

Analysis of Energy Planning in a Multicriteria Environment Considering Technological and Economic Biases of Sustainable Energy

A. P. S. Rosa, A. L. V. Gimenes, M. E. M. Udaeta, V. M. Massara e V. T. Nascimento

Abstract--Energy planning currently stands as a key element for forecasting, modeling, implementations, and revisions concerning electrical systems and the various involved variables. Moreover, this topic gains notable relevance within a context of concern for sustainable development and the implementation of renewable energy generation, contributing to the energy transition of each country. In this context, planning must involve different parameters, associated with economic, socio-environmental, and technological biases, which are interrelated. The main objective of this article is to present and define the primary criteria included in the technological and economic biases and how they fit into the energy planning of electrical systems, addressing issues that affect their respective development. Specifically, the projection and use of the demand criterion are evaluated within the context of the energy planning of the Brazilian electrical system, reaffirming the importance of this parameter for decision-making, aiming the proper functioning of the system.

Keywords--Economic criteria. Technological criteria. Sustainable development. Energy planning. Power systems. Energy transition.

I. INTRODUÇÃO

O cenário vigente é caracterizado por ampla preocupação em relação ao meio ambiente e ao desenvolvimento sustentável [1], aspecto que é impulsionado ainda pelas medidas estabelecidas pelas discussões decorrentes do Acordo de Paris, realizado em 2015. O Acordo tem como principal objetivo a limitação do aumento de temperatura global em, no máximo, 2°C [2] e consequentemente afeta setores como o de geração de energia. Neste contexto, destaca-se a importância do planejamento energético, o qual contribui e afeta a transição energética dos países, de forma a garantir o funcionamento adequado do sistema, atendendo a demanda de forma apropriada e considerando critérios políticos, econômicos e socioambientais na escolha das diferentes fontes de energia [1].

A principal problemática está relacionada à matriz energética dos países baseada em geração de energia por meio da queima de combustíveis fósseis, os quais possuem alta emissão de gases do efeito estufa, ratificando a necessidade de um planejamento energético que aborde as questões ambientais [3] [1]. Entretanto, o planejamento energético afeta também as questões econômicas, estando ligado às definições das políticas públicas [1]. A fim de atender quesitos econômicos e ambientais, apresenta-se o viés

tecnológico, o qual fundamenta-se na escolha de diferentes tecnologias de geração de forma a minimizar o impacto ambiental e atender a viabilidade econômica [1].

Portanto, são diversas as formas de geração de energia, como hidrelétricas, nucleares, termelétricas, eólicas, fotovoltaicas, dentre outras [1] [4], entretanto a escolha depende de diversos fatores e está relacionada à economia e política energética de cada país, como abordado em [5] através de uma análise entre China e Alemanha. Atualmente, observa-se, por exemplo, restrições à geração de energia elétrica a partir de usinas nucleares em determinados países, devido à preocupação em relação aos riscos à segurança que envolve o uso dessa tecnologia, o que ainda foi mais intensificado após o acidente da usina nuclear de Fukushima no Japão [1] [4] [5] [6]. Entretanto, países como China, continuam a investir na respectiva geração, aumentando sua capacidade instalada [5].

Portanto, de acordo com o exposto, o planejamento energético, principalmente vinculado à questão de transição energética torna-se essencial. Entretanto, deve-se atentar que tal planejamento engloba o setor elétrico como um todo que é naturalmente complexo e exige transparência, estudo, análise e fundamentação para a execução das respectivas escolhas [7]. No âmbito tecnológico faz-se essencial atentar-se à fatores como questões de eficiência, segurança, impactos ambientais durante o estudo e expansão da matriz energética. Já no âmbito econômico deve-se atentar, entre outros elementos, às questões de custo de projeto, custo de execução desses projetos e situação atual do mercado.

Dessa forma, dada a importância do planejamento energético, são apresentadas as considerações do presente trabalho. Tal documento possui como principal objetivo definir, apresentar e avaliar os principais fatores relevantes para a formulação do planejamento energético de um país, porém, com foco nos vieses tecnológico e econômico relacionados a sistemas elétricos de potência. Assim sendo, a definição e apresentação de tais fatores baseou-se em artigos e demais documentos que abordaram diferentes tópicos relacionados aos vieses mencionados, de forma que estes fizeram-se presentes em determinados planejamentos energéticos englobando sistemas elétricos. Também será realizado um estudo de caso do Brasil, de forma que dados da EPE (Empresa de Pesquisa Energética), referentes à geração e

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Todos os autores são filiados ao Grupo de Energia do Depart. de Eng. de Energia e Automações Elétricas da Escola Politécnica da Universidade de São

Paulo (São Paulo-SP, Brasil). A. P. S. Rosa (apsrosa@usp.br ou apsrosa27@gmail.com), A. L. V. Gimenes (gimenes@pea.usp.br), M. E. M. Udaeta (udaeta@pea.usp.br), V. M. Massara (vanessa.massara@gmail.com) e V. T. Nascimento (viviane.tavares@usp.br).

Mar del Plata, Argentina, November 27th – 29th, 2024

demanda de eletricidade, serão comparados com dados do ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico). Tal análise será realizada de forma a confrontar previsões feitas pelo órgão responsável pelo planejamento energético no respectivo país (EPE), com dados reais sobre a operação do sistema elétrico fornecidos pela ONS, de forma a englobar o período de 2018 a 2022. Assim, tal estudo visa destacar a importância do planejamento energético adequado para sistemas elétricos e avaliar a projeção do critério demanda e como este se encontra englobado pelo planejamento energético de sistemas elétricos no Brasil, expondo também as consequências do planejamento quando realizado de forma inadequada.

II. PRINCIPAIS DOCUMENTOS ENVOLVENDO A TEMÁTICA

Como abordado em [1], [3] e [7], a importância do planejamento energético perante um contexto atual de necessidade de transição energética, impulsionada por metas ambientais que visam a diminuição da emissão de CO₂, é inquestionável. Por conseguinte, destacam-se diversas documentações que dissertam sobre diferentes tópicos que possuem relevância para a formulação de um planejamento energético, englobando vieses tecnológicos, econômicos e ambientais. Alguns documentos focam em um determinado critério, ou mais, e a análise de sua relevância para o planejamento energético, tais como em [8], que cita e disserta sobre indicadores ambientais, sociais, econômicos e tecnológicos e, em [9] e [10], que utilizam indicadores correlatos para análises acerca do tema, envolvendo diferentes formas de geração de energia, afim de definir a tecnologia mais apropriada para atendimento dos respectivos cenários. Ainda, em [11] são abordadas questões de risco, custo e impacto ambiental visando a definição de estratégias para o planejamento energético de um sistema elétrico turco, e em [12], aborda-se a importância do critério de eficiência energética para um planejamento adequado e sua inserção no planejamento brasileiro.

Outros documentos focam nas diversas metodologias, modelos e ferramentas computacionais existentes para a elaboração de um planejamento energético com diversos critérios, tais como em [13] e [14], que dissertam sobre as possibilidades computacionais voltadas para o Brasil acerca do referido tema, com foco nos softwares NEWAVE e DECOMP. Ademais, pode-se mencionar [15], que foca no uso de metodologias para uma análise multicritério do planejamento, e [1], que apresenta também diferentes modelos voltados ao planejamento. Dessa forma, a associação de tais trabalhos e demais publicações se apresenta como um embasamento que possibilita a definição dos fatores importantes para tal temática, no que se refere aos vieses tecnológico e econômico, podendo estes serem aplicados em sistemas elétricos de diferentes dimensões.

A principal temática abordada, possuindo destaque de periodicidade de citação nos artigos, refere-se às problemáticas ambientais e à consequente necessidade do uso de tecnologias que permitam a diminuição da emissão de CO₂, como abordado em [1] e [3]. Assim, apesar do viés ambiental não ser foco do presente trabalho, tem-se conhecimento de suas repercussões nos vieses tecnológicos e econômicos, de forma que a escolha das

tecnologias e o respectivo custo associado são influenciados pelas limitações ambientais. Portanto, análises de influência de energias renováveis no planejamento energético são importantes, tanto de forma a destacar a necessidade de inserção destas no sistema, como é realizado em [16], [1] e [3], quanto considerando os impactos de sua inserção como alteração na confiabilidade da rede, problemática apresentada em [17]. Desta forma, faz-se importante também um estudo das principais consequências da construção, manutenção e geração de energia por meio das diversas tecnologias disponíveis existentes. Como exemplo, tem-se as usinas hidrelétricas que, apesar de serem consideradas energias renováveis, possuem diversas implicações para a sua construção, tais como deslocamento populacional, ameaça à fauna e flora e possível prejuízo à pesca, já que interfere no deslocamento natural dos peixes [18].

Relacionado ao viés tecnológico também é importante considerar as tecnologias disponíveis e suas limitações que estão diretamente ligadas à aplicação dos tipos de geração existentes e demais componentes da rede elétrica. Assim, se tornam importantes documentações tais como a [19], em que é realizado um estudo envolvendo a interferência dos altos índices de irradiação solar no aumento de temperatura de disjuntores, de forma a provocar/auxiliar na sua abertura, contexto em que tais disjuntores possuíam aplicação na geração de energia por meio da tecnologia fotovoltaica. Ademais, são essenciais também pesquisas acerca da influência do clima perante as energias renováveis, devido à maior dependência dessas em relação a determinados recursos naturais, critério que foi considerado na investigação realizada em [20].

No que tange ao viés econômico destacam-se os custos de implementação, manutenção e operação, sendo estes representados por critérios tais como investimento total e índice de custo-benefício, os quais são explorados em [8], com foco no planejamento energético. Ainda, englobando os critérios econômicos, em [20] é explorado o custo incremental total em um cenário de mudança para um sistema totalmente baseado em energias renováveis. Como documentos que fazem análises envolvendo custos, visando a transição energética e consequentemente o planejamento energético, pode-se citar também [21], [22] e [23]. Ademais, destaca-se a questão da importância do planejamento energético para questão de política pública, o qual pode influenciar diferentes órgãos relacionados ao mercado de energia [1].

Desta forma, destacam-se ainda outros documentos que fazem uso de critérios englobando os vieses tecnológico e econômico, a fim de realizar um planejamento energético, tais como em [24] e [25], que fazem uso do software Homer, [26] que faz uso do software LEAP e em [27] e [28].

A fim de ratificar os critérios tecnológicos e econômicos utilizados no Brasil, os quais serão principal base para o respectivo estudo de caso desenvolvido, pode-se mencionar os fatores abordados nos cadernos disponibilizados pela EPE, principal órgão responsável pelo planejamento energético no Brasil, referentes ao Plano Decenal de Expansão de Energia 2030 (PDE 2030) [29]: “Parâmetros de Custos de Geração e Transmissão”, “Análise Socioambiental”, “Eficiência e Demanda”, “Oferta de Derivados de Petróleo”, “Preços e

Mar del Plata, Argentina, November 27th – 29th, 2024

Demanda de Gás Natural”, “Preços Internacionais de Petróleo e Derivados”, “Transmissão de Energia”, “Oferta de Biocombustíveis”, “Previsão de Produção de Petróleo e Gás Natural”, “Oferta Potencial de Gás Natural”, “Micro e Minigeração Distribuída e Baterias”, “Suprimento de Potência”, “Economia” e “Demanda de Eletricidade”.

De acordo com o exposto, tornam-se evidentes as principais documentações acerca do tema, as quais são amplas, principalmente devido à variação dos critérios adotados por cada país, e/ou região na qual se prevê implementação do respectivo planejamento energético e consequentes medidas adotadas. Entretanto, é importante destacar que, tanto publicações mais recentes quanto publicações anteriores são unânimes ao apresentarem determinados critérios a serem considerados, como custo, demanda, capacidade tecnológica, eficiência, impacto ambiental, entre outros. Entretanto, é claro o interesse cada vez maior pelo impacto ambiental devido às questões de transição energética. Portanto, confirma-se a necessidade de associação dos diversos elementos relativos ao planejamento energético e referidos na literatura, de forma a definir os principais critérios essenciais a serem levados em consideração num planejamento energético multicritério, com foco nas perspectivas tecnológicas e econômicas da conjuntura.

III. CRITÉRIOS DO PLANEJAMENTO ENERGÉTICO

Os critérios utilizados para a elaboração de um planejamento energético são abordados na literatura, de forma que se torna essencial a associação dos mais diversos parâmetros apresentados nos respectivos trabalhos. Tal consideração é necessária devido a amplitude do tema e pelo fato de que as documentações, em sua maioria, abordam somente determinados fatores. Desta forma, define-se os principais critérios a serem apresentados, sendo estes englobados pelos vieses tecnológico e econômico do planejamento, de acordo com toda a literatura utilizada para pesquisa associada ao presente artigo. É importante destacar, portanto, que a classificação dos critérios foi realizada de forma a objetivar sua melhor organização.

A. Critérios do Planejamento com Foco no Viés Tecnológico

Os critérios de um planejamento energético com foco no viés tecnológico estão relacionados à necessidade de escolha adequada de tecnologias responsáveis pela constituição do sistema elétrico, a fim de atender suas necessidades. Tais critérios estão diretamente relacionados a determinados indicadores que possibilitam verificar a disponibilidade e adequabilidade das respectivas tecnologias em atender o sistema elétrico de forma eficiente, garantindo, consequentemente, o fornecimento de energia elétrica [9]. Desta forma, a fim de realizar-se uma escolha adequada de implementação de tecnologias dentro de um planejamento energético, destacam-se critérios tais como eficiência energética vinculada à tecnologia, riscos associados à sua implementação, atendimento da demanda, limitações tecnológicas, confiabilidade e análise de novas tecnologias disponíveis no mercado.

1) Eficiência Energética

O conceito de eficiência energética está relacionado ao objetivo de se executar a mesma tarefa com um gasto total de

energia menor, garantindo a execução do mesmo processo de forma adequada, porém, com menor consumo de energia elétrica [30]. Desta forma, a procura pelo desenvolvimento de um sistema elétrico baseado em quesitos que envolvem eficiência energética estão relacionados a melhorias, como diminuição dos gastos totais de energia, aumento da resiliência do sistema elétrico em questão, diminuição de impactos ambientais gerados pela emissão de gases poluentes e adiamento de investimento na expansão do sistema elétrico, citadas em [30]. Assim, a principal forma de melhoria em quesitos de eficiência energética, dentro de um planejamento, é a escolha de tecnologias que garantam melhor eficiência através de maiores rendimentos [30].

Dado o exposto, destaca-se então a importância da avaliação de diversos parâmetros tecnológicos que garantam um maior rendimento de determinada tecnologia, de forma a gerar repercussões positivas no sistema elétrico. Ainda, é possível destacar a importância da eficiência para um planejamento energético adequado, dada a menor emissão de gases poluentes, fator que auxilia também no contexto atual de necessidade de transição energética. Ademais, a possibilidade de adiamento de investimento na expansão do sistema elétrico se apresenta como fator atraente para questões de planejamento, pois, evita um gasto desnecessário de expansão, a fim de atender a demanda.

No planejamento energético, a análise de eficiência energética é realizada através de indicadores como consumo por setor/uso final e intensidade energética [30] [12]. O indicador consumo por setor/uso final é essencial para análises direcionadas a casos cujo objetivo é investigar as consequências da inserção de uma nova tecnologia no sistema, sendo esta uma tecnologia que garante um maior rendimento, ademais, tal indicador também se destaca na análise de eficiência de implementações de políticas, planos e programas de eficiência energética [30]. Já o indicador de intensidade energética é mais bem utilizado para uma análise tecno-econômica, sendo baseado na proporção de energia por PIB (Produto Interno Bruto) [30] [12], tal fato se dá pelo parâmetro ser mais influenciado por possíveis alterações no setor em questão, do que representar de fato melhorias no que tange ao contexto de eficiência energética [12].

2) Demanda

A ideia de previsão de demanda dentro de um planejamento energético está associada à previsão e estipulação do consumo de energia [31] [32], de forma a possibilitar a melhor tomada de decisão, a fim de atender a respectiva demanda, planejando-se o aumento de geração de energia em curto, médio e/ou longo prazo [32]. Desta forma, apesar da estipulação da demanda ser uma atividade essencialmente técnica relacionada ao planejamento [32], está condicionada ao viés tecnológico a partir do momento em que a demanda deve ser atendida através de tecnologias disponíveis, as quais serão escolhidas dentro do planejamento atendendo o respectivo critério. Ademais, o contexto também está relacionado às análises voltadas para economia [32], portanto, a temática de demanda envolve, de certa forma, o viés econômico.

De forma geral, existem dois tipos de modelos que abordam análises referentes à demanda dentro do planejamento energético, os quais são intitulados modelos econométricos e modelos técnico-econômicos, os quais também podem ser chamados de top-down e bottom-up, respectivamente [32]. Basicamente a metodologia top-down se baseia em uma quantidade menor de parâmetros, os quais também são mais simples, podendo estes

Mar del Plata, Argentina, November 27th – 29th, 2024

serem PIB e o crescimento populacional [32]. A ideia de análise através desses dois critérios é baseada numa relação direta entre as variáveis e a necessidade de maior produção de energia [32]. Se há um aumento na população ou no PIB é de se esperar que haja uma maior necessidade de energia, consequentemente tais parâmetros se apresentam como um embasamento adequado para previsões de aumento de demanda. Todavia, a metodologia de planejamento intitulada bottom-up representa uma análise mais criteriosa, de forma que esta é realizada a partir da análise de demanda por seus usos finais [32]. Nessa metodologia são investigados diversos elementos tais como mudanças estruturais e tecnológicas que podem ocasionar uma mudança de demanda, assim, a partir dessa análise por setor, então é computada a previsão de demanda total [32].

3) *Segurança e Confiabilidade*

A segurança dentro do planejamento energético e as consequências tomadas de decisão, baseadas no respectivo critério, estão sujeitas a interpretações e escolhas que dependem do posicionamento de cada país, como abordado em [4] e [5]. Dentro deste contexto de análise de segurança das tecnologias a serem implementadas para atendimento à demanda, destaca-se uma certa apreensão no uso da geração de energia por meio de nucleares, devido à possibilidade de acidentes com grandes dimensões, tais como o de Fukushima no Japão [1] [4] [5]. No entanto, as demais tecnologias destinadas à geração de energia também apresentam riscos e impactos associados, os quais podem afetar fauna e flora e até mesmo a segurança e bem-estar da população, como abordado em [18] e [33]. Nesse contexto, faz-se importante evidenciar e exemplificar tais impactos, como a questão da possibilidade de fatalidade envolvendo pássaros, que podem colidir com as pás das turbinas destinadas à geração eólica de energia, questão discutida em [33], enfatizando-se que todas as formas de geração possuem impactos e riscos inerentes. Assim, salienta-se que a depender das necessidades do país, apesar do critério segurança ser levado em consideração, tais tecnologias consideradas de maior risco ou impacto ainda são implementadas, como exemplo tem-se a China que ainda investe em energia nuclear [5].

No que tange a confiabilidade como critério a ser analisado dentro do planejamento energético, as mais importantes análises referem-se à garantia de fornecimento adequado a partir da escolha das respectivas tecnologias. Neste contexto, é importante destacar determinadas desvantagens relacionadas a certas energias renováveis, como eólica e fotovoltaica, no que tange às respectivas intermitências de geração [34], de forma que o fornecimento de energia é afetado a partir do momento em que há diminuição dos ventos ou menor incidência solar associada.

Portanto, como exposto, os critérios de segurança e confiabilidade não tem indicadores específicos dentro do planejamento energético, entretanto, se destacam como temas importantes dentro do planejamento, já que a ausência de segurança pode acarretar diversas fatalidades e acidentes. Ainda, a carência de confiabilidade pode comprometer o atendimento às necessidades elétricas dos consumidores associados à rede em questão.

4) *Perspectiva de Novas Tecnologias*

O critério de perspectiva de novas tecnologias está vinculado à escolha de tecnologias relativamente novas a fim de melhorar o fornecimento de energia no sistema elétrico. Nesse contexto, conferindo maior flexibilidade ao sistema, destaca-se, por

exemplo, o surgimento do uso de tecnologias de armazenamento de forma conjunta às energias renováveis, como eólicas e fotovoltaicas, a fim de contornar a problemática da questão da intermitência de despacho dessas fontes [34] [35] [36] [37]. No Brasil, a compensação da oscilação de fornecimento gerada pelas fontes renováveis citadas é geralmente feita através de usinas hidrelétricas, que possuem uma maior flexibilidade [34]. Entretanto, existem tecnologias relacionadas ao armazenamento sendo estudadas e implementadas, assim como também destacam-se estudos de outras tecnologias de geração, como eólica offshore e usinas híbridas, abordadas em [38].

Desta forma, de maneira similar à questão de segurança e confiabilidade anteriormente mencionada, o critério de perspectivas de novas tecnologias é um tema que deve ser englobado pelo planejamento energético, mas não apresenta indicadores específicos, entretanto permanece sendo um fator essencial para a escolha de tecnologias dentro do planejamento, já que pode prever melhorias.

B. *Crerios do Planejamento com Foco no Viés Econômico*

Os critérios de um planejamento energético com foco no viés econômico estão relacionados à análise de custos e demais investimentos no sistema elétrico, de forma a computar as consequências e condições econômicas do planejamento. Tais critérios estão diretamente associados a determinados indicadores que possibilitam avaliar economicamente as consequências da geração e do consumo de energia, analisando também o mercado de energia elétrica, seu desenvolvimento, projeções e aplicabilidade dentro de um cenário de desenvolvimento sustentável [9]. Desta forma, de acordo com o exposto, a fim de garantir uma análise econômica adequada e consequente determinação de diretrizes dentro de um planejamento energético, destacam-se critérios tais como custo, englobando índice de custo-benefício, que pode ser avaliado de acordo com o retorno e investimento total, e avaliação do mercado de combustíveis fósseis e biocombustíveis, englobando previsões.

1) *Custo/Investimento/Manutenção/Operação*

O planejamento energético a partir do viés econômico, englobando o custo, envolve entre outras aplicações dos respectivos critérios, as áreas voltadas à geração e transmissão de energia [39]. Entretanto, é importante destacar que os custos associados a uma implementação envolvem desembolsos financeiros em diversas etapas do ciclo de vida da referente tecnologia ou projeto [22] [40]. O custo englobado pelo ciclo de vida envolve os custos de implementação, representado no planejamento pelo índice CAPEX [39], custos de manutenção e operação e, custos associados ao descarte e retirada da tecnologia ou planejamento em questão, dado o fim do seu ciclo de vida [22] [40]. Ademais, outro importante custo dentro do planejamento refere-se ao impacto ambiental gerado pela rede elétrica, tais como na geração de energia [22]. Consequentemente, são diversas as variáveis a serem analisadas de forma a contemplar uma análise de custo total.

Desta forma, o custo destaca-se como principal e importante critério associado ao tratamento de dados e respectiva análise dentro de um planejamento energético, considerando-se às questões econômicas, de forma a definir a viabilidade do planejamento e das implementações associadas, tais como o uso

Mar del Plata, Argentina, November 27th – 29th, 2024

de diferentes tecnologias. Consequentemente, por se tratar de um planejamento energético este visa melhorias no sistema.

2) Preço e Disponibilidade de Combustíveis Fósseis

A análise do preço e a disponibilidade de combustíveis fósseis, no âmbito nacional e internacional, dentro de um planejamento energético com foco no viés econômico, está relacionada à determinação do custo de geração de energia em tecnologias que fazem uso destes, tais como em termelétricas [41]. Está relacionada também a um planejamento energético destinado à definição de medidas voltadas às políticas públicas [41]. Tais análises fazem-se essenciais a partir do momento que os respectivos estudos acerca de petróleo e demais derivados, gás natural e biocombustíveis, auxiliam na determinação de um planejamento energético que engloba também o planejamento voltado para o sistema elétrico [41]. Desta forma, destaca-se a necessidade de avaliação dos preços do petróleo e seus derivados, assim como a realização de previsões acerca desses combustíveis, de forma a auxiliar também na determinação de custos de geração [41]. A respectiva previsão de preços engloba diferentes fatores, envolvendo, entre outras questões, crescimento econômico mundial, variação de demanda de tais combustíveis, variação na produção dos principais países exploradores e produtores, e eventos geopolíticos, destacados em [42].

Dessa forma, dado o exposto, faz-se importante o critério “preço e disponibilidade de combustíveis fósseis”, já que este pode influenciar nos gastos da implementação de uso de energias baseadas na queima dos respectivos combustíveis, de forma que, se há um aumento no preço destes é de se esperar que haja um aumento dos custos. Consequentemente, ratifica-se a necessidade das respectivas análises associadas dentro do planejamento energético englobando o gerenciamento do sistema elétrico.

IV. ESTUDO DE CASO

De acordo com a literatura e as consequentes informações e critérios expostos, relacionados ao planejamento energético, englobando sistemas elétricos de potência, evidencia-se a importância de tal temática e de seus critérios associados. Para ratificar sua importância e analisar a maneira como tais aspectos são abordados dentro do planejamento energético brasileiro, com foco no respectivo sistema elétrico, propõem-se o estudo de caso associado ao presente artigo.

A. Metodologia

O respectivo estudo de caso apresentado neste artigo tem como principal objetivo a comparação das previsões de demanda realizadas pela EPE, principal órgão responsável pelo planejamento energético no Brasil, com os dados registrados pela ONS, relativos ao sistema elétrico, com foco no período de 2018 a 2022. Desta forma, é realizada uma análise comparativa, para ratificar a necessidade de abordagem deste critério, assim como verificar a maneira como ele é abordado dentro do planejamento energético de sistemas elétricos.

Para a realização do estudo de caso abordando o período de 2018 a 2022, foram considerados os seguintes indicadores de demanda: MWmédio e TWh. Os dados de MWmédio previstos para tal período foram obtidos através de informações gráficas constantes no relatório associado ao PDE (Plano Decenal de Expansão de Energia) de 2027 [43], realizado pela EPE. Dessa forma, tais dados foram comparados com as previsões utilizadas

pela ONS, expostas na documentação [44] relativa ao PEN 2018-2022 (Plano de Operação Energética). Tais informações da ONS são essenciais, principalmente incorporadas a este estudo, já que nortearam as medidas associadas à operação e expansão do sistema dentro do respectivo período. Ademais, foram obtidas informações de MWmédio registrados pela ONS de acordo com a fonte [45]. Dessa forma, foi possível então a comparação das previsões da EPE (através do PDE 2027), da ONS (por meio do PEN 2018-2022) e dos dados reais registrados pela ONS no período estudado, relativos ao respectivo indicador.

Ainda, a partir das documentações associadas ao PDE 2027 [43], PDE 2026 [46], PDE 2024 [47] e PDE 2023 [48], foram obtidas informações de previsões acerca do indicador GWh (facilmente transformado em TWh) realizadas pela EPE, referentes aos anos de 2022, 2021, 2019 e 2018 respectivamente. Assim, tais dados foram comparados com as informações constantes em [45], registradas pela ONS considerando o mesmo indicador.

Outrossim, realizou-se uma análise final através de dados da ONS constantes em [49] e [50] de forma a verificar a evolução da participação dos mais diversos tipos de fontes na geração de energia, tais como hidráulica, eólica, fotovoltaica e térmica, alimentando, assim, o sistema elétrico brasileiro. É importante destacar que a referida análise foi realizada tanto através de dados de geração quanto de capacidade instalada.

Dessa forma, de acordo com o exposto, realizou-se uma análise sobre a importância do critério “demanda” e de seus indicadores, constantes nos mais diversos planejamentos. É importante destacar que, apesar do critério demanda estar principalmente relacionado ao viés tecnológico, está associado também às questões econômicas, a partir do momento que a expansão, assim como a operação do sistema elétrico, gera um custo associado para garantir a continuidade de fornecimento de energia elétrica.

B. Dados e Respectivas Análises

O PDE 2027 apresenta diversos critérios para realizar previsões do planejamento energético, dentre os quais foi exposto a previsão do indicador MWmédio, relacionado à demanda, de forma gráfica, de acordo com a Fig. 1. Ainda, a ONS realiza a divulgação dos dados que utiliza para previsão da demanda, determinando diretrizes no que tange a operação e expansão do sistema elétrico, objetivando atender essa demanda. Dessa forma, a Fig. 2 refere-se a um gráfico constante na documentação [44], acerca do PEN 2018-2022, que realiza previsões e faz uso destes dados direcionando as ações necessárias.

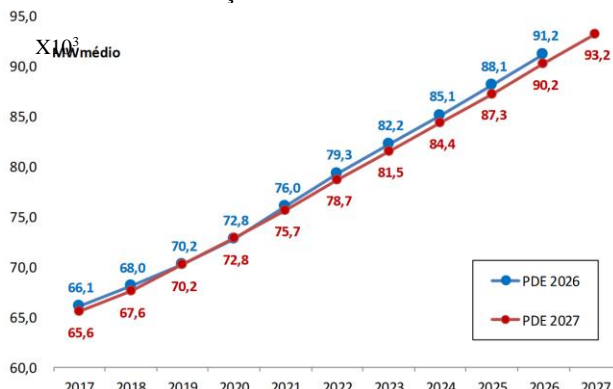


Fig. 1. PDE 2027 - Comparativo entre Previsão de Demanda em MWmédio. Fonte: [43, Gráfico 2-14, p. 42], EPE

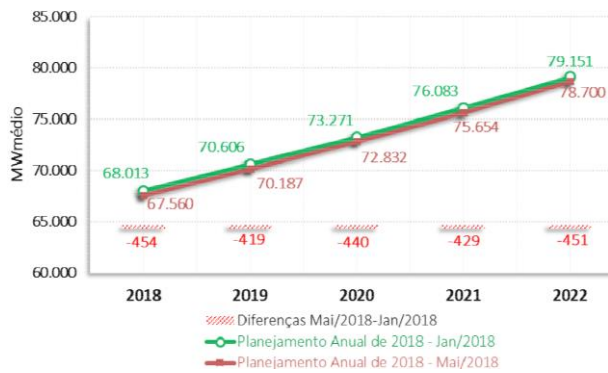


Fig. 2. PEN 2018-2022 - Previsão de Demanda em MW médio. Fonte: [44, p. 27], ONS

Ao comparar-se a Fig. 1, divulgada pela EPE, com a Fig. 2, divulgada pela ONS, verifica-se que a ONS de fato levou em consideração as previsões realizadas pela EPE, de forma que os valores mais atuais da ONS (referentes a curva em vermelho) se diferem dos da EPE somente por questões de arredondamento. Ainda, de forma geral, percebe-se que era esperado que em 2019 e 2020, o aumento da demanda seria de aproximadamente 2600 MWmed quando comparado ao ano anterior. Já as previsões para o ano de 2021 e 2022 eram de maior aumento, 2800 MWmed e 3000 MWmed respectivamente. Entretanto ao comparar tais previsões com os valores de fato registrados, de acordo com a Fig. 3, percebe-se que as previsões foram mais assertivas quando realizadas em menor prazo, de forma que as previsões realizadas para os anos de 2018 e 2019 foram próximas da carga real do sistema, de forma que as previsões foram maiores do que o ocorrido. Ademais, percebe-se que a previsão de demanda para os outros anos foi bem maior do que a necessária, com destaque para o ano de 2022 que a diferença chegou a ser de 8921 MWmed. Tal previsão acima do esperado faz-se importante a fim de ter-se um planejamento e preparação adequada do sistema elétrico, no intuito deste atender a carga esperada.

É importante destacar que na Fig. 1 consta também a previsão realizada um ano antes no PDE 2026 e na Fig. 2 consta previsões feitas em janeiro de 2018, nas quais, em ambas, observa-se que as previsões mais recentes foram mais assertivas.

Carga de Energia (MWmed)

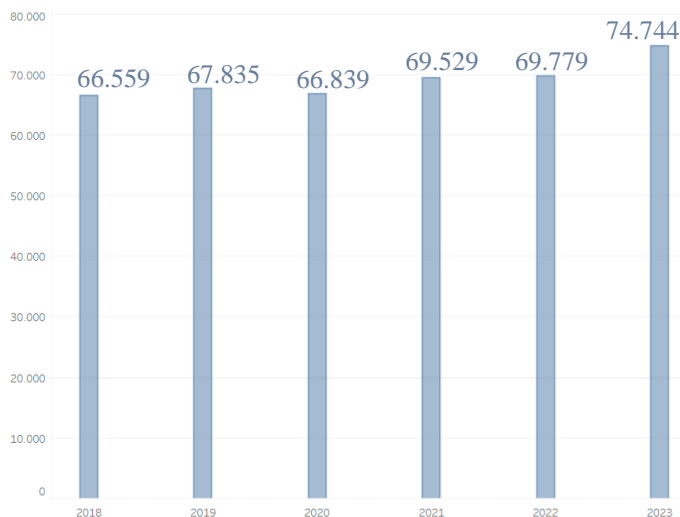


Fig. 3. Registros de Carga ONS 2018-2023. Fonte: [45], ONS

A fim de realizar a análise proposta acerca do indicador de demanda TWh foram considerados dados constantes no PDE 2023, 2024, 2026 e 2027, desta forma apresentam-se as seguintes tabelas (Tabela I, Tabela II, Tabela III e Tabela IV) obtidas nos respectivos documentos associados [43] [46] [47] [48]. É importante destacar que a análise referente às informações do ano de 2020 não foram realizadas devido à impossibilidade de acesso ao PDE 2025.

TABELA I
PREVISÃO DE DEMANDA DE 2022 (TWh) PDE 2027 EPE. FONTE: [43, TABELA 2-3, P. 41]

Discriminação	2017	2022	2027
População (milhões de habitantes)	208	215	221
Consumo Total (TWh)	526	632	753
Autoprodução Clássica (TWh)	61	74	84

TABELA II
PREVISÃO DE DEMANDA DE 2021 (TWh) PDE 2026 EPE. FONTE: [46, TABELA 3, P. 43]

Discriminação	2016	2021	2026
População Total (milhão)	207	214	220
Consumo Total (TWh)	516	609	741
Autoprodução Clássica (TWh)	56	70	87

TABELA III
PREVISÃO DE DEMANDA DE 2019 (TWh) PDE 2024 EPE. FONTE: [47, TABELA 28, P. 57]

Variáveis / Variables		2015	2019	2024
População / Population	(10 ⁶ hab)	205,3	211,4	217,8
	(10 ⁹ R\$)	3.959	4.378	5.465
PIB / GDP	per capita (10 ³ R\$/hab)	19,3	20,7	25,1
	(10 ⁶ tep)	299,4	334,0	399,5
OIE / TPES	por PIB / per GDP (tep/toe / 10 ³ R\$)	0,076	0,076	0,073
	per capita (tep)/toe /hab)	1,458	1,580	1,834
Oferta interna de eletricidade / Electricity Supply	(TWh)	637,6	739,3	940,8
	por PIB / per GDP (kWh/10 ³ R\$)	161,0	168,9	172,1
	per capita (kWh/hab)	3.106	3.498	4.320

TABELA IV
PREVISÃO DE DEMANDA DE 2018 (TWh) PDE 2023 EPE. FONTE: [48, TABELA 13, P. 30]

Discriminação	2014	2018	2023
PIB (R\$ bilhões de 2010)	4.133	4.905	6.112
População Residente ⁽¹⁾ (10 ³ habitantes)	203.610	209.923	216.596
PIB per capita (R\$ [2010]/hab/ano)	20.297	23.365	28.220
Consumo de Eletricidade (TWh)	535,2	641,8	780,4

As previsões expostas nas tabelas I, II, III e IV utilizadas, foram referentes aos anos de 2022, 2021, 2019 e 2018 respectivamente. Assim sendo, de acordo com o exposto, no que se refere ao aumento populacional ao passar dos anos, englobado pelo período de 2018 a 2022, confirma-se a associação entre este crescimento populacional com a previsão do aumento de demanda, de forma que tais critérios mantem uma relação direta. Como era de se esperar, tendo uma previsão de aumento na

Mar del Plata, Argentina, November 27th – 29th, 2024

quantidade de habitantes no país, previa-se também um aumento de demanda, que foi possível observar através dos respectivos dados das tabelas.

Ainda, a partir da comparação entre os dados registrados pela ONS na Fig. 4 com as previsões realizadas para os mesmos anos de acordo com as tabelas I, II, III e IV, é possível perceber que, de forma similar a análise feita anteriormente, as previsões de demanda possuem valores maiores que os registrados de fato. Entretanto, percebe-se uma falta de linearidade dos valores das previsões, já que é de se esperar um aumento da demanda ao comparar-se com anos anteriores. Percebe-se que em 2018 a previsão era de 641,8 TWh e em 2019 era de 739,3 TWh, entretanto no ano de 2021 a previsão foi de 679 TWh (soma de consumo total e autoprodução clássica) e em 2022 de 706 TWh (soma de consumo total e autoprodução clássica). Assim, é possível que devido a alteração na forma como os dados são apresentados nos PDE 2027 e 2026, alguma parcela não esteja sendo computada como realizou-se anteriormente para os PDE 2024 e 2023.

Além do mais, obteve-se dados da ONS de geração e capacidade instalada de acordo com cada tipo de fonte, as quais encontram-se expostas na Fig. 5, Fig. 6 e Fig. 7.

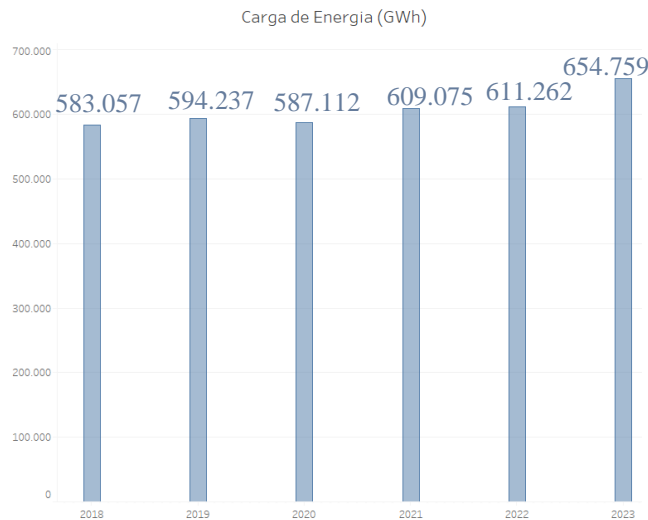


Fig. 4. Dados de Demanda (GWh) ONS. Fonte: [45], ONS

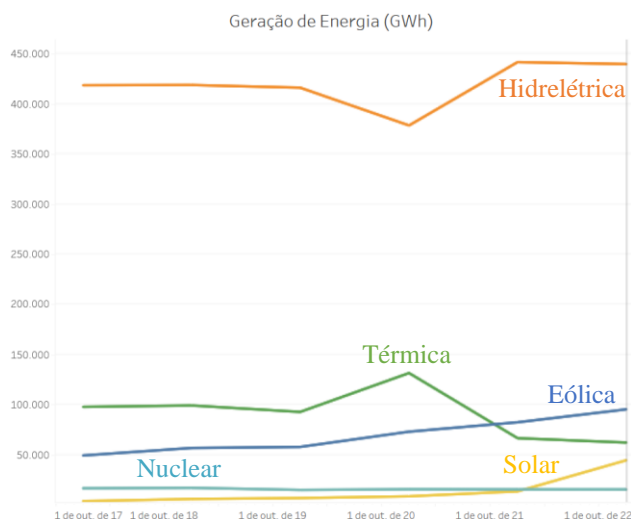


Fig. 5. Geração de Energia (GWh) ONS - Tipos de Fonte. Fonte: [49], ONS

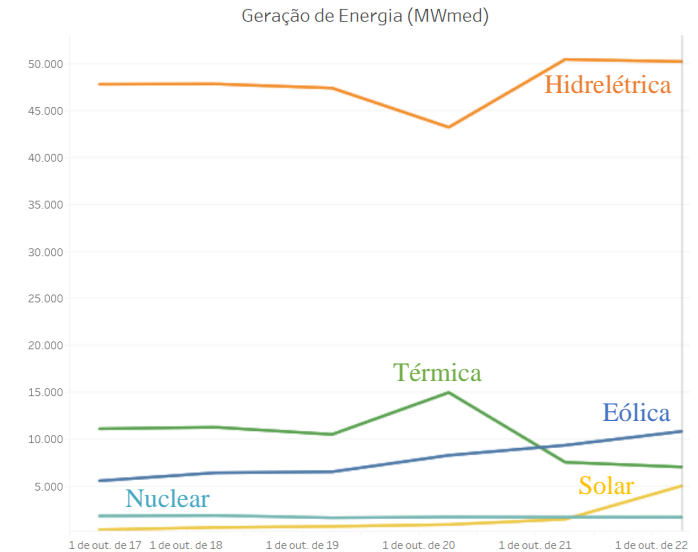


Fig. 6. Geração de Energia (MWmed) ONS - Tipos de Fonte. Fonte: [49], ONS

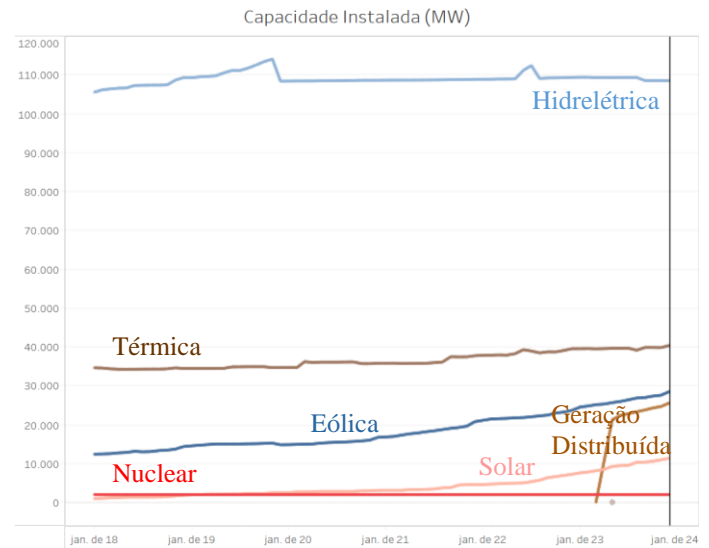


Fig. 7. Capacidade Instalada (MW) ONS - Tipos de Fonte. Fonte: [50], ONS

De acordo com os dados expostos na Fig. 5, Fig. 6 e Fig. 7 que englobam o período de 2018 a 2022 e ainda, de forma complementar ao proposto, expõem dados também de 2023 no caso da Fig. 7, percebe-se que a matriz elétrica brasileira ainda é constituída em grande parte por hidrelétricas que possuem maior capacidade instalada e maior atuação no despacho de energia. Ademais, de acordo com a Fig. 7, a segunda maior capacidade instalada é representada pelas térmicas, seguidas pelas eólicas, geração distribuída (dado seu aumento em 2023), solar e nuclear. Já na Fig. 5 e Fig. 6, percebe-se que por volta de 2020 o fornecimento era realizado em sua maioria pelas hidrelétricas, seguidas pelas térmicas, eólicas, nucleares e solares. Entretanto recentemente, a partir dos gráficos da Fig. 5 e Fig. 6, pode-se constatar que o fornecimento das eólicas superou as térmicas e as solares superaram as nucleares, mesmo que, ao analisar-se o indicador de capacidade instalada, tenha-se notado somente a ultrapassagem da energia solar em relação a nuclear. Desta forma, percebe-se o desenvolvimento de uma matriz elétrica rumo ao uso crescente de fontes de energia renováveis.

Mar del Plata, Argentina, November 27th – 29th, 2024

C. Avaliação do Estudo de Caso

De acordo com os dados expostos no estudo de caso e as respectivas análises realizadas, foi possível constatar o uso das previsões de indicadores de demanda da EPE pela ONS no planejamento da operação do sistema elétrico brasileiro, assim como observou-se que as previsões de demanda sempre foram maiores que as de fato registradas posteriormente. Tal fato das previsões apresentarem valores superiores aos registrados já era esperado, pois, por se tratar de previsões, envolvem muitos fatores, englobando os vieses tecnológico, político, econômico e socioambiental, afetando, assim, a exatidão da estipulação. Ainda, tal conjuntura é previsível dado que o objetivo principal é preparar o sistema para um possível aumento da demanda, sendo capaz de alimentar todas as cargas adequadamente, em consequência, de forma a garantir certa segurança, esses indicadores são estipulados exibindo valores maiores. Faz-se importante destacar que, apesar de contribuir para a segurança do planejamento de expansão e operação de um sistema elétrico, se os valores de demanda se apresentarem através de valores muito altos, tal fato pode acarretar num custo desnecessário de investimento no sistema. Ademais, como esperado, constatou-se a relação entre aumento populacional e previsão de aumento de demanda de energia elétrica.

De forma complementar, ao analisar-se a geração de energia e capacidade instalada, referente ao sistema elétrico brasileiro, averiguou-se o aumento de capacidade e fornecimento de energia por formas de geração renovável. Consequentemente, tais informações indicam o desenvolvimento de uma matriz elétrica cada vez mais sustentável. Ainda, é importante destacar que, em razão da capacidade hidrológica do Brasil, as usinas hidrelétricas continuam a atuar como principal fonte de geração no país, atendendo grande porcentual das cargas.

Assim, foi possível ratificar o papel do planejamento energético perante a necessidade de mudança na matriz elétrica, objetivando a sustentabilidade, assim como constatou-se o uso de indicadores relacionados aos critérios explorados pelo presente artigo, estando eles relacionados aos vieses tecnológico e econômico.

V. CONCLUSÕES

A partir do conteúdo exposto, evidencia-se que a questão de planejamento energético ganhou ainda mais destaque mundial de forma a contribuir para uma transição energética com foco no uso de fontes de energia renováveis. Consequentemente, tal meta se associa também ao principal objetivo de um planejamento, sendo este a previsão dos mais diversos critérios e respectivos indicadores de forma a definir metas e diretrizes de expansão e operação do sistema, garantindo um fornecimento adequado de energia.

Nesse contexto, destacou-se os principais critérios essenciais dentro de um planejamento energético adequado, com foco em sistemas elétricos de potência e questões tecnológicas e econômicas. Ainda, constatou-se que tais vieses estão associados a temas que englobam questões socioambientais e políticas e que assim geram consequências entre si, apesar da possibilidade de estudo de forma isolada tal qual como foi realizado. Portanto, como principais critérios associados aos vieses tecnológico e econômico num planejamento, envolvendo uma abordagem multicritério, destacaram-se temas de eficiência energética,

demanda, perspectiva de novas tecnologias, segurança e confiabilidade, custos e mercado de combustíveis fósseis, envolvendo então seus respectivos preços e disponibilidade dada a produção mundial e nacional. Ademais, foi possível destacar a importância dos mais diversos critérios dentro do planejamento energético.

Tais afirmativas ainda puderam ser melhor analisadas a partir do estudo de caso, no qual evidenciou-se os principais parâmetros associados à demanda, e como estes se relacionavam com a questão do aumento populacional, com foco no planejamento energético brasileiro. Ainda, através de tal estudo, confirmou-se a questão de necessidade de um planejamento adequado de forma a prever a demanda definindo diretrizes para a expansão e operação do sistema, atentando-se a questão de custos. Foi possível também analisar a contribuição do planejamento energético perante a transição energética, dado o uso crescente de energias renováveis observado no Brasil, objeto do respectivo estudo de caso.

Portanto, torna-se inquestionável as consequências da execução de um planejamento energético adequado, englobando sistemas elétricos. Assim como exalta-se a necessidade de aplicação deste para uma transição energética adequada, temática que ganha cada vez maior notoriedade num contexto crescente de preocupação com impactos ambientais.

VI. REFERÊNCIAS

- [1] T. C. G. Pereira (Org.), *Energias Renováveis: Políticas Públicas e Planejamento Energético. Edição digital*, Curitiba: COPEL, 2014, 303 p.. [Online]. Disponível: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/942>. Acessado: 15 abr 2024.
- [2] United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), “The Paris Agreement,” 54 p., 2016. Acessado: 06 jun 2024. [Online]. Disponível: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/parisagreement_publication.pdf.
- [3] C. G. Duarte, S. M. d. Santos, A. L. Oliveira, T. F. Malheiros e M. P. d. Souza, “Planejamento Energético e Meio Ambiente: Comparação entre os Casos do Brasil e da Nova Zelândia,” VIII Congresso Brasileiro de Planejamento Energético (CBPE). Curitiba, pp. 1-23, 2012.
- [4] G. M. Tiepolo, A. G. Castagna, O. Canciglieri Junior e R. C. Betini, “Fontes Renováveis de Energia e a Influência no Planejamento Energético Emergente no Brasil,” VIII Congresso Brasileiro de Planejamento Energético (CBPE). Curitiba, pp. 1-14, 2012.
- [5] L. Yu, B. Xue, S. Stückrad, H. Thomas e G. Cai, “Indicators for energy transition targets in China and Germany: A text analysis,” *ELSEVIER, Ecological Indicators*, vol. 111, pp. 1-11, 2020. doi: 10.1016/j.ecolind.2019.106012.
- [6] International Energy Agency (IEA); OECD, “Energy Policies of IEA Countries: Germany 2013 Review,” Paris: IEA, 206 p., 2013. Acessado: 06 jun 2024. [Online]. Disponível: <https://www.iea.org/reports/energy-policies-of-iea-countries-germany-2013-review>.
- [7] T. V. B. Ferreira e G. V. Machado, “O papel do planejamento na transição energética: mais luz e menos calor,” *Revista Brasileira de Energia*, vol. 27, n. 2, pp. 40-64, 2021. doi: 10.47168/rbe.v27i2.635.
- [8] J. B. Soares, L. B. Oliveira, E. L. L. Rovere, T. L. Vieira, J. B. Mariano, R. Dutra e A. G. Trigo, “Planejamento Energético da Oferta de Energia a partir de Energias Renováveis: uma Proposta de Indicadores para Avaliação Integrada,” Anais do XI Congresso Brasileiro de Energia - CBE, Rio de Janeiro, pp. 577-588, 2006. [Online]. Disponível: https://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/artigo/CBE_XI-Artigo1.pdf.
- [9] O. Demirtas, “Evaluating the best renewable energy technology for sustainable energy planning,” *International Journal of Energy Economics and Policy*, vol. 3, pp. 23-33, 2013.

Mar del Plata, Argentina, November 27th – 29th, 2024

- [10] A. Tasri e A. Susilawati, "Selection among renewable energy alternatives based on a fuzzy analytic hierarchy process in Indonesia," *ELSEVIER, Sustainable energy technologies and assessments*, vol. 7, pp. 34-44, 2014.
- [11] I. Kavrakoğlu e G. Kiziltan, "Multiobjective strategies in power systems planning," *European Journal of Operational Research*, vol. 12, pp. 159-170, 1983.
- [12] A. H. M. Santos, J. Haddad e S. V. Bajay, "Eficiência Energética e sua Inserção no Planejamento Energético Brasileiro," *Revista Brasileira de Energia*, vol. 27, n. 3, pp. 85-109, 2021. doi: 10.47168/rbe.v27i3.643.
- [13] C. E. Paes, "A aplicação de modelos computacionais no planejamento energético," Boletim Energético FGV Energia, p. 16-21, 2018. Acessado: 07 jun 2024. [Online]. Disponível: <https://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/bc/article/download/87260/82073>.
- [14] A. E. Toscano, "Comparação entre os modelos NEWAVE e ODIN no planejamento energético do Sistema Interligado Nacional," Dissertação de Mestrado, UNICAMP, 116 p., 2009.
- [15] S. D. Pohekar; M. Ramachandran, "Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning—A review.," *ELSEVIER, Renewable and sustainable energy reviews*, vol. 8, pp. 365-381, 2004. doi:10.1016/j.rser.2003.12.007.
- [16] J. A. S. Soares e G. A. Cândido., "Planejamento energético no Brasil: a caminho de uma política energética de inserção da matriz nos moldes da sustentabilidade," *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, vol. 9, n. 3, pp. 637-662, 2020. doi: 10.19177/rgsa.v9e32020637-662.
- [17] Tumiran, Sarjiya, L. M. Putranto, A. A. Muthahhari e R. F. S. Budi, "Assessing The Impact of Variable Renewable Energy on Generation Expansion Planning and System Reliability: A Case Study of Java Bali System," *2023 IEEE 11th International Conference on Smart Energy Grid Engineering (SEGE). IEEE*, pp. 235-239, 2023. doi: 10.1109/SEGE59172.2023.10274567.
- [18] M. Alshammari, "Hydroelectric Energy: Challenges, Solutions and Future Trends.," *2022 International Conference on Electrical, Computer and Energy Technologies (ICECET). IEEE*, pp. 1-6, 2022. doi: 10.1109/ICECET55527.2022.9873025.
- [19] D. P. Hilgert, R. L. Yang, A. C. Cordeiro, N. P. Cremasco e J. Urbanetz Júnior, "Análise das consequências provocadas pelo aquecimento de componentes e aumento de temperatura ambiente em sistemas fotovoltaicos," *Revista Brasileira de Energia*, vol. 26, n. 1, p. 8-19, 2020. Acessado: 06 jun 2024. doi: 10.47168/rbe.v26i1.559. [Online]. Disponível: <https://sbpe.org.br/index.php/rbe/article/view/559/432>.
- [20] S. Yoon e G. Yoon, "Cost-Optimal Renewable Energy Capacity Planning toward 100% Green Energy in California Considering Climate Change," *2023 IEEE 11th International Conference on Smart Energy Grid Engineering (SEGE). IEEE*, pp. 172-177, 2023. doi: 10.1109/SEGE59172.2023.10274570.
- [21] H. Wang, "Investment efficiency and cost analysis of new renewable energy sources," *2020 IEEE Sustainable Power and Energy Conference (iSPEC). IEEE*, pp. 1082-1087, 2020. doi: 10.1109/iSPEC50848.2020.9351110.
- [22] L. Qin, Y. Wang, L. Wei, Y. Liu e W. Xie, "A New Generation Cost Analysis Method of High Renewable Penetration Power Grid," *2023 IEEE/IAS Industrial and Commercial Power System Asia (I&CPS Asia). IEEE*, pp. 1660-1665, 2023. doi: 10.1109/ICPSASIA58343.2023.10294800.
- [23] B. E. K. Nsafon, H. M. Butu, A. B. Owolabi, J. W. Roh, D. Suh e J.-S. Huh, "Integrating multi-criteria analysis with PDCA cycle for sustainable energy planning in Africa: Application to hybrid mini-grid system in Cameroon," *ELSEVIER, Sustainable energy technologies and assessments*, vol. 37, pp. 1-12, 2020. doi: 10.1016/j.seta.2020.100628.
- [24] T. Farkas, P. Unguresan, M. Cretu, D. Stet, L. Czumbil, A. Ceclan, C. Muresan, A. Polycarpou e D. D. Micu, "Hybrid Energy System Analysis for a Swimming Pool Complex using HOMER Pro," *2022 57th International Universities Power Engineering Conference (UPEC). IEEE*, pp. 1-6, 2022. doi: 10.1109/UPEC55022.2022.9917941.
- [25] D. Gandara, P. Mandal, V. Venkataramanan e M. Mohanpurkar, "Integrated Resource and System Planning Based on Energy Costs and Emissions Analysis for a Sustainable Future," *2022 North American Power Symposium (NAPS). IEEE*, pp. 1-5, 2022. doi: 10.1109/NAPS56150.2022.10012268.
- [26] D. O. Okomol, G. Adwek, J. K. Ngoret e M. Arowo, "Sustainable Energy Planning Based on the Electrical Grid and Green Energy Transition in Kenya between 2019-2030," *2021 International Conference on Smart City and Green Energy (ICSCGE). IEEE*, pp. 46-51, 2021. doi: 10.1109/ICSCGE53744.2021.9654364.
- [27] Y. Yuan e C. Shang, "Planning of renewable sources and energy storages and retirement of coal plants with unit commitment reserving operational flexibility," *2021 IEEE Sustainable Power and Energy Conference (iSPEC). IEEE*, pp. 2282-2286, 2021. doi: 10.1109/iSPEC53008.2021.9735749.
- [28] C. J. Newlun, W. Olis, A. Bera, A. Benson, R. H. Byrne, T. Nguyen e J. Mitra, "Planning for Grid Decarbonization in New Mexico: An Energy Storage Perspective," *2024 IEEE Electrical Energy Storage Application and Technologies Conference (EESAT). IEEE*, pp. 1-5, 2024. doi: 10.1109/EESAT59125.2024.10471211.
- [29] Empresa de Pesquisa Energética (EPE); Ministério de Minas e Energia (MME)., "Cadernos de Estudo do PDE 2030: Arquivos," EPE.GOV. Acessado: 06 jun 2024 [Online]. Disponível: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Paginas/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2030.aspx>.
- [30] Empresa de Pesquisa Energética (EPE); Ministério de Minas e Energia (MME)., "White Paper: Conceitos e Indicadores de Eficiência Energética, Junho de 2023," 18 p., 2023. Acessado: 06 jun 2024. [Online]. Disponível: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-750/White%20paper%20-%20conceitos%20e%20indicadores%20de%20efici%C3%Aancia%20nerg%C3%A9tica.pdf>.
- [31] Empresa de Pesquisa Energética (EPE); Ministério de Minas e Energia (MME)., "Relatório Parcial 2: Cenários de Demanda para o PNE 2050, Dezembro de 2018," 34 p., 2018. Acessado: 06 jun 2024. [Online]. Disponível: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-202/Cen%C3%A1rios%20de%20Demanda.pdf>.
- [32] Empresa de Pesquisa Energética (EPE); Ministério de Minas e Energia (MME)., "Nota Técnica EPE DEA 003/2019 - Metodologia: Modelo de Projeção da Demanda de Eletricidade, Maio de 2019," 31 p., 2019. Acessado: 06 jun 2024. [Online]. Disponível: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-374/NT%20Metodologia_Novo%20Modelo%20de%20Eletricidade%20\(MDE\).pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-374/NT%20Metodologia_Novo%20Modelo%20de%20Eletricidade%20(MDE).pdf).
- [33] E. T. Sayed, T. Wilberforce, K. Elsaid, M. K. H. Rabaia, M. A. Abdelkareem, K.-J. Chae e A. G. Olabi, "A critical review on environmental impacts of renewable energy systems and mitigation strategies: Wind, hydro, biomass and geothermal.," *ELSEVIER, Science of the total environment*, vol. 766, pp. 1-15, 2021. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.144505.
- [34] Empresa de Pesquisa Energética (EPE); Ministério de Minas e Energia (MME)., "Estudos de Longo Prazo: Desafios da Transmissão no Longo Prazo: Documento de Apoio ao PNE 2050, Dezembro de 2018," 9 p., 2018. Acessado: 06 jun 2024. [Online]. Disponível: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-457/Desafios%20da%20Transmissao.pdf>.
- [35] H. Guo, Q. Wang, Y. Wang, S. Liu, L. Tang, L. Li, S. Mei e B. Yue, "Capacity Allocation of Energy Storage System Improving High Penetration Renewable Energy Accommodation," *2022 5th International Conference on Power and Energy Applications (ICPEA). IEEE*, pp. 504-509, 2022. doi: 10.1109/ICPEA56363.2022.10052291.
- [36] A. Balakrishnan, E. Brutsch, A. Jamis, W. Reyes, M. Strutner, P. Sinha e R. Geyer, "Environmental Impacts of Utility-Scale Battery Storage in California," *2019 IEEE 46th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC). IEEE*, pp. 2472-2474, 2019. doi: 10.1109/PVSC40753.2019.8980665.
- [37] Energy and Environmental Economics Inc, "Investigating the Economic Value of Flexible Solar Power Plant Operation, October 2018.," 55 p., 2018. Acessado: 06 jun 2024. [Online]. Disponível: <https://www.ethree.com/wp-content/uploads/2018/10/Investigating-the-Economic-Value-of-Flexible-Solar-Power-Plant-Operation.pdf>.

Mar del Plata, Argentina, November 27th – 29th, 2024

- [38] Empresa de Pesquisa Energética (EPE)., “GT Modernização do Setor Elétrico: Portaria nº 187/2019 - Relatório do Grupo Temático: Inserção de Novas Tecnologias: 1º Relatório – Diagnóstico, Julho de 2019,” 65 p., 2019. Acessado: 06 jun 2024. [Online]. Disponível: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/areas-de-atuacao/energia-eletrica/Documents/Modernizacao-Setor-Eletrico/Novas-Tecnologias/1o%20Relatorio%20-%20Diagnostico.pdf>.
- [39] Empresa de Pesquisa Energética (EPE); Ministério de Minas e Energia (MME)., “Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2030: Parâmetros de Custos – Geração e Transmissão - Diretoria de Estudos de Energia Elétrica, Janeiro de 2021,” 22 p., 2021. Acessado: 06 jun 2024. [Online]. Disponível: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-490/topico-522/Caderno%20de%20Par%20C3%A2metros%20de%20Custos%20-%20PDE%202030.pdf>.
- [40] J. Liu, D. Song, Q. Li, J. Yang, Y. Hu, F. Fang e Y. H. Joo, “Life cycle cost modelling and economic analysis of wind power: A state of art review,” *ELSEVIER, Energy Conversion and Management*, vol. 277, pp. 1-22, 2023. doi: 10.1016/j.enconman.2022.116628.
- [41] Empresa de Pesquisa Energética (EPE); Ministério de Minas e Energia (MME)., “Nota Técnica DPG/DEE Nº 01/2022: Projeções dos Preços dos Combustíveis Líquidos para Atendimento aos Sistemas Isolados e Usinas da Região Sul em 2023. Rio de Janeiro, Outubro de 2022,” 42 p., 2022. Acessado: 06 jun 2024. [Online]. Disponível: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-701/NT-DPG-DEE-01-2022_Proje%C3%A7%C3%A3o%20Pre%C3%A7os%20Combust%C3%ADveis%20para%20o%20SI_2022.10.13.pdf.
- [42] Empresa de Pesquisa Energética (EPE); Ministério de Minas e Energia (MME)., “Contexto Mundial e Preço do Petróleo: Uma Visão de Longo Prazo,” 53 p., 2008. Acessado: 06 jun 2024. [Online]. Disponível: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-250/topico-302/Contexto%20Mundial%20e%20Pre%C3%A7o%20do%20Petr%C3%B3leo%20Uma%20Vis%C3%A3o%20de%20Longo%20Prazo\[1\].pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-250/topico-302/Contexto%20Mundial%20e%20Pre%C3%A7o%20do%20Petr%C3%B3leo%20Uma%20Vis%C3%A3o%20de%20Longo%20Prazo[1].pdf)
- [43] Ministério de Minas e Energia (MME); Empresa de Pesquisa Energética (EPE)., “Plano Decenal de Expansão de Energia 2027,” Brasília: MME/EPE, 345 p., 2018. Acessado: 06 jun 2024. [Online]. Disponível: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/PDE%202027_aprovado_OFICIAL.pdf
- [44] Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), “Plano da Operação Energética 2018-2022: PEN 2018 - Apresentação de Resultados,” 138 p., 2018. Acessado: 06 jun 2024. [Online]. Disponível: https://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/RESULTADOS_PEN%202018%2026_06_18.pdf.
- [45] Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS)., “Resultados da Operação - Histórico da Operação: Carga de Energia.” Acessado: 15 jul 2024. [Online]. Disponível: https://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/carga_energia.aspx.
- [46] Ministério de Minas e Energia (MME); Empresa de Pesquisa Energética (EPE), “Plano Decenal de Expansão de Energia 2026,” Brasília: MME/EPE, 271 p., 2017. Acessado: 06 jun 2024. [Online]. Disponível: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-40/PDE2026.pdf>.
- [47] Ministério de Minas e Energia (MME); Empresa de Pesquisa Energética (EPE)., “Plano Decenal de Expansão de Energia 2024 Sumário,” Brasília: MME/EPE, 67 p., 2015. Acessado: 06 jun 2024. [Online]. Disponível: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-45/topico-79/Sum%C3%A1rio%20Executivo%20do%20PDE%202024.pdf>.
- [48] Ministério de Minas e Energia (MME); Empresa de Pesquisa Energética (EPE), “Plano Decenal de Expansão de Energia 2023,” Brasília: MME/EPE, 380 p., 2014. Acessado: 06 jun 2024. [Online]. Disponível: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-47/topico-85/Relat%C3%B3rio%20Final%20do%20PDE%202023.pdf>.
- [49] Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), “Resultados da Operação - Histórico da Operação: Geração de Energia.” [Online]. Acessado: 15 jul 2024. Disponível: https://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/geracao_energia.aspx.

operacao/historico-da-operacao/geracao_energia.aspx.. [Acesso em 11 jun 2024].

- [50] Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), “Resultados da Operação - Histórico da Operação: Capacidade Instalada de Geração.” Acessado: 15 jul 2024. [Online]. Disponível: https://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/capacidade_instalada.aspx.

VII. BIOGRAFIAS



Ana Paula Siqueira Rosa é graduada em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEL), atualmente mestranda da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Possui interesse em aplicações envolvendo o uso de energia renováveis, englobando sistemas elétricos de potência e suas respectivas integrações.



André Luiz Veiga Gimenes é membro do IEEE - Power & Energy Society (PES). É graduado em Engenharia de Energia e Automação Elétricas pela Universidade de São Paulo (1997), possui mestrado (2000) e doutorado (2004) em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo. É professor do Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Atua com foco na área de Planejamento Energético e Gestão de Energia.

Miguel Edgar Morales Udaeta é graduado em Engenharia Elétrica pela Facultad de Ciencias y Tecnologia, Universidad Mayor de San Simón (1984), possui mestrado (1990) e doutorado (1997) em Engenharia Elétrica pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP). Tem pós-doutorado em planejamento energético e planejamento integrado de recursos pela USP (1999 e 2003) e livre-docência pela EPUSP (2012). Atualmente é professor de pós-graduação e pesquisador no GEPEA/EPUSP (Grupo de Energia do Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo). Possui experiência na área de Engenharia de Energia e Economia de Energia.



Vanessa Meloni Massara é graduada em Engenharia Civil pela Escola de Engenharia Mauá (1996), possui mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana pela Escola Politécnica da USP (2002), doutorado em Energia pelo Instituto de Energia e Ambiente da USP (2007) e Pós Doutorado em Engenharia de Produção pela Escola Politécnica da USP (2012). Atua como pesquisadora colaboradora do Grupo de Energia GEPEA do Departamento de Energia e Automação Elétricas da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Possui experiência na área de Planejamento Urbano e Regional, com ênfase em Infra-Estruturas Urbanas e Regionais.



Viviane Tavares Nascimento é graduada em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (2008) e possui mestrado (2017) e doutorado (2022) em Engenharia Elétrica pela Escola Politécnica da USP. Desde 2017 trabalha como pesquisadora junto ao Grupo de Energia do Departamento de Engenharia de Energia e Automações Elétricas (GEPEA) vinculado à Escola Politécnica.