uma maior eficiência no uso de energia nas atividades, tanto produtivas como em qualquer outra, possibilitaria melhorar sua competitividade e acessibilidade, assim como uma diversificação energética.

Considerando o âmbito internacional, a tensão existente para

mitigação das emissões de efeito estufa é crescente, de tal maneira que, gradativamente, a implementação de medições da pegada de carbono e os avanços a uma economia verde indicam uma nova direção.

A implementação de políticas e mecanismos que visem promover o aproveitamento da eficiência energética norteia um maior desenvolvimento sustentável, que, por sua vez, pondera um impacto favorável no setor energético. O uso eficiente da energia, de modo algum, foi tão essencial quanto hoje, principalmente devido às mudanças climáticas. A produção de energia renovável será a condição-chave da sustentabilidade energética. O consumo de energia renovável ajuda a diminuir as emissões de efeito estufa e desacelerar o aquecimento global. Além disso, os efeitos positivos na questão ambiental, em relação à redução das externalidades negativas da produção de energia são positivos.

Sendo assim, a maior importância deste trabalho é vislumbrar, por meio desta pesquisa, a relevância das estruturas dos programas de eficiência energética para obter benefícios enquanto produção e consumo, conjuntamente com políticas públicas, na promoção sustentável. Os marcos regulatórios e a cooperação internacional dos países da América do Sul irão trazer um quadro de oportunidades, facilitando a implementação de programas de eficiência e contribuindo para uma maior integração regional.

1.2 PROBLEMA

RESUMO: É apresentado um panorama geral da produção e consumo de energia por fontes de energia, onde cada país produz energia de uma forma singular, conforme com as suas necessidades. A eficiência no uso dos recursos energéticos tem a possibilidade de afetar a demanda e oferta de energia, passando a ter um papel relevante nas políticas energéticas dos países, dando outra perspectiva ao setor energético.

Os recursos energéticos são necessários para o desenvolvimento de uma região. Segundo Erlich (1991), o desenvolvimento sustentável requer suprimentos por intermédio de fortes sustentáveis. Recursos como combustíveis fósseis são finitos e evidentemente não são sustentáveis. Por outro lado, as fontes

de energia limpa são sustentáveis e têm menor impacto sobre o planeta. Em vista disso, as preocupações ambientais são fortes no desenvolvimento sustentável, e as atividades desenvolvidas no setor energético demandam o uso de recursos que acarretem um menor choque ambiental.

Por outro lado, o aumento da energia disponível é essencial para garantir o desenvolvimento sustentável e o progresso econômico, o que, por sua vez, melhora as condições de vida da população. Segundo Goldemberg e Lucon (2012), os países em desenvolvimento necessitam suprir a demanda reprimida de energia tanto em consumo quanto em produção, pois, em muitos casos, a existência de serviços energéticos são ineficientes. Assim, isso seria o primeiro passo para efetivar uma eficiência energética.

As políticas de eficiência energética são ferramentas relevantes para ajudar na redução das emissões de CO_2 e, consequentemente, gerar impacto no setor energético de um país ou de uma região (Lombard *et al*., 2008). Por outro lado, Cotte e Pardo (2011) ressaltam que a intensidade energética tem um efeito negativo sobre a produção, mostrando que as melhorias na eficiência energética têm contribuído para o aumento do crescimento econômico, a partir de uma abordagem de desenvolvimento sustentável. Sendo assim, a energia é um ponto fundamental no desenvolvimento, assim como na contribuição da melhoria do padrão de vida. No entanto, para alcançar um alto nível de crescimento econômico, é preciso políticas interligadas entre energia e desenvolvimento sustentável.

É importante conhecer os setores de produção, capacidade e consumo energético em cada país a ser analisado. Para obter uma melhor visão, conforme a Tabela 1, podemos comparar três anos específicos dos países da América do Sul: 2010, 2015 e 2020, em relação à produção de energia primária. No caso da Argentina, a maior geração foi no ano de 2015, o qual teve uma redução menor em comparação com 2010. Em relação à capacidade elétrica, houve um aumento, o que indica uma redução na energia hidráulica, gás natural e petróleo, com um aumento na energia solar, eólica. No caso da Colômbia e Venezuela, houve uma transição de maior produção a um declínio na sua produção de energia primária. Nos outros países, houve um crescimento exponencial, exceto no Chile, Equador e Uruguai, com um aumento na produção de energias alternativas.

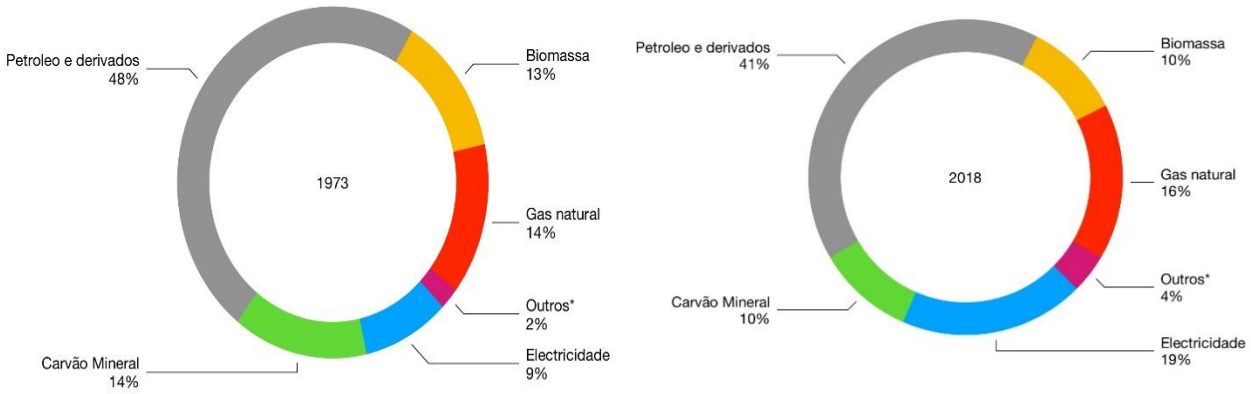
Tabela 1 - Panorama energético dos países da América do Sul

País	Produção de energia primária Mtoe			Capacidade Elétrica MW		
	2010	2015	2020	2010	2015	2020
Argentina	74.669	82.759	73.969	24.124	35.354	41.951
Brasil	253.107	286.374	340.568	135.089	167.165	202.488
Bolívia	113.524	165.853	_	1.716	2.539	3.834
Colômbia	142.195	144.017	102.288	14.247	16.484	17.720
Chile	7.746	12.308	12.279	16.954	19.475	25.579
Ecuador	200.729	221.549	203.551	5.143	6.009	8.095
Paraguai	8.959	9.314	9.940	8.816	8.864	8.831
Peru	17.549	22.629	25.909	3.515	4.647	6.345
Uruguai	2.326	3.394	3.174	2.667	3.988	4.924
Venezuela	75.339	64.299	33.109	26.159	32.345	32.956

Fonte: elaborada pelo autor, baseado nos documentos de Balanço Energético Nacional dos anos de 2010, 2015 e 2020 dos seguintes países: Argentina, Brasil, Bolívia, Colômbia, Chile, Equador, Paraguai, Peru, Uruguai e Venezuela

É evidente a relação de cada um dos países no que se refere à capacidade elétrica, todos obtiveram um crescimento positivo, levando em conta o decrescimento da produção de energia primária, demostrando a inserção de energias limpas. Considerando-se a matriz energética global, o consumo de energia tem aumentado notavelmente, e suas estruturas vêm se alterando em relação à diversificação de fontes de energias sustentáveis, processo esse também conhecido como transição energética, conforme o Gráfico 1.

Gráfico 1 - Consumo final global de energia por fonte de energia [Mtep2 , %] 1973-2018



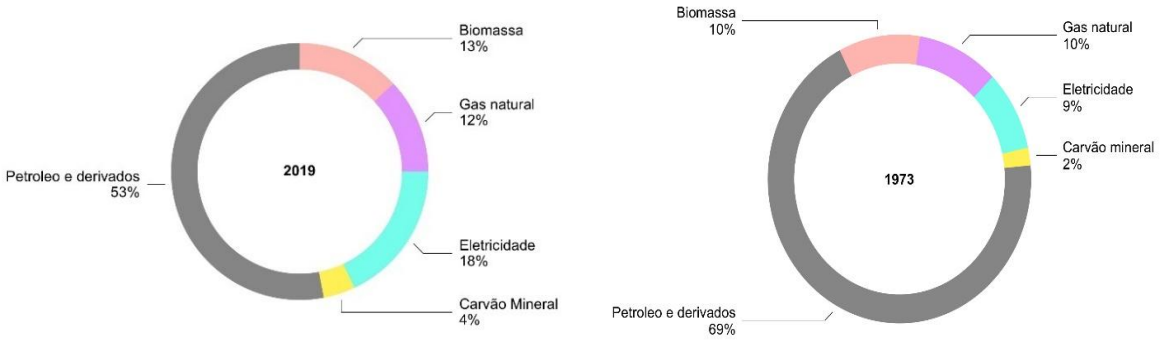
Fonte: OLADE, 2020
(*): Inclui calor, solar térmico e geotérmica
Consumo final de energia 1973: 4,660 Mtep

Consumo final de energia 2018: 9,938 Mtep

Para o ano de 1973, o consumo do petróleo e derivados, gás natural e carvão equivale a aproximadamente uns 76%, esse percentual baixa para um 67%, com um incremento na eletricidade. Em conformidade com estes valores, o consumo final de energia para o ano de 1973 foi de 4,660 Milhões de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep), sendo que esse valor foi duplicado em 2018 com 9,938 Mtep.

Para o caso da América Latina e Caribe, o consumo final para 1973 foi de 157 Mtep, sendo que esse valor seria quase quadruplicado para o ano de 2019, com 621 Mtep. O consumo do petróleo e derivados para 1973 equivalia a uns 69% do consumo, o qual teve uma redução para 53% em 2019, com crescimento significativo da eletricidade e da biomassa, como se pode observar no Gráfico 2.

Gráfico 2 - Consumo final de energia de América Latina e Caribe por fonte de energia [Mtep, %] 1973 - 2019



Fonte: OLADE, 2020
Consumo final de energia 1973: 157 Mtep
Consumo final de energia 2019: 621 Mtep

Com a discrepância geográfica, é evidente que os países com índice mais elevado de consumo de energia são Brasil e Argentina, equivalente a uns 50% do total da energia em relação aos outros países da América Latina e Caribe.

Cada país consome energia de uma forma singular, que se reflete ao longo do tempo, conforme as suas necessidades. Para tal caso, é preciso saber a intensidade de energia, que significa a relação entre consumo de energia e capacidade produtiva de economia. Este cálculo permite estipular de forma geral a eficácia no uso dos recursos energéticos. A eficiência energética tem possibilidade de afetar a demanda de energia, passando a ter um papel relevante nas políticas energéticas dos países, dando uma outra perspectiva ao setor energético. Por outro

lado, a efetividade energética tem correlação nos efeitos de emissões dos gases potenciadores do efeito estufa, devido a economizar no consumo da energia.

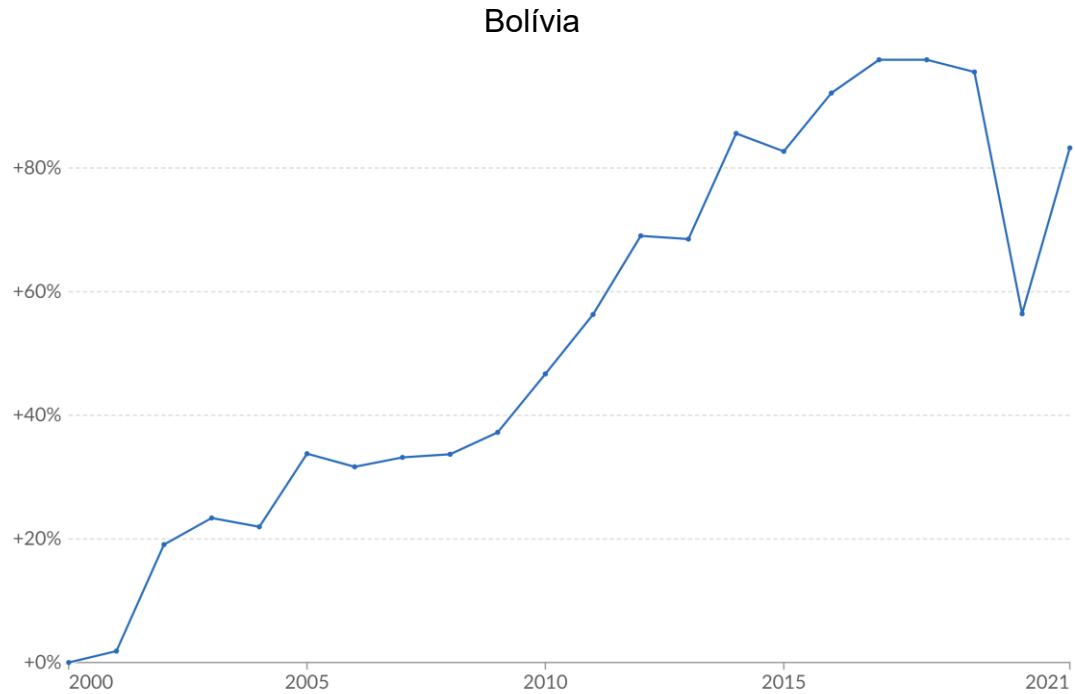
Contreras e Salgado (2021), realizaram um estudo avaliativo dos países da América Latina, no que se refere ao alcance dos objetivos de desenvolvimento sustentável por meio da eficiência energético-ambiental, e destacando a sua importância. Nesse estudo, foi ressaltado o trabalho feito em cada país com respeito à implementação de políticas públicas para a produção de energias renováveis, com o objetivo da redução dos gases de efeito estufa. Pode-se observar no Gráfico 3 a evolução anual na mudança das emissões de efeito estufa nos países analisados nessa pesquisa. Os valores positivos indicam que as emissões em um determinado ano foram maiores que o anterior. O valor negativo indica que as emissões foram menores do que o ano anterior.

O desenvolvimento econômico da América do Sul nos últimos anos não tem sido uma jornada simples, pois ocorreram muitas oscilações nas economias baseadas em commodities. No entanto, superando essas altas e baixas, as emissões per capita da região apresentam um aumento. Dos 37,12 bilhões de toneladas de CO_2 produzidos no mundo em 2021, 10% da produção correspondem a América do Sul (WBD, 2022), provenientes majoritariamente do uso da terra.

Kuznets (1995) explica que as emissões de CO_2 aumentam inicialmente à medida que o PIB per capita aumenta e diminuem à medida que o PIB per capita continua aumentado. Podemos observar no Gráfico 3 que, desde o ano 2000 até 2021, a maior variação das emissões de CO_2 e PIB per capita está na Bolívia, seguido de Paraguai e Peru, com a menor variação sendo encontrada na Venezuela, Argentina e Chile. O PIB per capita afeta diretamente as emissões, assim como ocorre com o crescimento econômico, já que o aumento da população gera mais emissões e aumenta a demanda de energia.

Gráfico 3 - Variação anual das emissões de CO_2 e PIB per capita

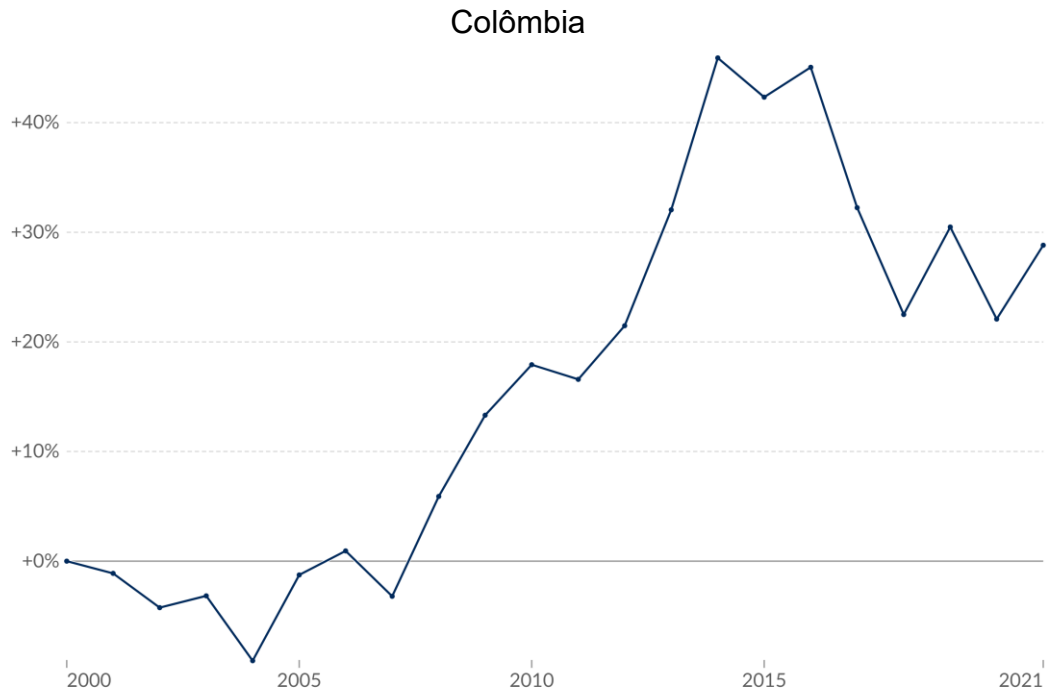
Fonte: Compilação do autor na base da Dados do Banco Mundial (2023).
Nota: PIB ajustado pela inflação



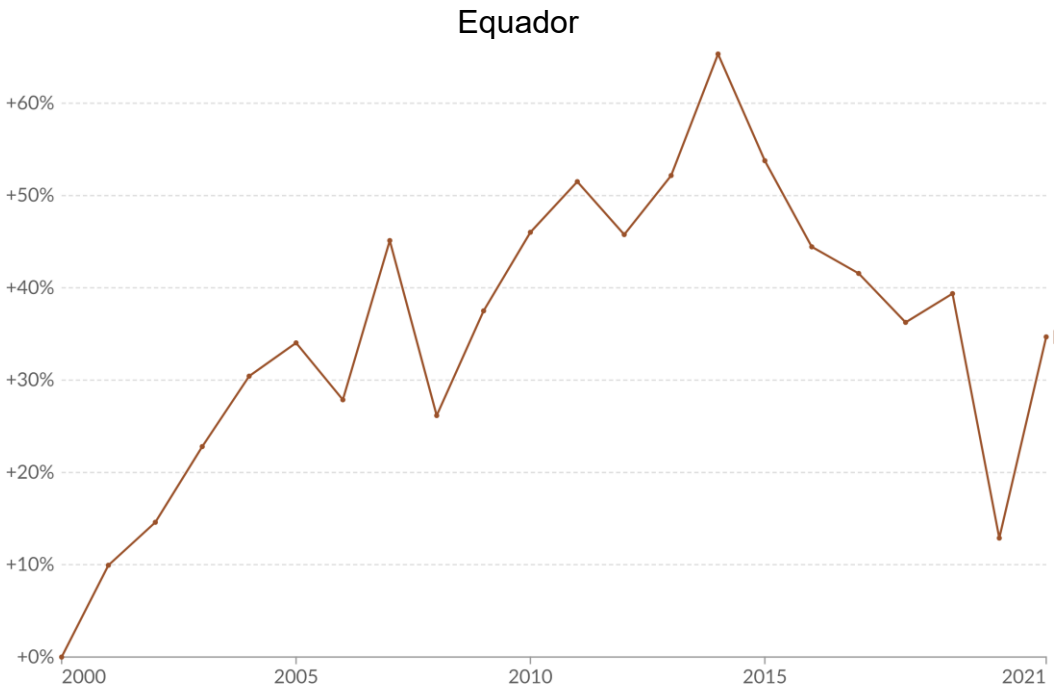
Fonte: Compilação do autor na base da Dados do Banco Mundial (2023).
Nota: PIB ajustado pela inflação

Fonte: Compilação do autor na base da Dados do Banco Mundial (2023).
Nota: PIB ajustado pela inflação

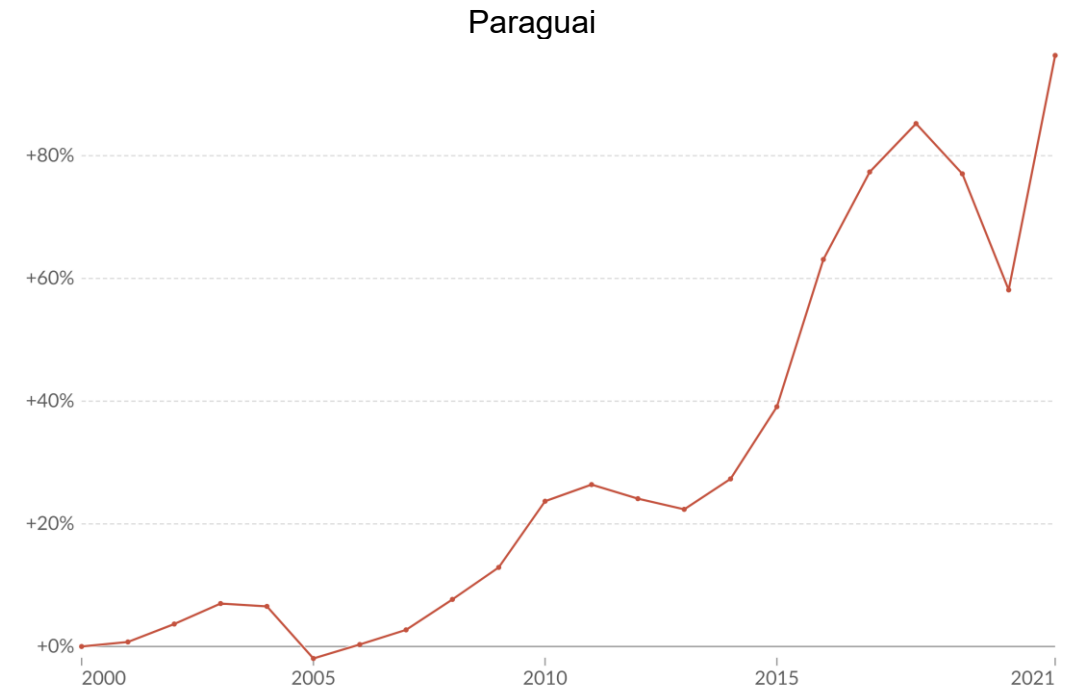
Fonte: Compilação do autor na base da Dados do Banco Mundial (2023).
Nota: PIB ajustado pela inflação



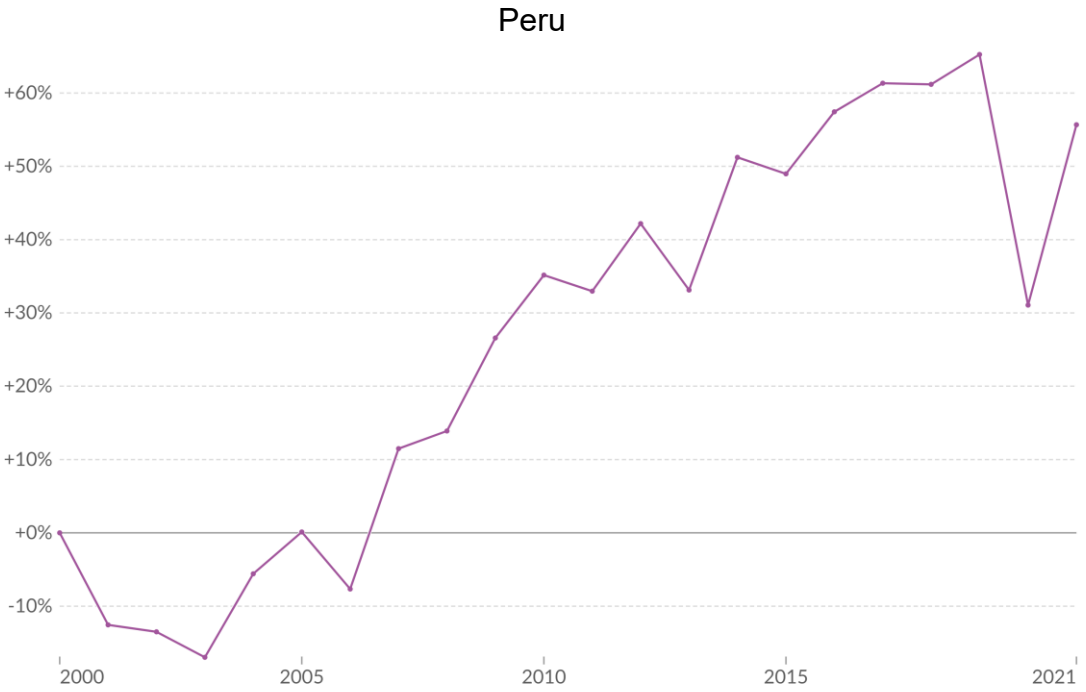
Fonte: Compilação do autor na base da Dados do Banco Mundial (2023).
Nota: PIB ajustado pela inflação



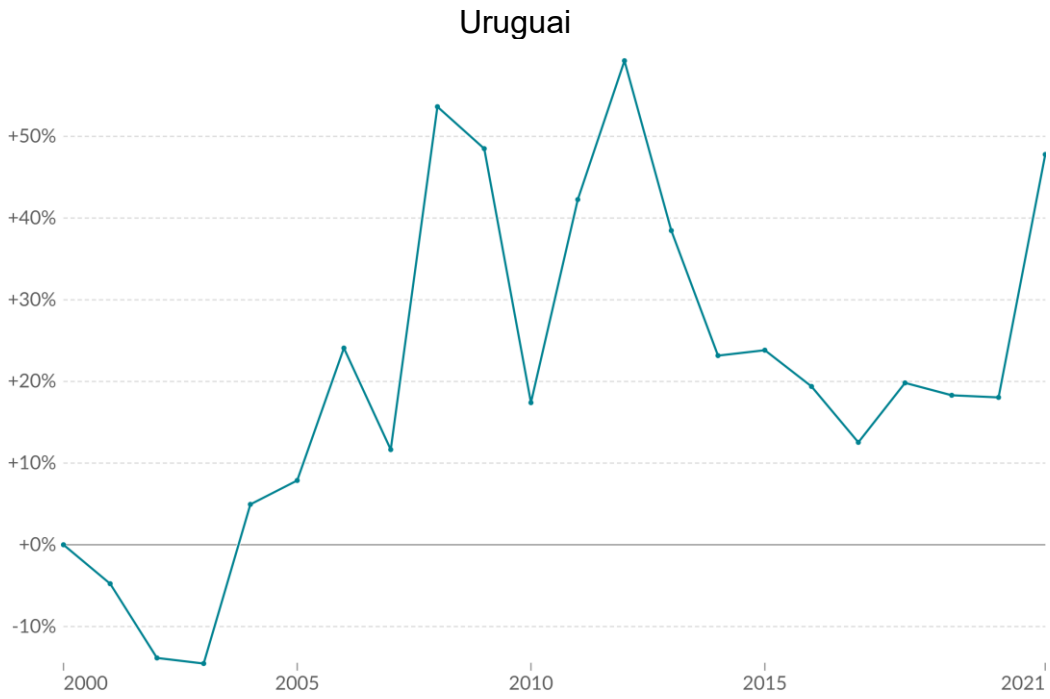
Fonte: Compilação do autor na base da Dados do Banco Mundial (2023).
Nota: PIB ajustado pela inflação



Fonte: Compilação do autor na base da Dados do Banco Mundial (2023).
Nota: PIB ajustado pela inflação



Fonte: Compilação do autor na base da Dados do Banco Mundial (2023).
Nota: PIB ajustado pela inflação



Fonte: Compilação do autor na base da Dados do Banco Mundial (2023).
Nota: PIB ajustado pela inflação

Fonte: Compilação do autor na base da Dados do Banco Mundial (2023).
Nota: PIB ajustado pela inflação

A eficiência energética é uma ferramenta para alcançar o desenvolvimento sustentável, e os países da América do Sul vêm desenvolvendo diversas ações relacionadas à eficiência energética, em diferentes graus de sucesso.

1.3 PERGUNTA DE PESQUISA

É evidente a necessidade de mecanismos regulatórios para os países da América do Sul, sendo assim, este trabalho procura responder à questão: Que fatores afetam ou interferem na energia produzida através de fontes renováveis, bem como no aumento ou diminuição da eficiência energética nos países da América do Sul?

1.4 HIPÓTESE(S)

Considerando a revisão da literatura relacionada a este tema, bem como o objetivo da pesquisa, consideram-se a seguintes possíveis hipóteses:

- H1: Existem fatores que influenciam a geração de CO2 na América do Sul, considerando as energias produzidas por fontes renováveis e primárias.
- H2: O uso da produção de energia por fontes renováveis traz benefícios para o consumidor e o meio ambiente.

1.5 OBJETIVO(S)

1.5.1 Objetivo Geral

- Descrever os fatores determinantes na produção de energia com a geração calcada em fontes renováveis.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Verificar como a produção de energia de fontes renováveis influencia a eficiência energética dos países da América do Sul através das sete variáveis.
- Gerar um Painel Data para determinar variáveis que influenciam na produção de CO_2.

2 MARCO TEÓRICO E REVISÃO DA LITERATURA

RESUMO: No marco teórico são desenvolvidos três conceitos fundamentais para esta pesquisa, como a energia sendo um sistema que abrange desde a extração de recursos, transformação e uso final a capacidade de decisão e uso da infraestrutura energética e de pesquisa e desenvolvimento. A sustentabilidade energética abarca a necessidade de garantir uma oferta de energia para atender as necessidades futuras, de modo que seja compatível com a preservação dos sistemas naturais e eficiência energética, que, nesse caso, se refere ao uso de menos energia para produzir a mesma quantidade de serviços ou de saídas.

2.1 ENERGIA ELÉTRICA

A palavra apareceu pela primeira vez em 1807, utilizada pelo médico Thomas Young, a qual possuía a perspetiva da concessão que ele tinha de energia, como sendo a capacidade de um corpo realizar algum trabalho mecânico. Antes de 1800, muitos fenômenos eram explicados pelos termos de “vis viva”, fazendo referência a força, e “calórico” (Wilson, 1968).

Muitos estudos buscaram aprofundar-se nos termos e foram bastantes abrangentes, adaptados a diferentes campos, entre os quais estão a força elétrica, força magnética e gravitacional. Essa dimensão não permitia muitas aproximações entre os fenômenos, tanto relativos ao movimento quanto ao calor. Dentre os estudos, se destacam Galileu Galilei (1564 – 1642), que contribuiu com processos do ímpeto presente nos corpos em movimento. Leibniz (1646 - 1716) e Huygens (1629 - 1695) contribuíram na conservação da vis viva nas colisões. Joseph Black (1728 - 1799), Rumford (1753 - 1814) e Carnot (1796 - 1832) desenvolveram a “teoria do calórico” (Wilson, 1968). Após 1850, em relação a estas pesquisas, vislumbrou-se o Princípio da Conservação da Energia por Kuhn (1922 - 1996). As contribuições feitas nos campos de pesquisa do “movimento” e do “calor” foram os mecanismos que permitiram o surgimento do conceito de energia.

A evolução do conceito de energia contribuiu no campo da Física clássica e foi estabelecida logo depois da conservação da energia expressada nas leis da termodinâmica. A primeira está relacionada ao conceito de energia (energia

interna); a segunda se refere à entropia (equilíbrio térmico); e a terceira é alusiva ao limite da entropia quando a temperatura kelvin se aproxima de zero (zero absoluto). Entre as contribuições está a teoria eletromagnética, desdobrando as considerações sobre energia presente nos campos magnéticos, como o processo de transferência de energia, sendo a luz uma onda eletromagnética. Na física moderna e contemporânea, o mundo microscópico começa a ser avistado e questionado. A teoria da Relatividade de Albert Einstein (1879 - 1955) insere o conceito de equivalência entre massa e energia (E = m.c2), e na mecânica quântica, segundo os aportes de Max Planck (1858-1947) e Einstein, incorpora-se a quantificação da energia (E = h.f). Estes aportes estabelecem novos paradigmas “quântico-relativista” acerca do conceito de energia, de tal maneira que o conceito científico de energia é atribuído às relações com os fenômenos mecânicos e termodinâmicos.

Em 1883, o engenheiro elétrico Nikola Tesla, inventou a bobina de tesla, que consiste num transformador que converte a eletricidade de baixa tensão em alta tensão, possibilitando o transporte da energia elétrica a longas distâncias. Este processo revolucionário permite a criação do primeiro alternador elétrico de corrente alternada pelo próprio Tesla, ao mesmo tempo em que incluiu todas as unidades necessárias para a produção de energia elétrica: geradores, transformadores, sistemas de transmissão, motor e luz elétrica (Morais, 2014).

Uma definição descritiva do que seria energia é dada por Hierrezo e Molina (1990, p. 23), os quais fazem uma aproximação da definição como *“La energía es una propiedad o atributo de todo cuerpo o sistema material en virtud de la cual este puede transformarse, modificando su situación o estado, así como actuar sobre otros originando en ellos procesos de transformación”*. A partir dessa definição, denotamos que a energia não se limita só ao campo da mecânica. Pode-se considerar que a capacidade de gerar mudanças vai provocar uma série de conversões.

A energia é estimada como um elemento vital para uma sociedade, um componente na melhoria da qualidade de vida e no desenvolvimento econômico. A energia, além de essencial à vida, é fundamental e estratégica em diferentes formas de articulação das sociedades (Fischer-Kowalski; Haberl, 2000). Neste caso, quando falamos de energia, e no desenvolvimento deste trabalho, nos referimos à energia elétrica.

A energia elétrica pode ser utilizada como a faísca geradora para dar

partida a um carro ou para aquecer e iluminar uma casa, sendo indispensável no uso de tecnologias de uso pessoal. Esses mecanismos ajudam a simplificar as comodidades básicas de eletrodomésticos ou qualquer artefato tecnológico. A energia elétrica está imersa em múltiplas áreas, desde o automobilismo, saúde, beleza, conforto, indústria, estética, esportes ou qualquer lugar que esteja usando um aparelho eletrônico que precise de uma fonte de alimentação em corrente direta ou alternada.

Para satisfazer a diversidade de necessidades energéticas nas diferentes atividades econômicas, industriais, de transporte e residenciais, os recursos naturais precisam passar por certas transformações. Inicialmente, corresponde às fontes de energia que a natureza produz livremente, as quais são conhecidas como energias mecânicas, encontradas nos rios ou produzidas pelos ventos, ou energias químicas, encontradas em recursos minerais. O seu segundo estado é o processo de transformação desses recursos, o qual pode ocorrer através de processos físicos, químicos e bioquímicos. Basicamente, em termos físicos, deve-se realizar um “trabalho” para se obter diferentes tipos de energia, como elástica, gravitacional, potencial, químico elétrico, térmico e cinético. A demanda nesta etapa depende das características dos equipamentos utilizados pelo usuário.

Em termos econômicos, sociais e políticos, a energia elétrica ganhou relevância no período em que os principais países industrializaram. Nesse sentido, Guena (2007) afirma que a energia ocupou e continuará desempenhando um papel fundamental na sociedade moderna, estando imersa nos diferentes campos sociais. Para Oliveira (2012, p.3), energia é “um sistema que vai desde a extração de recursos energéticos, os mecanismos de transformação e uso final até a capacidade de decisão e o uso de infraestrutura energética, pesquisa e desenvolvimento tecnológico.”

Na visão de Igor Fuser (2013), “energia” é entendida através da apreensão dos efeitos do trabalho e do calor, na habilidade de transformar uma realidade. A energia está em dois estados: o primeiro quando é retirada diretamente da natureza, como a cachoeira ao lado de uma represa, ou os raios de sol que geram calor e podem ser captados em painéis solares. O segundo estado é resultado da ação do homem para o processo de transformação do primeiro estado, estes são obtidos em larga escala através de refinarias e usinas para destinação final, segundo os requisitos de disposição final.

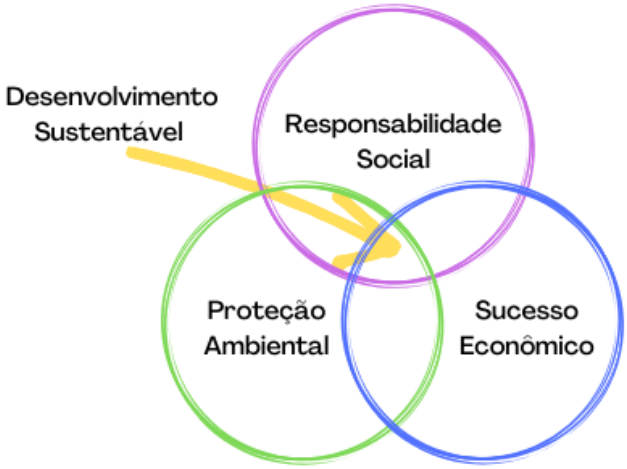
A energia renovável é aquela gerada a partir de fontes naturais que se reabastecem de forma continua, porém são limitadas na quantidade de energia disponível por unidade de tempo. As principais fontes de energia renováveis são: a biomassa – que pode ser de resíduos de madeira, resíduos sólidos, biogás, biocombustíveis -, a hidrelétrica, a geotérmica, a eólica e a solar.

Por outro lado, os combustíveis fósseis, como carvão, petróleo e gás, são recursos não renováveis, levando milhões de anos para se formar. Os combustíveis fósseis, ao serem queimados na produção de energia, geram grandes quantidades de emissões de gases de efeito estufa. Em contrapartida, a geração de energia renovável gera emissões muito mais baixas.

2.2 CONCEITO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Antes da Segunda Guerra Mundial, o conceito de desenvolvimento fazia referência ao avanço tecnológico, mas, após a guerra, passou a ser ligada ao bem-estar social, identificando-se com os direitos sociais, segurança social e políticas de renda. O desenvolvimento sustentável tornou-se o principal conceito dos estudos e publicações com relação ao meio ambiente. Ao longo dos anos, a sustentabilidade não apenas estava imersa no campus do meio ambiente, entretanto passou a ser uma questão econômica e social, formando assim os pilares da sustentabilidade: responsabilidade social, proteção ambiental e sucesso econômico (FIGURA 1). O conceito foi esboçado pelo Gro Harlem Brundtland (1987) no trabalho intitulado “Nosso trabalho comum” *(Our Common Future)*, sendo, ao mesmo tempo, conhecido como o Informe Brundtland, o qual indica que *“El desarrollo sostenible es un desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las suyas” Brundtland*.”

Figura 1 - Pilares do desenvolvimento sustentável



Fonte: Elaboração própria, 2023.

Os novos conceitos ligados ao meio ambiente, como o "desenvolvimento sustentável", vem sendo tratados com responsabilidade pelas Nações Unidas, grupos empresariais e ONGs por três décadas. Em 1972, ocorreu em Estocolmo a primeira Cúpula Mundial do Meio Ambiente. Nesse evento, as nações concordaram que era necessário abordar imediatamente a degradação ambiental. Vinte anos depois, na conferência feita pelas Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro, em 1992, foi acordado que para a proteção do meio ambiente, o social e econômico são indispensáveis para alcançar o desenvolvimento sustentável.

Desenvolvimento sustentável é um conceito que se enquadra no contexto macroeconômico. As regras e a legislação sobre questões ambientais vêm reforçar a quarta marcha dos fatores que contribuem para o crescimento da economia de qualquer nação: recursos humanos, recursos naturais e formação. Do ponto de vista microeconômico, o desenvolvimento sustentável torna-se um compromisso empresarial em torno da orientação para a sustentabilidade, com o objetivo de obter lucros tanto nos negócios quanto na qualidade ambiental, capital, de tecnologia e empreendedorismo. Assim, as restrições impostas pelas nações em relação às questões ambientais podem ser superadas com novas tecnologias.

O conceito de sustentabilidade energética abarca a necessidade de garantir uma oferta de energia para atender as necessidades futuras, de modo que seja compatível com a preservação dos sistemas naturais, evitando mudanças climáticas catastróficas. Além disso, busca fornecer serviços básicos de energia para

mais de 2 bilhões de pessoas no mundo que não têm acesso a ela, finalmente reduzindo os conflitos geopolíticos por recursos energéticos causados pela distribuição irregular desses recursos.

O Livro “Mudando o curso”, do autor Stephan Shmiedheiny, foi promovido pelo Conselho Mundial Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável, (*World Business Council for Sustainable Development* - WBCSD). O autor apresenta o livro com uma nova perspetiva dos setores industrializados, vistos como o principal problema, mas também parte essencial da solução para a sustentabilidade e o desenvolvimento mundial. Segundo o WBCSD, a ecoeficiência é como:

> la producción de productos y servicios a unos precios competitivos que satisfagan las necesidades humanas y proporcionen calidad de vida, a la vez que se reducen progresivamente las consecuencias ecológicas y la utilización de numerosos recursos durante el ciclo de vida, a un nivel equivalente, por lo menos, al de la capacidad estimada del planeta. (WBCSD, 2000, p.13)

Isso proporciona a oportunidade de reduzir o impacto ambiental ao longo de todo o ciclo de vida do produto, desde a etapa de produção, oferecendo aos mercados produtos que poluem menos ao longo de sua vida útil. Portanto, isso aumentará a competitividade dos processos produtivos das empresas.

De acordo com Wiesli *et al*. (2021), a qualidade de vida está associada a um alto consumo de recursos naturais e, ao mesmo tempo, buscar ser ecologicamente sustentável, interligando-se principalmente com elementos como natureza, igualdade, relações sociais, moradia, saúde e mobilidade. Em outras palavras, alcançar qualidade de vida significa desfrutar da liberdade de escolha, participar de processos sociais e se identificar com o ambiente local e social, criando, por sua vez, consciência do desenvolvimento sustentável e garantindo a qualidade do meio ambiente para as gerações presentes e futuras.

2.3 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Segundo Kats (1998), o desenvolvimento sustentável precisa trabalhar ao lado da eficiência energética para contribuir na diminuição dos impactos ambientais, especialmente na redução dos gases de efeito estufa. Sendo assim, pode-se tomar a eficiência energética uma ferramenta do desenvolvimento.

Conforme Patterson (1996), a eficiência energética passou a desempenhar um papel importante nas políticas públicas dos países desenvolvidos. Está correlacionada a benefícios comerciais, segurança energética, ambientais e redução de CO_2. Desta maneira, o autor explica que a eficiência energética "se refere ao uso de menos energia para produzir a mesma quantidade de serviços ou de saídas" (*energy efficiency refers to using less energy to produce the same amount of services or useful output)* (Patterson, 1996 p. 337). Podendo ser definida como:

$$\frac{\text{Saída útil de um processo}}{\text{Entrada de energia em um processo}}$$

Passa a ser definida pela razão entre a saída útil de um processo e a entrada de energia que, em outras palavras, não somente é usada no setor energético, como também pode ser aplicada a algum outro produto.

A eficiência energética pode ser monitorada por quatro grupos. O primeiro é o termodinâmico, que se refere ao uso real da energia em um processo ideal. O segundo são os físico-termodinâmicos, que são indicadores híbridos de energia, onde a entrada é medida em unidades termodinâmicas e a saída em unidades físicas, como toneladas de algum produto. O terceiro é o econômico-termodinâmico, que também é híbrido, com a saída em termos de preços econômicos e a entrada de energia em unidades físico-termodinâmicas. Por último, o econômico, que mede a eficiência em termos monetários. Portanto, esses indicadores permitem a comparação da eficiência em diferentes processos (Patterson, 1996).

3 REVISÃO DA LITERATURA

RESUMO: Foi realizado uma análise bibliográfica, especificamente em *Papers* publicados entre os períodos de 2002 e 2022, sobre energia elétrica no contexto do desenvolvimento sustentável, tomando Colômbia como país de estudo, nas bases de dados da *ISI WEB OF KNOWLEDGE (JCR) e SCOPUS (ELSEVIER)*. Analisaram-se dez *Papers*, os quais foram utilizados como base para selecionar as variáveis do estudo, a saber: energia primária de fontes renováveis, eletricidade de fontes renováveis, Produto Interno Bruto, emissões de co2 e taxa de urbanização,

Na busca de alcançar o objetivo desta pesquisa, não foram encontradas evidências empíricas que pudessem contribuir para este trabalho. Consequentemente, isso nos leva a focar nossa análise principalmente na consulta de trabalhos e/ou *Papers* relacionados com os conceitos utilizados para esta pesquisa (Energia e Desenvolvimento Sustentável). Por conseguinte, a princípio foi realizada uma revisão bibliográfica.

A revisão bibliográfica debruçou-se sobre a energia no contexto do desenvolvimento sustentável, tendo como alvo a Colômbia (pais de estudo), dada a forte relação com a problemática do setor energético nesse país, a alta necessidade do setor, e o governo estar investindo e incentivando os privados a gerarem estudos que promovam a eficiência energética. A revisão constitui-se pelas análises de estudos publicados entre os períodos de 2002 e 2022. Nesse sentido, foi revisada as bases de dados da *ISI WEB OF KNOWLEDGE (JCR) e SCOPUS (ELSEVIER)*, tendo em vista que essas fontes de informação são as mais representativas no mundo acadêmico, no que se refere à área das ciências sociais.

Para iniciar a revisão dos Papers, foram incluídos (em inglês) os seguintes termos: energia (energy), desenvolvimento sustentável (sustainable development), rural (rural), Colômbia. Foram gerados 187 Papers, os quais foram submetidos a uma classificação, segundo as palavras chaves inclusas.

Quadro 1 - Revisão bibliográfica de desenvolvimento sustentável na energia – principais autores T: teóricos - E: empíricos

N.	Autor (s)	Tipo	Objetivo	Modelo/Método	Variáveis	Principais Resultados
1	SILVA, H.D, NAKATA, T. (2008)	T-E	O objetivo é ter a configuração ideal do sistema que atenda a demanda de energia elétrica, levando em consideração a disponibilidade dos recursos no local, tendo como alternativa a geração a diesel.	O modelo é projetado para áreas rurais isoladas não interconectadas da Colômbia, usando modelo de programação linear (LP). O desempenho do sistema é avaliado sob os critérios de custos de geração de energia, emprego e impactos ambientais (uso de CO_2 e uso da terra).	• Produção de energia. • Abastecimento de energia elétrica. • Criação de empregos. • Eletricidade de Fontes Renováveis. • Emissões CO_2. • Uso do solo.	A aplicação desse método mostrou que a tecnologia de conversão de biomassa tem maior potencial do que os sistemas de energia renováveis e oferece um melhor desempenho em comparação com a geração a diesel. Reduções de mais de 10% nos custos unitários de eletricidade, taxas de uso de terra e emissões CO_2 podem ser alcançadas.
2	COTTE, P.A., PARDO, M.C.I. (2011)	E	Examinar o tema da causalidade entre o crescimento econômico, a pobreza e a energia na Colômbia no período de 1975-2008.	Foram aplicadas metodologias de séries temporais, incluindo o teste de causalidade de Granger SURE DSS. As séries temporais abrangem o período de 1975-2008 e utiliza, como principais fontes de dados, os Balanços Energéticos e estudos econômicos.	• Series temporais. • Produto Interno Bruto. • Abastecimento de energia. • Intensidade de energia. • Energia per capita. • Pobreza energética.	Relação entre crescimento econômico, pobreza, e energia, mostra que aumentos do PIB e da oferta da energia per capita devem elevar uma diminuição da pobreza. Isso demonstra que o acesso aos serviços energéticos, contribui para a redução da pobreza e aumento do crescimento econômico.

				colombianos.		
3	TOMEI, J., CRONIN, B., AGUDELO, A.H.D., CÓRDOBA, M. S., MENA, P.M.F., TORO, O.Y.M., BORJA, C.Y.E., PALOMINO, L.R., MURILLO, L.G., ANANDARAJAHB G. (2020)	E	Entender o processo de eletrificação no período de 2016 – 2018 em uma região esquecida da Colômbia. Examinar até que ponto os benefícios do acesso à eletricidade foram alcançados em cinco aldeias no município de Bahia Solano.	Foi utilizada uma abordagem de método misto, combinando pesquisa de campo com modelagem tecno-econômica, para investigar o acesso à energia da Bahia Solano (antes e depois da eletrificação). Utilizando cenários de demanda futura, um modelo de otimização do sistema de energia foi empregado para as aldeias do estudo, possibilitando a expansão da rede.	• Eletricidade. • Taxa de urbanização. • Eficiência energética. • Rede elétrica. • Solução autónoma de energia. • Micro rede renovável.	É necessário um envolvimento abrangente e a consideração dos contextos sociais, ambientais, econômicos e políticos nos quais as pessoas vivem, a fim de garantir benefícios energéticos para o desenvolvimento sustentável.
4	OSPINO, C.A., ROBLES-ALGARIN, C., PEÑA, G.R., (2019)	E	Análise da gestão energética e do planejamento financeiro realizado no projeto e na implementação de sistemas fotovoltaicos em áreas urbanas da cidade de Barranquilla.	Foi elaborado um questionário com escala Likert e 36 itens, o qual foi respondido por sujeitos com funções gerenciais das 16 empresas dedicadas à implantação de projetos fotovoltaicos (PV) em	• Eficiência energética. • Implementação de sistemas fotovoltaicos. • Planejamento de energia. • Disponibilidade de energia. • Rentabilidade de energia.	A gestão energética na implantação de projetos fotovoltaicos é moderada, com falta de indicadores de melhoria e desempenho energético. As empresas utilizam valores teóricos para calcular o consumo, utilizando

				Barranquilla.		planilhas e simuladores de projeto de sistemas fotovoltaicos para reduzir custos de instalação de equipamentos de medição em tempo real.
5	OBREGON, L., VALENCIA, G., DUARTE, J., (2019)	T	Pesquisa da situação atual da geração de eletricidade a partir de fontes renováveis de energia na Colômbia e a situação energética da população colombiana.	A pesquisa demostra o potencial de diferentes tipos de energia renovável disponíveis na Colômbia, conforme estabelecido pela lei 1715, e diferentes estratégias tecnológicas para melhorar seu uso nas zonas não interconectadas, além de alternativas para a redução do consumo de combustíveis fósseis.	• Demanda de energia. • Produção de energia primária de fontes renováveis. • Políticas de energia renovável. • Fontes de energia renovável. • Capital humano.	Devido à sua posição geográfica e condições climáticas, a Colômbia possui uma grande variedade de recursos naturais para a geração de energia renovável. Recomenda-se capacitação e colaboração entre universidades para pesquisas, subsídios para fontes de energias renováveis na ZNI e tarifas que favoreçam a eletricidade produzida por fontes renováveis.
6	VITERI J.P., HENAO F., CHERNI J., DYNERI. (2019)	E	Desenvolver um modelo de otimização para o planejamento de sistemas elétricos autônomos baseado em energia renovável	Este modelo de otimização (solar, eólica, hidroelétrica) compara numa base econômica as diferentes energias de opções disponíveis, considerando	• Custo de capital do sistema. • Custo de energia. • Demanda de energia. • Fornecimento de bateria. • Eletricidade de energias	Os resultados sugerem como melhor solução um sistema elétrico baseado em energia solar (22 e 29 kWp) e armazenamento de energia (74 e 93 kWh) para satisfazer

			para comunidades fora da rede, realizado na comunidade isolada de Praia Potes no estado de Choco.	três tipos de tecnologia: renovável, solar, eólica e hidroelétrica. Além de sistemas de armazenamento de energia.	renováveis. • Fontes de energia primária. • Baterias. • Hidroelétrica. • Capacidade de energia. • Estado da carga das baterias. • Energia de baixo carbono.	as necessidades atuais e futuros preços acessíveis.
7	SAGASTUME, A., MENDOZA, J.M., CABELLO, J.P., RHEALS, J.D. (2021)	E	Avaliar o potencial energético dos resíduos agrícolas para a produção de energia renovável a partir da biomassa em Córdoba sendo um estado com 10,6% das atividades agropecuárias do PIB.	O cálculo do potencial bioenergético dos resíduos de biomassa agrícola, considerando a combustão direta e a digestão anaeróbica para exportar fonte de biomassa. O potencial bioenergético foi calculado a partir da produção agrícola em Córdoba, das colheitas dos anos de 2013 até 2016.	• Custos de investimento de energia. • Custos operacionais de energia. • Produção de energia primária. • Potencial energético de resíduos agrícolas. • Biomassa. • Biogás C_4H. • Biodigestores. • PIB.	O potencial bioenergético dos resíduos agrícolas e agroindustriais pode atender de 9 a 18% da demanda de energia do estado de Córdoba. O potencial de biogás equivale a 1,4 vezes a demanda de energia para apoiar a cocção das residências que usam lenha. A combustão direta é viável pelo investimento de menores custos e digestão, anaeróbios baixos e médios custos de investimento.
8	ACUNA, M., SILVA, C., TOCARUNCHO, A.,	T-E	Propõe-se uma estrutura de simulação-otimização para resolver problema	Foi usado um método de programação linear de otimização em simulação. Esse método de	• Pobreza energética. • Capacidade de geração de energia. • Capacidade de	Os resultados mostram que foi possível obter soluções inteiras para 76,2% do conjunto de casos e para os

	VARGAS, D., PATINO, D., BARRERA, D., PENA, J. (2021)		estocástico de despacho integrado de energia em um sistema de radiação solar operado em ZNI. A solução é aplicada numa escola rural de baixo orçamento no município de Caparrapí Cundinamarca, considerando a estimativa de radiação solar e a capacidade do sistema.	programação linear utiliza um procedimento heurístico que permite encontrar boas soluções computacionais por um conjunto de casos gerados aleatoriamente.	armazenamento de energia. • Demanda de energia. • Estado de carga de baterias. • Energia disponível para carga de baterias. • Oferta de energia.	23,8% nenhuma solução foi encontrada. Isso demostra a utilidade e capacidade do método para lidar com a natureza aleatória dos problemas.
9	ARANGO-MANRIQUE, A., LÓPEZ-GARCÍA, D., ARANGO-LEMOINE, C., CARVAJAL-QUINTERO, S.X. (2021)	T-E	O desenvolvimento estratégico visa incorporar recursos energéticos distribuídos ao operador do sistema fora da rede ou microrredes isoladas, com o objetivo de garantir a sustentabilidade e a transição energética por um modelo de	Propõe-se a estruturação de um modelo de negócios baseado no *business model canvas* para a prestação de serviço com continuidade e segurança da microrede isolada. Isso permite analisar a combinação de oferta de valor acrescentado, ou seja, de retorno para investidores e sustentabilidade na	• Estruturas de custos energéticos. • Mercado de energia. • Transição energética. • Operação de micro redes. • Rentabilidade de investimentos. • Fontes de renda. • Custo de geração.	Os resultados indicam a necessidade de definir a participação da demanda na operação de microrede, com foco na rentabilidade de diferentes políticas regulatórias que incentivem o uso de recursos de energéticos distribuídos nas microrredes. A simulação demostra que é preciso propor um esquema de mercado que

			negócios adaptado.	operação da microrede.		motive os investidores a incluírem inovação tecnológica. Os incentivos e as taxas de usuários podem ser incluídos no modelo para auxiliar o governo na definição de políticas para o desenvolvimento de ZNI.
10	VILLA, C., HENAO, F. (2022)	T-E	Avalia a possibilidade de superdimensionamento de microrredes solares fotovoltaicas conectadas à rede para lucrar com o autoabastecimento e as vendas de exportação para a rede elétrica.	Foi desenvolvido um modelo de otimização que avalia se o superdimensionamento é uma estratégia de negócios viável, considerando as restrições legais, técnicas e de demanda. O modelo é aplicado a nove comunidades urbanas da Colômbia, que possuem diversas condições socioeconômicas e climáticas.	• Exportação de eletricidade. • Custo de produção. • Custo de armazenamento. • Lucro de microrrede. • Energia fotovoltaica. • Recuperação do capital. • Infraestrutura.	O modelo demonstra que pequenas microrredes têm margens de lucro maiores e tempos de recuperação do capital mais curtos. O superdimensionamento é benéfico para essas pequenas microrredes em comparação com o autoabastecimento. Esse estudo contribui para a literatura sobre otimização de microrredes, oferecendo um estudo empírico sobre modelos de negócios alternativos.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.
Nota: Dados trabalhados pelo autor

Sendo listados os periódicos e/ou artigos na tabela acima, foram selecionados os seguintes: os artigos baseados na aplicação de sistemas energéticos com desenvolvimento sustentável em áreas rurais. O estudo recente publicado por Arango-Manrique *et al.* (2021), pela sua proposta de modelo de negócios para a transição energética para a sustentabilidade operacional e econômica da eletrificação rural na Colômbia. As obras de Tomei *et al*. (2020) e Silva e Nakata (2012), que trazem suas considerações sobre o fornecimento de eletrificação nas ZNI, levando em conta os impactos ambientais sociais e econômicos.

Cabe destacar que foram alcançados diversos *Papers* com processos e modelos de eletrificação rural sustentável e com a temática de implementação de sistemas elétricos, entretanto, para este trabalho, eles não foram considerados. Na revisão foram encontrados ainda 10 *Papers* com a temática pesquisada, dentro os quais, 5 foram metodológicos e/ou teóricos, e 9 Papers de aplicação.

A partir da perspectiva dos autores, que a nosso juízo são teóricos, podemos observar que Silva e Nakata (2008) fazem referência ao modelo de sistema de energia renovável nas ZNI. Este sistema é realizado em duas etapas. A primeira consiste no potencial das alternativas da geração de energia para cobrir a demanda, tomando em conta atributos econômicos, ambientais e sociais. A segunda etapa consiste no desempenho do sistema de fornecimento, utilizando recursos renováveis nas ZNI. Este método revelou que os recursos renováveis são suficientes para suprir a demanda na zona de interesse. Este sistema indicou que a incorporação de tecnologias de energias renováveis (RETs) para a eletrificação das áreas rurais isoladas pode levar a um ótimo desempenho com relação aos custos, geração de empregos e benefícios ambientais. Desse modo, os fatores que residem na divulgação para os RETs nas zonas rurais residem em fatores diferentes dos analisados, como a deficiência de políticas públicas ou incentivos para o envolvimento com projetos energéticos em áreas rurais.

De outro lado, Arango-Manrique *et al*. (2021) mostra a proposta de um modelo de negócios baseado no *business model canvas*, com uma visão técnica e econômica. Este sistema de negócios quantifica os custos associados ao controle dos recursos de energia distribuídos e a infraestrutura para garantir a sustentabilidade da microrrede, sendo preciso definir a participação na microrrede

com tarifas que compense a interação energética entre demanda e rede. A simulação mostra que é necessário propor um esquema de mercado que motive os investidores a incluírem tecnologias, tendo o poder principal nas políticas regulatórias, as quais realmente são as encarregadas de incentivar a massificação das tecnologias de energia renováveis.

Por outro lado, Cotte e Pardo (2011) ressaltam que a intensidade energética tem um efeito negativo sobre a produção, mostrando que as melhorias na eficiência energética têm contribuído para o aumento do crescimento econômico, a partir de uma abordagem sustentável. Sendo assim, a energia é um ponto fundamental no desenvolvimento, assim como também na contribuição para a melhoria do padrão de vida. No entanto, para alcançar um alto nível de crescimento econômico, é preciso políticas interligadas entre energia e desenvolvimento sustentável.

Da mesma maneira, Acuna *et al*. (2021) propõem uma solução barata, ou seja, um modelo matemático, para a estocástica do problema integrado do despacho de energia gerada quando não está conectada à rede, levando em consideração a radiação e a capacidade de armazenamento do sistema.

Obregon *et al*. (2019) mencionam as dificuldades tecnológicas, as barreiras técnicas, econômicas e sociais, bem como a falta de capital humano, com relação aos altos custos de investimento. Apresentam as vantagens dos mecanismos de armazenamento de energia, como acoplamento de baterias em sistemas híbridos entre eólica e solar que trabalham com geradores diesel. Dentro das contribuições pelos autores, os dispositivos termoelétricos podem aumentar significativamente a eficiência da energia, tendo a possibilidade de gerar energia a partir do calor residual de qualquer processo. No entanto, os autores fazem algumas recomendações para superar as limitações tecnológicas na Colômbia, principalmente eólica e solar, as quais têm maior potência de recuperação. Como solução de barreiras, eles elencam a capacitação na isenção de impostos aduaneiros para projetos de energias renováveis, parcerias entre universidades para o desenvolvimento de fontes renováveis de energia renovável em zonas não interconectadas, e a implementação de geradores a diesel para fontes de energia renovável na ZNI, além da implementação de tarifas que favoreçam a eletricidade produzida por fontes renováveis de energia para compensar seus maiores custos de geração.

A conexão à rede elétrica nem sempre é a melhor opção, especialmente quando as condições ambientais tornam o fornecimento um desafio. Segundo Tomei *et al.* (2020), foi o que aconteceu em Bahia Solano. A falta do envolvimento do Estado com a comunidade levou a uma solução inadequada. Muitos domicílios não têm acesso à eletricidade, embora o governo acredite que eles estavam eletrificados. Foi implementada uma pequena central hidrelétrica composta por cinco turbinas hidroelétricas, a qual sofreu danos e parou de funcionar, e a rede continuou a funcionar com diesel. O texto destaca que o acesso em si pode impulsionar o desenvolvimento das ZNI. O processo de paz é uma oportunidade para projetos de desenvolvimento rural que atendam às necessidades das comunidades, além da energia.

Viteri *et al.* (2019) apresentam um modelo de otimização para o planejamento de sistemas elétricos autônomos, baseados em energia renovável, para comunidades fora da rede, encontrando soluções acessíveis para garantir a sustentabilidade. Os resultados indicam que, a longo prazo, as energias renováveis podem ser economicamente viáveis, sendo atraentes em relação às tecnologias e aos custos operacionais. Foi realizado um estudo de caso em Praia Pontes, no estado de Chocó, onde os resultados mostram um sistema elétrico baseado em energia solar (22 e 29 kWp), armazenado em bateria (74 e 93 kWh) para abastecer as necessidades (35 e 38 ¢/kWh).

Ospino *et al.* (2019) apresentam uma análise da gestão energética e planejamento para a instalação de sistemas com painéis solares. Foi feita uma pesquisa de campo, com aplicação de questionários às empresas do setor de energia da cidade de Barranquilla que oferecem os sistemas de energia fotovoltaica. Uma das variáveis para determinar o que será preciso dentro de cada projeto é conhecer a produção de energia requerida para estabelecer os custos da implantação. As empresas baseiam os cálculos em valores teóricos e prévias simulações dos sistemas, evitando custos de medição em tempo real. Além disso, a presença de indicadores de endividamento e rentabilidade são moderados na implantação. Isto se deve principalmente ao fato de essas empresas serem novas, surgidas a meados de 2018, o que faz com que necessitem de novas estruturas de financiamento e investimento de novos clientes.

Por outro lado, os autores Villa e Henao (2022) exploram as possibilidades de superdimensionamento das microrredes solares conectadas à

rede para obter lucro com o autoabastecimento. Eles avaliam se essa é uma estratégia de negócio, levando em conta as restrições legais, técnicas e a demanda. Esse modelo foi aplicado a nove comunidades em diferentes condições socioeconômicas e climáticas, identificando características como esquemas tarifários, preços de serviços, fluxo de caixa e tempo de recuperação do capital. O modelo de superdimensionamento, aplicado pelos autores a pequenas comunidades, é ideal para uma capacidade de 100 kW, seguindo a legislação colombiana, e provou oferecer benefícios econômicos mais que de autossuficiência. No entanto, eles não consideraram questões individuais, como o tamanho das baterias e dos painéis solares, e as diferentes regulamentações tarifárias, o que traz uma limitação para o projeto.

A produção de energia renovável a partir de resíduos agrícolas é inexplorado, segundo Sagastume *et al.* (2021). Para eles, o potencial energético é grande, baseado em biomassa a partir da agricultura. Os autores fazem análises no estado de Córdoba, o qual tem um potencial de 548 GWh para uso de digestão anaeróbica e 1159 GWh por ano em combustão direta. Estes potenciais podem suprir de 9 a 18% da demanda energética atual do estado. Além disso, a implementação de sistemas energéticos de combustão direta são os de menor custo disponíveis no mercado. Consequentemente, é preciso promover a implementação de sistemas de energia renovável sustentável, baseados no potencial da região, para este caso, em específico, a biomassa.

3.1 VARIÁVEIS

Considerando a revisão da literatura relacionada com a temática pesquisada, foram geradas cinco variáveis mais relevantes para esta pesquisa. Esta pesquisa analisa os nove países da América do Sul, a saber: Argentina, Brasil, Chile, Colômbia, Equador, Paraguai, Peru, Uruguai e Venezuela, para o período de 2000-2020. A escolha destes países e a série temporal se deve a disponibilidade dos dados, o que possibilita descrever os fatores determinantes da produção de energia com a geração calcada em fontes renováveis.

As variáveis são: eletricidade de fontes renováveis, taxa de urbanização, Produto Interno Bruto GDP, produção de energia primária e emissões de CO_2. Para este estudo, cada uma das variáveis está definida assim:

Eletricidade de fontes renováveis: no que diz respeito à energia primária, utilizamos a parcela de eletricidade produzida a partir de fontes renováveis como a medida de eletricidade sustentável.

Taxa de urbanização: a demanda do consumo de energia é significativamente maior nas áreas urbanas em relação às áreas rurais, segundo Sheng *et al.* (2017), nesta pesquisa não foi discriminado o rural do urbano.

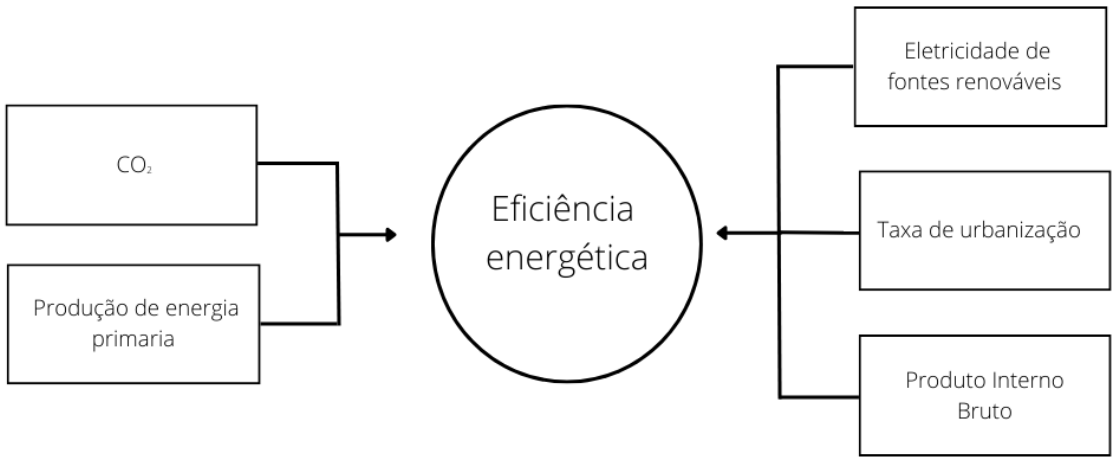
Produção de energia primária: a energia primária é fornecida pela natureza, como a energia hidráulica, petróleo ou lenha, podendo ser usada diretamente ou convertida em outra forma de uso. Supondo que um país produza mais energia do que consome, exportará para o país que precisa, caso contrário, o levará a perdas de distribuição ou deficiência energética.

Emissões de CO_2: a eficiência não se refere unicamente a produzir com custos mínimos e consumir para gerar o máximo de produção. Conforme Iftikhar *et al*. (2018), o uso das emissões de CO_2 é uma variável alvo em relação ao meio ambiente, sendo fortemente afetada pela participação das energias renováveis na produção total de energia. Dessa forma, é considerado o nível de emissões de CO_2.

GDP: o Produto Interno Bruto (PIB) é a média padrão do valor agregado criado pela produção de bens e serviços em um país durante um determinado período. O uso da energia entre os países é medido pelas variáveis de produção de energia em relação ao seu desenvolvimento econômico, representado pelo PIB nominal per capita.

Com relação a essas variáveis, elabora-se um modelo da pesquisa baseado na proposta de Díaz-Villavicencio, Didonet e Dodd (2017), onde os autores expõem um modelo (FIGURA 2) que permita atender aos requisitos mínimos expressos por Allen (1999). O modelo é separado pelas entradas (inputs) e as saídas (outputs), desejadas e indesejadas, com o entendimento de que todo o processo produtivo gera resíduos, afetando o meio ambiente.

Figura 2 - Modelo de regressão em painel de dados



Fonte: Adaptado de Díaz-Villavicencio, *et al*., 2017.

Ressaltando que as variáveis foram utilizadas como fatores estruturais e sociais a serem estudados, os conceitos de eficiência energética e desenvolvimento sustentável estão entrelaçados ao longo do processo de pesquisa. A metodologia utilizada foi a busca de fatores estruturais, meramente quantitativos (regressão de dados em painel), a fim de identificar as influências da eficiência energética.

Partindo para uma abordagem ambiental básica, conforme sustentam Courcelle *et al.* (1998); Worthington *et al*. (2001); Prior; Rovira (2004); Suh *et al*. (2005); Hellweg *et al*. (2005); Kuosmanen; Kortelainen (2005); Allen (1999); Höh *et al*. (2002); Hernández; Picazo; Reig (1998) entre outros, os autores supracitados tomam variáveis como densidade populacional e produção de energia para seus estudos.

4 METODOLOGIA

Esta seção apresenta os fundamentos da análise de dados longitudinais (curto x longo; balanceado x desbalanceado), conceito essencial para entender o modelo econométrico de regressão de painel.

4.1 ENTENDENDO DADOS LONGITUDINAIS E TIPOS DE PAINEL

Dados longitudinais podem ser compreendidos a partir de uma comparação de dados transversais (Menard, 2002). Os dados são coletados em pelo menos dois períodos diferentes de tempo, o que permite observar a mudança dos valores em cada caso para cada variável de interesse. Em diversos cenários, pode haver variação na disponibilidade de informações transversais ou longitudinais. Como dados em painel são produtos da combinação de ambas, podem ser gerados diferentes tipos de painéis.

O painel curto, "*cross-section dominant*" é quando o número de casos supera a quantidade de períodos temporais, ou seja, $N > T$.

Consequentemente, um painel longo "*temporally dominant*", é quando o número de períodos temporais é maior do que a quantidade de casos, isto é $T > N$.

Outra característica é a disponibilidade de informação. Para isso, o painel é balanceado ou equilibrado quando há informação para todos os casos em todos os períodos de tempo. Em contrapartida, o painel desbalanceado é quando alguns casos estão faltantes em determinados períodos de tempo, de tal maneira que, a ausência de dados pode prejudicar a eficiência dos coeficientes, como erro padrão, p-valor, e intervalos de confiança.

4.2 MODELO GERAL PARA DADOS EM PAINEL

Um modelo de equação de regressão lineal clássico para dados transversais de N observações é assim:

$$y_i = \alpha + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \cdots + \beta_k x_{ki} + u_i \qquad (3.1)$$

Onde y_i é a variável dependente, x_{ki} são as variáveis independentes, β_k os coeficientes de regressão, α é o intercepto comum e u_i é o termo de erro. Da mesma forma, este modelo pode generalizar-se para dados de painel como:

$$y_{it} = \alpha + \beta_1 x_{1,it} + \beta_2 x_{2,it} + \cdots + \beta_k x_{k,it} + u_{it} \quad (3.2)$$

$$i = 1{,}213, \cdots, N$$

$$t = 1{,}213, \cdots, T$$

Deste modo, ele se expande para incorporar variação não apenas entre casos de N, mas também no tempo.

O modelo geral para os dados em painel também pode ser representado por:

$$y_{it} = \beta_{0it} + \beta_{1it} + x_{1it} + \cdots + \beta_{nit} + x_{nit} + e_{it} \quad (3.3)$$

Nesta expressão, o subscrito i mostra os diferentes indivíduos e o subscrito t indica o período de tempo a ser analisado. β_0 concerne ao parâmetro de intercepto e β_k ao coeficiente angular correspondente à *k*-enésima variável do modelo explicado, e_i corresponde a um termo de erro.

A formula matricial para o i-ésimo indivíduo será dada por:

$$y_i = \begin{bmatrix} y_{i1} \\ y_{i2} \\ \vdots \\ y_{iT} \end{bmatrix} X_i = \begin{bmatrix} x_{1i1} & x_{2i1} & \cdots & x_{Ki1} \\ x_{1i2} & x_{2i2} & \cdots & x_{Ki2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{1iT} & x_{2iT} & \cdots & x_{KiT} \end{bmatrix} \beta_i = \begin{bmatrix} \beta_{0i1} & \beta_{1i1} & \beta_{2i1} & \cdots & \beta_{Ki1} \\ \beta_{0i2} & \beta_{1i2} & \beta_{2i2} & \cdots & \beta_{Ki2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \beta_{0iT} & \beta_{1iT} & \beta_{2iT} & \cdots & \beta_{KiT} \end{bmatrix} e_i = \begin{bmatrix} e_{i1} \\ e_{i2} \\ \vdots \\ e_{iT} \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

De tal maneira que y_i e e_i são vetores de dimensão $(Tx1)$ e inclui, nessa ordem, as T variáveis dependentes e os T erros. Sendo assim, X_i, é uma matriz de dimensão (KxT) com as variáveis explicativas do modelo. Portanto, o elemento x_{KiT} remete-se a k-ésima variável explicativa para o indivíduo i no tempo t. Por último, β_i é a matriz dos parâmetros a serem calculados.

O intercepto e os parâmetros, no modelo geral, são diferentes para todo indivíduo e cada período de tempo. De tal maneira que existem mais parâmetros desconhecidos do que observações, consequentemente não é plausível calcular os seus parâmetros.

Os parâmetros da equação 3.1 podem ser estimados fazendo uso do procedimento de mínimos quadrados comuns, permitindo a obtenção dos melhores pressupostos lineares não tendenciosos sob uma série de estimativas, de acordo com o teorema de Gass-Markov. Sem embargo, este modelo é inadequado para a equação 3.2, em razão que frequentemente existe heterogeneidade entre os casos (Gujarati; Porter, 2010, p. 594). Ao agrupar observações, esta diferença é notada por ter um único intercepto (α), assim, os coeficientes (β_k) resultam inconsistentes. Para determinar apropriadamente modelos com dados de painel, foram desenvolvidos dois modelos básicos: o modelo de efeitos fixos e o modelo de efeitos aleatórios.

O Modelo de Efeitos Fixos (*Fixed effects model*), da mesma forma denominado como o modelo de mínimos quadrados com variável indicadora (*Least*

squares dummy variable), é expresso assim:

$$y_{it} = \alpha_i + \beta_1 x_{1it} + \beta_2 x_{2it} + \cdots + \beta_k x_{k,it} + u_{it} \quad (3.5)$$

Contemplando as equações 3.5 e 3.2, é evidente uma única diferença que corresponde ao término do intercepto, em razão de que o modelo de efeitos fixos varia entre unidades (α_i). Esta característica permite contemplar a heterogeneidade entre as unidades. Para este modelo e os posteriores, é possível também especificar um termo λ, o qual capture a diferença entre os períodos de tempo. Não obstante, em painéis com $N > T$, faz mais sentido incluir apenas o componente α_i. Os parâmetros do modelo de efeitos fixos são estimados por meio de mínimos quadrados comuns.

Por outro lado, o Modelo de Efeitos Aleatórios (*random effects model*), denominado por outros como modelo de componentes de variância, é – na aparência – semelhante ao modelo de efeitos fixos enquanto incorpora uma interceptação que varia entre unidades transversais; a diferença está em que o modelo de efeitos aleatórios assume que a interceptação segue uma distribuição de probabilidade, ou seja, é uma variável aleatória. Formalmente, ele é definido da seguinte forma:

$$y_{it} = \beta_1 x_{1,it} + \beta_2 x_{2,it} + \cdots + \beta_k x_{k,it} + \eta_{it} \quad (3.5)$$

Onde η_{it} se desdobra assim:

$$\eta_{it} = \alpha_i + u_{it} \quad (3.6)$$

No qual o intercepto α_i é similar e independentemente distribuído com média zero e variância constante e é independente do erro u_{it}.

Entretanto, se os parâmetros do modelo de efeitos aleatórios forem

estimados por mínimos quadrados comuns, eles serão transversais, mas não eficientes, pelo que se recorre ao método de mínimos quadrados generalizados para alcançar eficiência (Arellano, 2003).

O que deve ser preferido entre os modelos de efeitos fixos e efeitos aleatórios? Embora com painéis de T grandes não se produzam diferenças entre modelos fixos e aleatórios (Hsiao, 2003), em painéis curtos é decidido de acordo com vários critérios, os quais estão resumidos na Tabela 2.

Tabela 2 – Efeitos das variáveis

	Efeitos Fixos	**Efeitos aleatórios**
Origem de dados	População ou não estocástica	Amostras aleatórias
Tipos de amostragem	Estratificados	Conglomerados
Coeficientes invariantes no tempo	Não os estima	Faz o cálculo
Correlação entre variáveis independentes e efeitos não desejados	Suporta correlação	Não suporta correlação
Teste de Hausman	Significativa	Não significativa

Fonte: elaborada a partir de Frees (2004) e Wooldridge (2010)

Em primeiro lugar, se os dados vierem de uma amostra aleatória, como acontece com as pesquisas probabilísticas, os efeitos aleatórios devem ser preferidos. Os efeitos fixos podem ser aplicados em casos de dados populacionais (também chamados de não estocásticos por Western e Jackman, 1994), onde uma amostra não é extraída, mas o universo é estudado, como todas as províncias, distritos ou regiões de um país.

Em situações de amostra complexas ou multietápicas, Frees (2004)

indica que o modelo de efeitos aleatórios deve ser privilegiado quando se realiza amostragem de conglomerados; se a amostragem for estratificada, então deve-se usar o modelo de efeitos fixos. Nisto há uma coincidência com o primeiro critério, pois ao amostrar conglomerados está a ser feita uma seleção aleatória, enquanto a estratificação recorre a um território completo.

Quanto aos resultados da estimativa, deve-se ter em conta que os modelos de efeitos fixos geralmente não estimam coeficientes invariáveis no tempo, enquanto os efeitos aleatórios estimam. Por exemplo, se o sistema eleitoral não mudar em nenhum país incluído no painel, então seu coeficiente não poderá ser estimado sob o modelo de efeitos fixos. A propósito dessa deficiência, Plümper e Troeger (2007) propuseram uma correção para obter coeficientes de variáveis que mudam pouco ou nada no tempo.

Finalmente, Wooldridge (2010) argumenta que o aspecto mais relevante para decidir entre efeitos fixos e aleatórios é se existe correlação entre as variáveis in- pendentes observadas $x_{k,it}$ e os efeitos não observados α_i. Os modelos de efeitos aleatórios assumem que não há correlação entre os dois, enquanto os efeitos fixos permitem.

Para verificar a correlação entre variáveis explicativas e os efeitos não observados, geralmente é executado o teste de Hausman (1978), que compara os estimadores dos coeficientes de regressão de efeitos fixos com os coeficientes de efeitos aleatórios, sob a hipótese nula de que não existem variáveis omitidas constantes no tempo. Se a hipótese nula não for rejeitada sob algum nível de significância, então o estimador de efeitos aleatórios é mais eficiente, pois não existem variáveis omitidas ou efeitos não observados. Pelo contrário, se a hipótese nula for rejeitada, então o estimador de efeitos fixos é preferível, uma vez que existem variáveis omitidas correlacionadas com as observadas.

Tanto os modelos de efeitos fixos como os de efeitos aleatórios são apropriados quando se tratam painéis estáticos. Quando existem efeitos temporais, ou seja, onde se quer modelar a história ou a sequência temporal, fala-se de painel dinâmico. Um caso frequente – mas não o único – de modelo dinâmico é aquele que inclui a variável dependente atrasada (*lagged dependent variable*) ou medida em um ponto anterior no tempo.

$$y_{it} = \delta y_{i,t-1} + \beta_1 x_{1,it} + \beta_2 x_{2,it} + \cdots + \beta_k x_{k,it} + \alpha_i + u_{it} \qquad (3.7)$$

O efeito deste atraso é estimado pelo coeficiente λ, para o qual se assume $|\lambda| < 1$, denominado o "suposto de estacionância". Este tipo de especificação é útil para considerar fatores que têm um impacto crescente no tempo, ou então impactos que decaem (Wawro, 2002).

Persson e Tabellini (2003) também recorrem aos Modelos de variável dependente atrasada para explicar resultados de políticas públicas e econômicas, tais como o excedente orçamental que depende não só de variáveis explicativas institucionais e geográficas, mas também dos próprios níveis passados do balanço orçamental. Em geral, é importante incluir a variável dependente atrasada apenas quando é teoricamente justificada, ou seja, quando existe um processo dinâmico em que os valores passados influenciam os presentes (Achen, 2000; Keele; Kelly, 2006).

Para estimar modelos dinâmicos de variável dependente atrasada, foi provado que tanto os efeitos fixos quanto os efeitos aleatórios são tendenciosos devido ao caráter endógeno da variável $y_{i,t-1}$ (Nickell, 1981; Baltagi, 2005): este termo – como pode ser demonstrado – correlaciona-se com os erros, o que gera coeficientes que, em média, se afastam dos valores reais dos parâmetros. É por isso que as variáveis instrumentais foram utilizadas como alternativa. Uma variável instrumental – ou um instrumento – é aquela que está parcialmente correlacionada com uma variável endógena (neste caso, $y_{i,t-1}$), mas não com o termo do erro (Wooldridge, 2010). Sob esta lógica, Anderson e Hsiao (1982) propuseram usar $y_{i,t-2}$, ou seja, a variável dependente com dois períodos para trás, bem como a diferença entre o segundo período e o primeiro ($y_{i,t-1} - y_{i,t-2}$) para estimar a variável dependente diferenciada ($\Delta y_{it} = y_{it} - y_{i,t-1}$).

Por conta própria, Arellano e Bond (1991) descobriram que os estimadores Anderson-Hsiao são ineficientes ($i.e.$, geram amplos erros padrão),

então promovem a estimativa usando não apenas $y_{i,t-2}$, mas todos os atrasos disponíveis (exceto y_{t-1}, que é endógeno). Este estimador, que se enquadra no método dos momentos generalizados (*generalized method of moments*), tornou-se um dos mais populares na econometria (Wansbeek, 2012), embora também existam revisões e críticas (Arellano; Bover, 1995; Blundell; Bond, 1998; Kiviet, 1995; Roodman, 2009). Em ciência política, o estimador Arellano-Bond tem sido usado para prever o nível de interesse político das pessoas em função de seu interesse no ano anterior (Prior, 2010), para analisar a ligação entre nível de democracia e inversão estrangeira direta (Doces, 2010), e para estudar a relação entre fragmentação política e déficit orçamentário (Elgie; Mcmenamin, 2008).

5 RESULTADOS

Este capítulo tem como objetivo apresentar os resultados obtidos por meio da análise de dados. Primeiramente, será apresentada a composição da amostra utilizada no estudo, seguida pela estatística inferencial dos dados analisados.

5.1 ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS

A amostra consiste em dez países da América do Sul: Argentina, Bolívia, Brasil, Chile, Colômbia, Equador, Peru, Paraguai, Uruguai e Venezuela, para os quais foram coletado dados anuais durante o período de 2000-2020. Os dados coletados das variáveis foram tomados de várias fontes, como se observa na Tabela 3, incluindo o Banco Mundial (WDI), a Agência Internacional de Energias Renováveis (IRENA) e o Balance Energético Nacional (BEN). Como os dados brutos coletados estão em diferentes unidades métricas, foi aplicada uma conversão para torná-los adequados para a análise empírica.

Tabela 3 - Definições das variáveis

Variable	Abrev.	Un.	Fonte
Input variáveis			
Eletricidade de Fontes Renováveis (X1)	E.F.R.	kWh	IRENA*
Taxa de Urbanização (X2)	T.U.		WDI
Produto Interno Bruto (X3)	P.I.B.	US$	WDI
Output variáveis			
Produção de Energia Primaria (Y1)	P.E.P	kWh	BEM*
CO_2 (Y2)	CO_2	Mkg	EIA / WDI*

Fonte: Elaborada pelo autor, 2023.
Notas: O símbolo * denota cálculos próprios em dados das fontes fornecidas

As estatísticas descritivas são classificadas em dois grupos, entrada (input) e saídas (output), para indicar sua finalidade na análise, como se observa na Tabela 4. A distribuição dos dados da amostra está resumida pelas médias de cada país em cada uma das variáveis entre os grupos, dado que os valores das variáveis relacionadas à energia diferem significativamente de um para outro.

Tabela 4 - Estatísticas resumidas das médias por países das variáveis durante todo o período

País	Variável Input			Variável Output	
	E.F.R.	T.U.	P.I.B.	P.E.P	CO_2
Argentina	3,61	4,10	3,86	8,47	162475
Bolívia	2,45	1,00	2,22	1,14	15235,29
Brasil	4,75	1,95	1,56	2,84	395787
Chile	2,89	1,71	1,94	1,26	69388
Colômbia	4,45	4,52	2,41	1,52	67460,24
Equador	1,24	1,51	6,93	2,39	32662,57
Paraguai	5,44	6248018	2,52	8,37	5725,524
Peru	2,28	2,93	1,41	2,18	42026,71
Uruguai	9,45	3373326	3,70	2,66	6331,81
Venezuela	7,09	2,78	2,15	7,02	154674,9

Fonte: Elaborada pelo autor, 2023.
P.E.P: Produção de Energia Primaria
E.F.R: Eletricidade de Fontes Renováveis
T.U: Taxa de urbanização
P.I.B.: Produto Interno Bruto

A América do Sul é diversa, com abundantes recursos naturais e com grandes desafios, mas o setor energético sempre foi considerado um privilégio da região. O Brasil se destaca pelo mercado de hidrocarbonetos, urânio e biocombustíveis. A Venezuela tem uma grande reserva petrolífera, por outro lado, a Argentina tem a exploração de gás xisto e óleo não convencional. O Peru, a Bolívia, o Paraguai e o Uruguai tem o potencial para geração de hidroeletricidade. O Chile tem uma alta porcentagem de produção de energia primária, como carvão na matriz energética (Fuser, 2015)

A Tabela 5 apresenta as estatísticas resumidas para as variáveis definidas de todos os países durante todo o período. Os valores médios e as medidas de desvio-padrão, mínimo e máximo estão apresentados na tabela.

Tabela 5 - Estatísticas resumidas para todos os países durante o período

Variable	Obs.	Mean	Min	Max	St. Dev.
Input variáveis					
Eletricidade de Fontes Renováveis	210	5,03	1,93	6,08	1,44
Taxa de Urbanização	210	3,90	3319734	2,13	5,40
Produto Interno Bruto	210	2,89	4,03	2,62	4,98
Output variáveis					
Produção de Energia Primária	210	9,90	1,10	3,96	9,76
CO_2	210	95176,1	3753	506780	116348

Fonte: Elaborada pelo autor, 2023.
Notas: a amostra consiste em 10 países com dados para 20 períodos de tempo

O valor médio da eletricidade de Fontes Renováveis é de 5,03 kWh, o que significa que são necessários 5,03 kWh para gerar energia limpa nos países analisados. Uruguai, Paraguai e Venezuela são os países com maior eletricidade de fontes renováveis. Equador, Peru e Bolívia estão abaixo da média, inferiores a 2,45 kWh durante o período analisado. A produção de energia primária tem um valor médio de 9,90 kWh entre os países, de acordo com o Balanço Energético Nacional, o qual não inclui a importação de energia primária, tomando em conta que estão inclusas as energias primárias renováveis e não renováveis. Sendo assim, o desvio padrão desta variável é de 9,76, em outras palavras, o grau de variabilidade da produção de energia primária entre todos os países.

5.2 TESTES DE ESPECIFICAÇÃO

Dentro da análise de dados em painel, podem surgir problemas com a multicolinearidade, que afeta de forma negativa as estimativas da regressão e pode levar a conclusões equivocadas. Sendo assim, o teste para detectar a situação de multicolinearidade é o teste VIF (*variance inflation fator*), o qual estipula que o valor médio do VIF não deve ser maior de 10, sendo acima de 5 preocupante. Na Tabela 6 pode-se observar que o valor médio VIF é de 3,18, o que apoia o argumento de que a multicolinearidade não é uma preocupação no modelo.

Tabela 6 - Valores das correlações e dos VIF

	CO2	Y1	X1	X2	X3
CO2	1.0000				
Y1[1]	0.6092	1.0000			
X1[2]	0.8802	0.6564	1.0000		
X2[3]	0.9279	0.6775	0.9628	1.0000	
X3[4]	0.9080	0.6258	0.9064	0.8996	1.0000
VIF		1.96	3.85	3.10	3.83
1/VIF		0.509152	0.260061	0.322338	0.261302
Mean Vif 3.18					

Fonte: Elaborada pelo autor, 2023.
[1]Y1: Produção de Energia Primaria
[2]X1: Eletricidade de Fontes Renováveis
[3]X2: Taxa de urbanização
[4]X3: Produto Interno Bruto

Pela tabela anterior, pode-se afirmar que as variáveis de produção de energia de fontes renováveis, taxa de urbanização e produto interno bruto, tem uma correlação positiva sobre o CO_2. A técnica de dados em painel permite o controle da heterogeneidade. Quando se analisa um grande número de indivíduos, isso proporciona mais informações, em outras palavras, menos colinearidade, normalmente encontrada em séries temporais.

O teste de Hausman compara as estimativas de efeitos aleatórios com as de efeitos fixos. A Tabela 7 mostra o teste que foi usado para averiguar a consistência dos valores estimados, comparando-os, e identificar quais os efeitos fixos ou aleatórios a serem usados no modelo.

Tabela 7 - Teste de Hausman

	(b) fixed	(B) random	(b-B) diference	sqrt(diag(v_b-v_B)) S.E.
Y1[1]	1.92e-08	2.56e-08	-6.40e-09	2.45e-09
X1[2]	-2.85e-08	-2.02e-08	-8.25e-08	7.95e-10
X2[3]	.0037053	.0021666	.0015387	.0003744
X3[4]	4.85e-08	5.60e-08	-7.53e-09	.
	Chi[2] = 16.89		Prob>chi2 = 0.0000	

Fonte: Elaborada pelo autor, 2023.
[1]Y1: Produção de Energia Primaria
[2]X1: Eletricidade de Fontes Renováveis
[3]X2: Taxa de urbanização
[4]X3: Produto Interno Bruto

A tabela mostra que o resultado do chi-quadrado é de 16.89. Sabendo-se que quando o p valor (Prob>chi2 = 0.0000) é próximo de zero há uma relevância estatística, estou rejeitando a hipótese nula de que não há relevância entre os dois modelos, ou seja, serão utilizados os efeitos fixos, pois, para o painel, o modelo de efeitos fixos é o que melhor se encaixa.

5.3 RESULTADOS EMPÍRICOS

Os resultados estatísticos para o modelo de efeitos fixos são apresentados na Tabela 8. A regressão linear foi realizada com o modelo de efeitos fixos, anteriormente testado, tomando a variável de emissões (CO_2) como variável dependente, e as outras como independentes, conforme se observa na tabela, onde ela aparece no topo, e as outras abaixo dela. A última variável que aparece na tabela é a (_cons), que representa a constante, ou também conhecida como a interceptação Y, a altura da regressão quando cruza o eixo Y.

Tabela 8 - Resultados estimativos do modelo de efeitos fixo com variável dependente emissões (CO2)

CO_2	Coeficientes das estimativas	Erro padrão das estimativas	t	P-valor	Intervalos de confiança das estimativas [95% conf. Interval]	
Y1	1.92e-08	5.62e-09	3.41	0.001	8.07e-09	3.02e-08
X1	-2.85e-08	6.53e-09	-4.36	0.000	-4.13e-08	-1.56e-08
X2	.0037053	0.000457	8.11	0.000	.0028041	.0046066
X3	4.85e-08	5.11e-09	9.50	0.000	3.84e-08	5.86e-08
_cons	-68047.28	13771.42	-4.94	0.000	-95206.47	-40888.09
Sigma_u	100979.77					
Sigma_e	10900.863					
Rho	.98847947					
Teste F que todos u_i=0 F(9, 196) =234.76 Prob>F=0.0000						

Fonte: Elaborada pelo autor, 2023.
Y1: Produção de Energia Primaria
X1: Eletricidade de Fontes Renováveis
X2: Taxa de urbanização
X3: Produto Interno Bruto

A Tabela 8 apresenta os resultados da análise de regressão, onde os coeficientes representam a influência das variáveis independentes sobre a variável dependente, informando a quantidade de aumento nas pontuações. Além disso, o valor t mede o tamanho da diferença em relação a variação da amostra, ou seja, a diferença calculada representada em unidade de erro padrão (Gujarati; Porter, 2011). Se o valor de t for maior, significa a evidência contra a hipótese nula (não diferença significativa), portanto, quanto maior a magnitude de t (positivo ou negativo), mais forte é a evidência contra a hipótese nula, indicando uma diferença significativa. Por outro lado, se o valor de t estiver próximo de zero, é mais provável que não haja diferença significativa, e o p-valor ajuda a determinar a significância dos resultados.

Conforme evidenciado na Tabela 8, a variável Y1 (Produção de Energia Primária) demostrou-se estatisticamente significativa na explicação da variável dependente CO_2. O sinal positivo da variável expôs-se conforme esperado, indicando que um aumento na variável de interesse Y1 está associado a um aumento em 1.92 nas emissões. A variável independente X1 (Eletricidade de Fontes Renováveis) revelou-se na influência da variável dependente, conforme mostrado na Tabela 7, com o sinal negativo indicando que, para 1% de produção de eletricidade

de fontes renováveis, as emissões reduzem em 2.85 de emissões de CO_2, uma vez que o aumento da variável X1 tende a estar associado a uma redução na variável CO_2. As variáveis X2 (Taxa de urbanização) e X3 (Produto Interno Bruto) são significativas na variável dependente, com sinal positivo trazendo evidências empíricas de que um aumento na taxa de urbanização e no PIB está associado a um aumento nas emissões.

6 DISCUSSÃO

Conforme mencionado na seção anterior, passaremos para a discussão dos resultados. O foco principal desta dissertação é estudar os fatores determinantes da produção de energia com a geração calcada em fontes renováveis e sua influência no aumento ou diminuição da eficiência energética, especificamente o caso colombiano em relação aos países da América do Sul. Os fenômenos climáticos na América do Sul têm aumentado nos últimos vinte anos em comparação com as décadas anteriores, com aumento na frequência e intensidade de inundações e precipitações que acarretarão consequências socioeconômicas na população.

O problema das emissões de CO_2, provenientes da queima de combustíveis fósseis, tem recebido atenção significativa dos governos em todo o mundo, devido aos seus impactos, e as nações estão adotando estratégias de energia renovável a fim de reduzi-los. As consequências das mudanças climáticas colocam a Colômbia em grande risco, visto que, a maioria da população vive em áreas elevadas dos Andes, com inundações e instabilidade do solo, apesar de ele ser rico em recursos naturais, como ouro, gás natural, cobre, ferro e esmeraldas, o que contribui para o desenvolvimento econômico e causa um impacto contrário na qualidade ambiental (Awosusi *et al.*, 2022).

A Colômbia depende em grande parte da energia hidroelétrica. Em 2019, o país tinha 18 GW da capacidade instalada, dos quais 66% pertencem à hidroelétricas, tornando-o dependente da quantidade de água armazenada e da disponibilidade dela em todos os períodos, não da capacidade de geração instalada. Em 2015 e 2016, o fenômeno "*El niño*" afetou a geração hidroelétrica, a qual teve uma baixa de mais de 6% da geração total média, onde as fontes de energias fósseis compensaram a produção, e consequentemente as emissões de CO_2 aumentaram mais de 2 Mt (Irena; Usaid, 2021).

O acesso à energia elétrica é fundamental para atividades do dia a dia. No entanto, em 2019, a taxa de eletrificação na Colômbia foi de 97%, sendo que as taxas de acesso nas áreas urbanas representam 99% e nas zonas rurais é de 86%. Isso representa mais de 2,2 milhões de pessoas sem acesso à eletricidade, onde a disponibilidade de energia é limitada e o uso de geradores a diesel é o mais utilizado. Essas condições afetam as populações que pertencem a comunidades

isoladas que continuam sendo prejudicadas pelo longo conflito civil, moradores das zonas mais distantes, sem acesso e sem desenvolvimento (Garces *et al*., 2021). No caso do Paraguai, em 2019, a taxa é de 99,95% com acesso a eletricidade, sendo um país reconhecido por sua matriz energética limpa, principalmente de hidroelétricas, e apesar de as alterações climáticas terem alterado sua segurança energética, o país pretende diversificar com a implementação de tecnologias em hidrogênio verde (Irena, 2021). Na Argentina, a cobertura de eletricidade é de 98,8% da população, com 99,6% na área urbana e 98,5% na zona rural (Jacinto; Carrizo, 2018). No caso do Chile, a falta de cobertura na zona urbana representa 0,4%, e nas zonas rurais 3,5% (García, 2021). No Peru, a cobertura na região urbana é de 96,8% e 79,1% das zonas rurais (Inei, 2019). O Uruguai tem 99% da cobertura de eletricidade apenas 1% sem energia (Reyes; Amigo; Contreras, 2023). Na Bolívia, a taxa de eletrificação é de 94,6%, e na área rural 83,5% (Olade, 2022). Na Venezuela, a porcentagem de eletrificação é de 98,7%, tendo a zona urbana com 99,9% e a zona rural com 98,7%. No Equador, a taxa de eletrificação é de 98,8%, com 99,7 na zona urbana e 97,4% na zona rural. Já no Brasil, o total da taxa de eletrificação é de 99,8%, tendo a zona rural 97,3%, e a zona urbana 99,8%.

Um dos objetivos do desenvolvimento sustentável (ODS) 2030 é o ODS7 - Energia limpa e acessível, que visa garantir o acesso à energia limpa e sustentável, deixando de lado as fontes não renováveis. A falta de eletricidade nas áreas rurais pode levar a distintas limitações econômicas, de saúde e educação, resultando em uma baixa qualidade de vida. O impacto da Covid-19 tem aumentado a vulnerabilidade das comunidades isoladas e não interconectadas. Sendo assim, o desenvolvimento de políticas públicas que incentivem a geração de energia sustentável é uma prioridade para os países, especificamente na América do Sul, a fim de alcançar a universalização da energia. De fato, o ODS7 visa garantir a diminuição dos impactos nas emissões de CO_2 de forma significativa, como foi mostrado estatisticamente.

A América do Sul enfrentará a necessidade de novas gerações de eletricidade para atender a crescente demanda. Neste contexto, o incentivo será a geração de energia a partir de fontes de baixo carbono, com a implementação da eficiência energética, visando reduzir as emissões de CO_2, conseguindo matrizes energéticas mais sustentáveis e contribuindo na mitigação dos impactos ambientais. Os fatores determinantes na produção de energia renovável aumentam o nível da

eficiência energética, conforme demostrado estatisticamente, pois a produção de eletricidade de fontes renováveis reduz significativamente as emissões de CO_2, além de trazer benefícios econômicos.

As melhoras na eficiência energética desempenham um papel fundamental no desenvolvimento sustentável, com a capacidade de impulsionar o crescimento econômico e reduzir o consumo de energia e as emissões de gases de efeito estufa. Ao reduzir o desperdício de energia e promover o uso de fontes renováveis, a eficiência também contribui para mitigar as mudanças climáticas e aprimorar a qualidade de vida das pessoas (Cotte; Pardo, 2011). O consumo da energia está ligado ao desenvolvimento da qualidade de vida, visto que, ao se promover um, se aumenta o outro. Por outro lado, a eficiência energética está baseada no consumidor, ou seja, na quantidade de recursos energéticos suficientes para satisfazer as necessidades humanas, visando a redução da pobreza energética e as emissões de CO_2 (Nadimi; Tokimatsu, 2019).

7 CONCLUSÕES

O trabalho está estruturado em três partes principais: o marco teórico e a revisão da literatura, a metodologia, os resultados e a discussão. O objetivo é estudar os fatores determinantes da produção de energia com a geração calcada em fontes renováveis e como ela influencia no aumento ou diminuição da eficiência energética, especificamente no caso colombiano em relação aos países da América do Sul.

A pesquisa busca responder as hipóteses de que existem fatores que influenciam a geração de CO_2 na América do Sul, levando em consideração as energias produzidas por fontes renováveis e primárias, e que o uso da produção de energia por fontes renováveis traz benefícios para o consumidor e o meio ambiente.

O impacto das emissões de CO_2 na produção de energia foi analisado em dez países da América do Sul, durante o período de 2000 a 2020, utilizando regressão com dados em painel de efeitos fixos. Os resultados revelaram significância, estatisticamente, para as variáveis de produção de energia primária e eletricidade de fontes renováveis.

Os resultados indicaram que a eletricidade de fontes renováveis reduz as emissões de dióxido de carbono em 2,85% a longo prazo. Neste contexto, a eficiência energética emerge como um fator determinante na produção de energia. É relevante destacar que, apesar dos desafios no acesso à energia elétrica em algumas regiões isoladas, é necessário implementar políticas públicas que promovam a geração de energia limpa e acessível para todos, com o objetivo de cumprir o ODS7 e a universalização do acesso à energia.

Os resultados enfatizam a importância do consumo de energia de fontes renováveis na formulação de políticas públicas sustentáveis a longo prazo, em relação ao suprimento de energia, segurança energética e energia livre de emissões. A eficiência energética pode impactar a demanda de energia e assumir um papel fundamental nas políticas energéticas, tendo relação direta com a redução das emissões de efeito estufa e o consumo de energia, garantindo a qualidade de vida e do meio ambiente para as gerações presentes e futuras.

Os resultados da análise fornecem informações relevantes para a formulação de políticas públicas, priorizando os marcos regulatórios em relação a produção de eletricidade de fontes renováveis, mostrando que reduz

significativamente as emissões de CO_2. Além disso, o desenvolvimento de tecnologias para as comunidades isoladas contribuirá de forma implícita com a melhoria da qualidade de vida dessa população. Com base nessas informações, é possível promover políticas públicas focadas na universalização da energia e no equilíbrio do meio ambiente.

REFERÊNCIAS

ACHEN, C. **Why Lagged Dependent Variables Can Suppress the Explanatory Power of Other Independent Variables**. in Annual Meeting of the Political Methodology Section**.** American Political Science Association. University of California, Los Angeles. 2000.

ACUNA, M.; SILVA C; TOCARUNCHO A.; VARGAS D.; PATINO D.; BARRERA D.; PENA J. Operational Planning of Energy for Non-Interconnected Zones: A Simulation-Optimization Approach and a Case Study to Tackle Energy Poverty in Colombia. **Energies**, v. 14, n. 10, p. 2789, 2021.

ALLEN, K. DEA in the Ecological Context – an Overview. *In*: G. Westermann (ed) **Data envelopment analysis in the service sector**. Wiesbaden, Gabler Edition Wissenshaft, 2003.

ÁLVAREZ, A. **La medición de la eficiencia y la productividad.** Editorial Pirámide. ISBN: 84-368-1586-6. 2001.

ARANGO-MANRIQUE, A.; LÓPEZ-GARCÍA D.; ARANGO-LEMOINE, C.; CARVAJAL-QUINTERO S. X. Business Model Proposal for Energy Transition towards Operational and Economic Sustainability for Rural Electrification: Colombian Case. **Sustainability,** v. 13, n. 8, p. 4308, 2021.

AREALLANO, M.; BOND, S. Some Tests of Specification for Panel Data: Monte Carlo Evidence and an Application to Employment Equations. **The Review of Economic Studies**, v. 58, n. 2, p. 277-297,1991. Disponível em: https://doi.org/10.2307/2297968. Acesso em:

ARELLANO, M. **Panel Data Econometrics**. New York: Oxford University Press. 2003. Disponível em: https://doi.org/10.1093/0199245282.001.0001. Acesso em:

ARELLANO, M.; BOUVER O. Another look at the instrumental variable estimation of error-components models. **Journal of Econometrics**, v. 68, n.1, p. 29-51, 1995. Disponível em: https://doi.org/10.1016/0304-4076(94)01642-D. Acesso em:

AWOSUSI, A.; MATA, M. N.; AHMED, Z.; COELHO, M. F.; ALTUNTAŞ, M.; MARTINS, J. M.; MARTINS, J. N.; ONIFADE, S. T. How do renewable energy, economic growth and natural resources rent affect environmental sustainability in a globalized economy? Evidence from Colombia based on the gradual shift causality approach. **Frontiers in Energy Research**, v. 9, p. 905, 2022.

BANKER, R., CHARNES, A., COOPER, W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. **Management Science**, v. 30, n. 9. p.1078,1984.

BANKER, R., CHARNES, A., COOPER, W., SWARTS, J., THOMAS, D. “An introduction to Data Envelopment analysis with some of their models and its uses.” **Research in Governmental and Nonprofit Accounting**, n° 5, p. 125-163. *In*:

MARTÍNEZ, S.; QUINDÓS, M., 1989

BANKER, R.; COOPER, W.; SEIFORD, L.; THRALL, R.; ZHU, J. Returns to scale in different DEA models. **European Journal of Operational Research**, 154. p. 345-362, 2004.

BECO - Balance Energético Nacional Colombia. Disponível em: https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Páginas/BECO.aspx. Accesso em: 20 jun. 2022.

BEN - Balance Energético Nacional Argentina. Disponível em: https://www.argentina.gob.ar/economia/energia/hidrocarburos/balances-nergeticos 2000-2020 Acesso em: 20 jun. 2022

BEN - Balaço Energético Nacional Brasil. Disponível em: http://shinyepe.brazilsouth.cloudapp.azure.com:3838/ben/. Acesso em: 20 jun. 2022.

BEN - Balance Energético Nacional Bolívia. Disponível em: https://www.mhe.gob.bo/balance-energetico-nacional-2006-2020/. Acesso em: 20 jun. 2022.

BEN - Balance Energético Nacional Chile. Disponível em: https://energia.gob.cl/pelp/balance-nacional-de-energia. Acesso em: 20 jun. 2022.

BEN - Balance Energético Nacional Ecuador. Disponível em: https://www.recursosyenergia.gob.ec/5900-2/. Acesso em: 20 jun. 2022.

BEN - Balance Energético Nacional Paraguay. Disponível em: https://www.ssme.gov.py/vmme/index.php?option=com_content&view=article&id=1805. Acesso em: 20 jun. 2022.

BEN - Balance Energético Nacional Peru. Disponível em: https://www.minem.gob.pe/_publicaSector.php?idSector=12. Acesso em: 20 jun. 2022.

BEN - Balance Energético Nacional Uruguay. Disponível em: https://ben.miem.gub.uy/. Acesso em: 20 jun. 2022.

BLUNDELL, R.; BOND S. Initial conditions and moment restrictions in dynamic panel data models. **Journal of Econometrics**, 87: 115-143. 1998. Disponível em: https://doi.org/10.1016/S0304-4076(98)00009-8. Acesso em:

BRUNTLAND, G. **Our common future:** The World Commission on Environment and Development. Oxford, Oxford University Press. 1987.

CAVES, D.; CHRISTENSEN, L.; DIEWERT, W. Multilateral comparisons of output, input, and productivity using superlative index numbers. **The Economic Journal**, v. 92, n. 365, p.73-86, 1982.

CHARNES, A.; COOPER, W.; LEWIN, A.; SEIFORD, L. M. **Data envelopment**

analysis: theory, methodology and applications. Kluwer Academic Publishers, Boston, 1994.

CHARNES, A.; COOPER, W.; RHODES, E. Measuring the efficiency on decision making units. **European Journal of Operational Research**, n. 2, p.429-444, 1978.

CHUNG, Y., FÄRE, R., GROSSKOPF, S. Productivity and undesirable outputs: a directional distance function approach. **Journal of Environmental Managenment**, n. 51, p. 229-240,1997.

CONTRERAS R. L.; SALGADO R. P. **"Informe regional sobre el ODS 7 de sostenibilidad energética en América Latina y el Caribe**". Documentos de Proyectos (LC/TS.2021/219), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). 2021.

COTTE P., A.; PARDO M.C. I. Trends in economic growth, poverty and energy in Colombia: long-run and short-run effects. **Energy Systems**, v. 2, n. 3, p. 281-298, 2011.

COURCELLE, C., KESTEMONT, M. P.; TYTECA, D. Assessing the economic and environmental performance of municipal solid waste collection and sorting programmes, **Waste Management & Research**, v. 16, n. 3, p. 253-263,1998.

CULLEN, J. M.; ALLOWOOD, J. M. The efficient use of energy: Tracing the global flow of energy from fuel of service. **Energy Policy**, v. 38, n, 1, p. 75-81 doi: 10.1016/j.rnpol.2009.08.054, 2010.

DÍAZ-VILLAVICENCIO, G.; DIDONET, S. R.; DODD, A. Influencing factors of eco-efficient urban waste management: Evidence from Spanish municipalities. **Journal of Cleaner Production**, v. 164, p. 1486-1496, 2017.

DOCES, J. A. The Dynamics of Democracy and Direct Investment: An Empirical Analysis. **Polity**, 42 (3): 329-351. 2010. Disponível em: https://doi.org/10.1057/pol.2010.1. Acesso em:

ELGIE, R.; MCMENAMIN I. Political Fragmentation, Fiscal Deficits and Political Institutionalisation. **Public Choice**, 136, n. 3 e 4, p. 255-267, 2008. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s11127-008-9294-x. Acesso em:

ENFLO, K.; HENRIQUES, S. **Bias-corrected estimates of Total Factor Energy Efficiency in OECD and Non-OECD countries 1965-1990.** Department Of Economic History Lund University Work in progress, 2007. Disponível em: http://www.ekonomiskhistoria.se. Acesso em: 21 mar. 2022.

ERLICH, P**. Forward facing up to climate change**. **Global Climate Change and Life on Earth***.* RC Wyman (Ed), Chapman and Hall, London, p. 15-20, 1991.

FÄRE, R., GROSSKOPF S. Theory and application of directional distance functions. **Journal of Productivity Analysis,** n. 13, p. 93-103, 2000.

FÄRE, R.; GROSSKOPF, S.; LOVELL, K. **Production frontiers**. Cambridge University Press, 1994.

FÄRE, R.; GROSSKOPF, S.; LOVELL, K. The measurement of efficiency of production.1985. Boston-Dordrecht-Lancaster: Kluwer-Nijhoff Publishing. *In*: **La medición de la eficiencia y la productividad**, ÁLVAREZ, A., 2001.

FÄRE, R.; GROSSKOPF, S.; LOVELL, K.; PASURKA, C. Multilateral productivity comparisons when some outputs are undesirable: a nonparametric approach. **The Review of Economics and Statistics**, v. 71, n. 1, p.90-98,1989.

FÄRE, R.; GROSSKOPF, S.; LOVELL, K.; YAISAWARNG, S. Derivation of shadow prices for underisable output. **Review of Economics and Statistics,** n. 75, p. 374-380, 1993.

FARRELL, M.; FIELDHOUSE, M. Estimating efficient production functions under increasing returns to scale. **Journal of the Royal Statistical Society A**. v. 125, p.252-267, 1962.

FARRELL, M.J. The measurement of productive efficiency. **Journal of the Royal Statistics Society**, série A, v. 120, n. 3, p. 253-81,1957.

FISHER-KOWALSKI, M.; HABERL, H. El metabolismo socioeconómico. **Revista Ecología Política**, Ed. Icaria, n. 19 p. 21-33. Barcelona. España. 2000.

FOULDS, C., ROYSTON, S., BERKER, T. An agenda for future Social Sciences and Humanities research on energy efficiency: 100 priority research questions. **Humanities and social sciences communications,** v. 9, n 1, p 1-18, 2022.

FREES, E. W. **Longitudinal and Panel Data. Analysis and Applications in the Social Sciences.** New York: Cambridge University Press. 2004. Disponível em: https://doi.org/10.1017/CBO9780511790928. Acesso em:

FUSER, I. **Energia e relações Internacionais**. Ed. Saraiva: São Paulo, SP, 2013.

FUSER, I. **Panorama da integração energética na América do Sul, impasses e perspectivas de avanço**. Rio de Janeiro: CEBRI, v. 2, 2015.

GARCES E.; TOMEI J.; FRANCO C. J.; DYNER I. Lessons from last mile electrification in Colombia: Examining the policy framework and outcomes for sustainability. **Energy Research & Social Science,** v. 79, 102456, 2021.

GARCÍA, B. N. **Matriz energética y eléctrica en Chile**. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. Numero SUP. 132113. Disponível em: https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/32492/1/BCN_Matriz_energetica_electrica_en_Chile.pdf. Acesso em: 19 maio 2023

GOLDEMBERG, J.; JOHANSSON, T.; REDDY, A.; WILLIAMS, R. Energy efficiency from the perspective of developing countries. **Energy for Sustainable Development,** v. 1, n. 2, p. 28-34, 1994. Disponível em: 10.1016/S0973-

0826(08)60029-0. Acesso em:

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. **Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento**. Ed. Universidade de São Paulo, vol 3. São Paulo, 2012.

GUJARATI, D. N.; DAWN C. P. Econometría. México: McGraw Hill. Hausman, Jerry A. 1978. Specification Tests in Econometrics, **Econometrica**, 46 (6):1251-1271. 2010. Disponivel em: https://doi.org/10.2307/1913827. Acesso em:

HAUSMAN, J. A. Specification Tests in Econometrics. **Econometrica**, v. 46, n. 6, p. 1251-1271,1978. Disponível em: https://doi.org/10.2307/1913827. Acesso em:

HELLWEG, S.; DOKA, G., FINNVEDEN G.; HUNGERBÜHLER, K. Assessing the ecoefficiency of end-of-pipe technologies with the environmental cost efficiency indicator. **Journal of Industrial Ecology**, v. 9, n. 4. 2005.

HERNÁNDEZ, F.; PICAZO, A.; REIG, E. **Análisis no paramétrico de eficiencia en presencia de outputs no deseados**. Editor: Instituto Valenciano de Investigación Económica, s.a. WP-EC 97-09. ISBN: 84-482-1557-5, 1997.

HERNÁNDEZ, F., PICAZO, A., REIG, E. Funciones distancia direccionales y eficiencia medioambiental: un análisis para la industria cerámica española. **III encuentro de Economía Aplicada**, Valencia, 1-3 junio 2000.

HERRAN, D. S.; NAKATA, T. **Renewable technologies for rural electrification in Colombia: a multiple objective approach**. International Journal of Energy Sector Management, 2008.

HIERREZUELO, J. M.; MOLINA E. G. Una propuesta para la introducción del concepto de energía en el bachillerato. **Enseñanza de las ciencias**, Barcelona, v. 8 n. 1, p. 23-30, 1990.

HÖH, H.; SCORE, K.; SEIBEL, S. Eco-efficiency indicators in German environmental economic accounting. **Statistical Journal of the United National**, ECE, n. 19, p. 41-52, 2002.

HSIAO, C. **Analysis of Panel Data**. New York: Cambridge University Press. 2003. Disponível em: https://doi.org/10.1017/CBO9780511754203. Acesso em:

HUB DE ENERGÍA. Balance Energético Nacional Venezuela. Disponível em: https://hubenergia.org/es/countries-and-regions/venezuela. Acesso em: 20 jun. 2022.

IFTIKHAR, Y.; HE, W.; WANG, Z. Energy and CO2 emissions efficiency of major economies: A non-parametric analysis. **Journal of Cleaner Production,** n.139, p. 779–787, 2016.

INEI. Instituto Nacional de Estadística e Informática. 2019. Disponível em: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1756/cap04.pdf. Acesso em: 20 abr. 2023

IRENA (2021), **IRENA Renewable Readiness Assessment: Paraguay, International** Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. Disponível em: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Sep/IRENA_RRA_Paraguay_2021.pdf?rev=afa4839bb652484c86bb92cb6d124d23. Acesso em: 20 de junho de 2023

IRENA and USAID (2021), **Renewable energy auctions in Colombia: Context, design and results, International Renewable.** Energy Agency, Abu Dhabi. Disponível em: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/March/IRENA_auctions_in_Colombia_2021.pdf. Acesso em: 2 de maio 2023.

JACINTO, G. P.; CARRIZO, S. C.; GIL, S. **Energía y pobreza en la Argentina**. 2018. Disponível em: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/ods_7_3.pdf. Acesso em:

JEVONS, W. S. **A questão do carvão:** um inquérito sobre o progresso da nação e o provável esgotamento de nossas minas de carvão. 3ra ed. Londres, 1866.

JONDROW, J.; LOVELL, C.; MATEROV, I.; SCHMIDT, P. On the estimation of technical inefficiency in the stochastic frontier production function model. **Journal of Econometrics**, v. 19, n. 2-3, p. 233-238, 1982.

KATS. G. “**Measuring and verifying climate change emissions reductions**”. Anais do 1998 ACEEE Summer study on energy efficiency in buildings, 1998.

KEELE, L.; NATHAN J. K. Dynamic Models for Dynamic Theories: The Ins and Outs of Lagged Dependent Variables. **Political Analysis**, n. 14, p.186-205, 2006. Disponível em: https://doi.org/10.1093/pan/mpj006. Acesso em:

KIVIET, J. F. On bias, inconsistency, and efficiency of various estimators in dynamic panel data models. **Journal of Econometrics**, n. 68, p. 53-78, 1995. Disponível em: https://doi.org/10.1016/0304-4076(94)01643-E. Acesso em:

KOOPMANS, T. An analysis of production as an efficient combination of activities. *In*: T.C. Koopmans (ed). **Activity Analysis of Production and Allocation**, Cowles, 1951.

KUHN, T. **A tensão essencial**. Lisboa: Edições 70, 1977.

KUOSMANEN, T.; KORTELAINEN M. Measuring eco-efficiency of production with data envelopment analysis. **Journal of Industrial Ecology**, v. 9, n. 4, 2005.

KUZNETS, S. Economic growth and income inequality. *In*: **The gap between rich and poor**. Routledge, 2019. p. 25-37.

LOMBARD, L. P.; ORTIZ, J.; POUT, C. A review on buildings energy consumption information. **Energy and Buildings**, v. 40, n. 3, p. 394-398, 2008. Disponível em: 10.1016/j.enbuild.2007.03.007. Acesso em:

MARTINEZ-ALIER, J. **Ecological economics:** energy, environment and society. Chicago. Wiley–Blackwell 1987.

MENARD, S. **Longitudinal research.** Thousand Oaks, SAGE Publications. 2002.

NADIMI, R.; TOKIMATSU, K. Potential energy saving via overall efficiency relying on quality of life. **Applied Energy**, v. 233, p. 283-299, 2019.

NICKELL, S. Biases in Dynamic Models with Fixed Effects. **Econometrica**, v. 49, n. 6, p. 1417-1426. 1981. Disponível em: https://doi.org/10.2307/1911408. Acesso em:

O'BRIEN, R.M. A caution regarding rules of thumb for variance inflation factors. **Quality & Quantity,** v. 41, n. 5, p. 673-690, 2007. Disponível em: 10.1007/s11135-006-9018-6. Acesso em:

OBREGON L.; VALENCIA G.; DUARTE J. **Study on the Applicability of Sustainable Development Policies in Electricity Generation Systems in Colombia**. Journal of Energy Economics and Policy, 2019.

OLADE**, Situación del consumo energético a nivel mundial y para América Latina y el Caribe (ALC) y sus perspectivas 2020.** Disponível em: file:///C:/Users/abraa/Downloads/Situacion-del-consumo-energetico-a-nivel-mundial-y-para-America-Latina-y-el-Caribe-ALC-y-sus-perspectivas.pdf. Acceso em: 15 jun. 2022

OLADE. **Panorama Energético de América Latina y el Caribe 2022**. Disponível em: https://www.olade.org/wp-content/uploads/2023/01/Panorama-ALC-13-12-2022.pdf. Acesso em:

OLIVEIRA, L. K. **Energía como recurso de Poder na Política Internacional**: Geopolítica, Estratégia e o Poder do Centro de Decisão Energética. 2012. 400 f. Tese (Doutorado em Ciência Política). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2012.

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Realizing the Potential of Energy Efficiency Energy**. p.72. Washington, DC, 2007.

OSPINO C. A.; ROBLES-ALGARIN C.; PEÑA G. R., **Analysis of Energy Management and Financial Planning in the Implementation of Photovoltaic Systems.** International. Journal of Energy Economics and Policy**,** 2019.

OUR World in Data. **Anual CO_2 emissions**. Banco de dados online. Disponível em: https://ourworldindata.org/grapher/annual-co2-emissions-per-country?country=BRA~ARG~BOL~COL~CHL~ECU~PER~PRY~URY~VEN. Acesso em: 24 mar. 2023.

PATTERSON, M. What is energy efficiency? Concepts, indicators and methodological issues. **Energy Policy**, v. 24, n. 5, p. 377-390, 1996. Disponível em: 10.1016/0301-4215(96)00017-1. Acesso em:

PERSSON, T.; GUIDO T. **The Economic Effects of Constitutions**. Cambridge: MIT Press. 2003.

PICAZO, A. J., REIG, M. E., HERNANDEZ, S. F. Directional distance functions and environmental regulation. **Resource and Energy Economics**, n. 27, p. 131-142, 2005.

PITTMAN, R. Multilateral productivity comparisons with underisable outputs. **Economic Journal,** v. 93, n. 372, p. 883-891,1983.

PLÜMPER, T.; VERA E. T. Efficient Estimation of Time-Invariant and Rarely Changing Variables in Finite Sample Panel Analyses with Unit Fixed Effects. **Political Analysis**, v. 15, n. 2, p. 124-139, 2007. Disponível em: https://doi.org/10.1093/pan/mpm002. Acesso em:

PRIOR, D.; ROVIRA, M. R. **Eco-efficiency evaluation of Spanish municipalities**: a non-parametric frontier approach. EAA Congress – Prague. 2004.

REYES Á. A.; C. AMIGO J.; CONTRERAS R. L. "**Pobreza energética en el Uruguay: diagnóstico de brechas en el acceso equitativo a energía de calidad**". Documentos de Proyectos (LC/TS.2023/18), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2023. Disponível em: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/48767/3/S2201294_es.pdf. Acesso em:

SAGASTUME A.; MENDOZA J. M.; CABELLO J. P.; RHEALS J. D. **The Available Waste-to-energy Potential from Agricultural Wastes in the Department of Córdoba, Colombia**. International Journal of Energy Economics and Policy. 2021.

SEIFORD, L.; ZHU, J. Modeling undesirable factors in efficiency evaluation. **European Journal of Operational Research**, n. 142, p.16-20, 2002.

SHENG, P.; HE, Y.; GUO, X. O impacto da urbanização no consumo de energia e eficiência. **Ambiente Energético**, n. 28, p. 673-686, 2017.

SUDIT. E. Productivity measurement in industrial operations. **European Journal Operational Research,** n. 85. p. 435-453, 1995.

SUH, S., LEE, K.M., HA, S. Eco-efficiency for pollution prevention in small to medium-sized enterprises. **Journal of Industrial Ecology**, v. 9, n. 4, 2005.

THIRY, B.; TULKENS, H. Productivity, efficiency and technical progress: concepts and measurement. **Annals of Public & Cooperative Economics**. v. 60, n.1, p. 9-42, 1989.

TOMEI, J.; CRONIN B.; AGUDELO A.H.D.; CÓRDOBA M.S.; MENA P.M.F.; TORO O.Y.M.; BORJA C.Y.E.; PALOMINO L.R.; MURILLO L.G.; ANANDARAJAHB G. Forgotten spaces: How reliability, affordability and engagement shape the outcomes of last-mile electrification in Chocó, Colombia. **Energy Research & Social Science**, v. 59, p. 101302, 2020.

UNILA – Universidade Federal da Integração Latino Americana. Linhas de Pesquisa, Mestrado em Políticas Públicas e Desenvolvimento, Foz do Iguaçu, 2020.

US Report of the National Policy Development Group. “Using energy wisely. Increasing Energy Conservation and Efficiency”. *In*: **Reliable affordable and environmentally sound energy for the American Future**. Washington, may, 2001.

VILLA, C.; HENAO, F. Oversizing grid-connected microgrids as a business model-An optimisation assessment approach. **Energy Reports**, v. 8, p. 2100-2118, 2022.

VITERI J. P.; HENAO F.; CHERNI J.; DYNER I. Optimizing the insertion of renewable energy in the off-grid regions of Colombia. **Journal of Cleaner Production,** v. 235, p. 535-548, 2019.

WANSBEEK, T. On the remarkable success of the Arellano-Bond estimator. **AENORM**, v. 20, n. 77, p. 15-20. 2012.

WAWRO, G. Estimating Dynamic Panel Data Models in Political Science. ***Political Analysis***, v. 10, n. 1, p. 25-48, 2002. Disponível em: https://doi.org/10.1093/pan/10.1.25. Acesso em:

WBCSD - World business council for sustainable development). inform. **Ecoefficiency. Creating more value with less impact.** c/o E&Y Direct, PO BOX 6012, Fairfax House, Southfield Lane Tockwith, North Yorkshire YO26 7YU, UK, 2000. Publications are available on WBCSD’s website: http://www.wbcsd.org

WBCSD - World business council for sustainable development). **Energy Efficiency in Buildings** - Transforming the Market, 2008.

WBCSD - World Business Council for Sustainable Development. **Energy Efficiency in Buildings** - Business realities and opportunities, 2007.

WCED. **Report of the World Commission on Environment and Development:** Our Common Future. 1987. Disponível em: http://www.un-documents.net/ocf-02.htm. Acesso em: 20 jun. 2022.

WESTERN, B.; SIMON J. *Bayesian Inference for Comparative Research.* **The American Political Science Review**, v. 88, n. 2, p. 412-423, 1994. Disponível em: https://doi.org/10.2307/2944713. Acesso em:

WIESLI, T. Sustainable quality of life: A conceptualization that integrates the views of inhabitants of swiss rural regions. **Sustainability,** v. 13, n. 16, p. 9187, 2021.
WILSON, M. **A energia**. Rio de Janeiro: José Olympio, 1968. 200p.

WOOLDRIDGE, J. M. **Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data**. Cambridge: The MIT Press. 2010.

WORTHINGTON, A. C.; DOLLERY, B.E. Measuring efficiency in local government: an analysis of New South Wales Municipalities´ domestic waste management function. **Policy Studies Journal**, v. 29, n. 2, p. 232-249, 2011.

GLOSSÁRIO

Capacidade de eletricidade: A capacidade instalada de eletricidade é um indicador do quão eficiente a eletricidade é gerada e refere-se à quantidade de eletricidade que pode ser produzida.

Capacidade de energias renováveis: de forma semelhante à capacidade elétrica, essa variável mede a eficiência da geração de eletricidade a partir de fontes renováveis.

Desenvolvimento Sustentável: Satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das futuras gerações para satisfazer as suas.

Eficiência Energética: se refere ao uso de menos energia para produzir a mesma quantidade de serviços ou de saídas.

Eficiência Técnica: a eficiência é como um vetor composto de entradas e saídas, onde é tecnologicamente impossível aumentar alguma produção ou uma redução de uma entrada, sem juntamente reduzir alguma outra saída ou aumentar alguma outra entrada.

Eletricidade de fontes renováveis: quanto à energia primária, usamos a parcela de eletricidade produzida a partir de fontes renováveis como a medida de eletricidade sustentável.

Emissões de CO_2: A eficiência não se refere unicamente a produzir com custos mínimos e consumir para gerar o máximo de produção. Condorme Iftikhar *et al*. (2018), o uso das emissões de CO_2 é uma variável alvo em relação ao meio ambiente, sendo fortemente afetada pela participação das energias renováveis na produção total de energia. Desta maneira, é considerado o nível de emissões de CO_2.

Energia Elétrica: é um sistema que envolve desde a extração de recursos energéticos, transformação e uso final, à capacidade de decisão, o uso da

infraestrutura energética, pesquisa e desenvolvimento tecnológico. A energia elétrica pode ser utilizada desde a faísca geradora para dar partida a um carro até para aquecer e iluminar uma casa, indispensável no uso de tecnologias de uso pessoal.

Energia primária de fontes renováveis: A energia sustentável é um dos pilares da eficiência energética e a produção de baixo custo a partir de fontes de reposição natural. Na mesma linha, tomamos a parcela de energia primária produzida a partir de fontes renováveis nesta análise de eficiência.

Produção de energia primária: A energia primária é fornecida pela natureza, como a energia hidráulica, petróleo ou lenha, podendo ser usada diretamente ou convertida em outra forma de uso. Supondo que um país produz mais energia do que consome, exportará para o país que precise, caso contrário, isso levará a perdas de distribuição ou deficiência energética.

Produtividade: A produtividade é expressa como a reação de um indicador de *output* dividido por um indicador de *input* (saídas e entradas), em outras palavras, o número de unidades de *outputs* produzidas por cada unidade do fator utilizado.

Taxa de urbanização: A demanda do consumo de energia é significativamente maior nas áreas urbanas em relação às áreas rurais, segundo Sheng *et al.* (2017), de tal maneira que o nível de urbanização pode ser considerado na análise de eficiência elétrica e, portanto, foi calculado como população urbana em relação à população total.

Medidas de equivalência de energia / massa-energia	
bep	Barril equivalente de petróleo
boe	Barris de óleo equivalente
boe/d	Barris de óleo equivalente por dia
tec	Tonelada Equivalente de Carvão
tep	Toneladas Equivalentes de Petróleo
Mtec	Milhões de Tonelada Equivalente de Carvão
Mtep	Milhões de Toneladas Equivalentes de Petróleo

Btu	British thermal unit

Medidas de massa e volume	
t	tonelada
bbl	Barris de petróleo
bpd	Barris por dia
Mbpd	Milhões de Barris por dia
m^3	Metros cúbicos

Abreviaturas de quantidade	
k (kilo)	10^3 (milhares)
M (Mega)	10^6 (milhões)
G (Giga)	10^9 (bilhões)
T (Tera)	10^{12} (trilhões)

Volume – Volume

1 bbl = 158,9873264 litros
1 bbl = 0,158987 m^3
1 m^3= 1000 litros
1 m^3 = 6,28981 bbl
1 m^3 = 35,3 cf
1 cf = 0,0283 m^3

Volume - Massa

1 bbl = 0,136612021857923 t
1 t de petróleo = 7,32 bbl1
b/dia = 50 t/ano

Volume de gás – Energia

1000 m^3 gás = 7,178 bep
10.000 cf = 1 bep

Energia – Energia

1 J (joule) = 0,239 cal
1 Btu = 252 cal

1 kWh = 859.845 kcal
1 kWh = 3,6 MJ
1 kWh = 3,4121411565 kBtu
1 kWh = 0,0034121412 MBtu

1 MWh = 859845 kcal
1 MWh = 3600 MJ
1 MWh = 3.412,1411565 kBtu
1 MWh = 3,4121411565 Mbtu

Energia – Energia Equivalente

1 bep = 1.390 Mcal
1 tep = 1,42857 tec
1 tep = 39,6832 MBtu
1 tep = 11,63 MWh
1 tep = 10.000.000 kcal
1 tep = 41.868 MJ

1 tec = 0,7 tep
1 tec = 27,77824 MBtu
1 tec = 8,141 MWh
1 tec = 7.000.000 kcal
1 tec = 29307,6 MJ

Petróleo

1 t de petróleo = 1,018 tep 1 t de petróleo = 1,454 tec 1 t de petróleo = 42,62 GJ
1 t de petróleo = 40,39 MBtu 1 t de petróleo = 11,84 MWh

1 bbl de petróleo = tep 1 bbl de petróleo = tec 1 bbl de petróleo = GJ
1 bbl de petróleo = MBtu 1 bbl de petróleo = MWh

Gás Natural (GN)

1 m3 de GN. = 0,932 tep 1 m3 de GN = 1,331 tec 1 m3 de GN = 39,02 GJ
1 m3 de GN = 36,98 MBtu
1 m3 de GN = 9,32 MWh

1000 m3 de GN = 932 tep 1000 m3 de GN = 1331 tec 1000 m3 de GN = 39020 GJ
1000 m3 de GN. = 36980 MBtu
1000 m3 de GN = 9320 MWh

Biogás

1 m3 de biogás = 0,48 tep 1 m3 de biogás = 0,686 tec 1 m3 de biogás = 20 GJ	1 m3 de biogás = 19 MBtu 1 m3 de biogás = 4,8 MWh

Elaborado pelo Autor a partir de dados da Agência Internacional de Energia