


A influência da inteligência artificial (IA) na transição energética rumo a uma economia digital sustentável: uma análise comparativa entre Brasil e Uruguai


Vanessa Maria de Oliveira Accioly Maia*

Tribunal de Justiça do Rio Grande do Norte

<https://orcid.org/0000-0002-9628-3070> 


Fernando Joaquim Ferreira Maia**

Universidade Federal da Paraíba

<http://orcid.org/0000-0002-5419-2031> 

Hirdan Katarina de Medeiros Costa***

Universidade Federal da Paraíba

<https://orcid.org/0000-0001-5106-6251> 

Resumo: Este estudo analisa a transição energética no Brasil e no Uruguai no contexto da economia digital e do uso crescente da inteligência artificial (IA), que impulsionam a demanda por fontes renováveis. Investiga-se como cada país se adapta para atender às exigências de data centers e infraestruturas digitais de forma sustentável. O objetivo é analisar a influência da integração de tecnologias de IA na transição energética rumo a uma economia digital sustentável, comparando políticas de incentivo, investimentos em infraestrutura e desafios específicos para manter uma matriz renovável que suporte o setor digital. Para tanto, utilizou-se uma abordagem comparativa causal descritiva, com revisão bibliográfica e documental das políticas nacionais de transição energética e do uso da IA no setor energético. Os resultados sugerem que, embora o Uruguai tenha avançado rapidamente na transição energética e se mostre mais eficiente, o Brasil, em razão de sua escala e diversificação de fontes, apresenta um grande potencial de expansão, especialmente, no setor de hidrogênio verde. Concluindo-se que o Uruguai integra a IA de forma mais eficaz em seus sistemas energéticos renováveis do que o Brasil, devido a investimentos consolidados e a um ambiente regulatório robusto, enquanto o potencial brasileiro é limitado por desafios logísticos e político.

Palavras-chave: *Transição Energética; Inteligência Artificial; Sustentabilidade; Economia digital.*

* Mestre em Direito pela UFRN. Email: vanessaaccioly6@gmail.com

** Doutor em Direito pela UFPE. E-mail: fernandojoaquimmaia@gmail.com

*** Doutora em Energia pela USP e em Direito pela PUC/SP. E-mail: hirdankatarina@gmail.com



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

Programa de Pós-Graduação em Ciências Jurídicas

DOI: <https://doi.org/10.22478/ufpb.1678-2593.2025v24n57.77361>

A influência da inteligência artificial (IA) na transição energética rumo a uma economia digital sustentável: uma análise comparativa entre Brasil e Uruguai

Vanessa Maria de Oliveira Accioly Maia

Fernando Joaquim Ferreira Maia

Hirdan Katarina de Medeiros Costa

1 INTRODUÇÃO

Na contemporaneidade, o crescimento exponencial da economia digital e o avanço da inteligência artificial (IA) têm transformado substancialmente a sociedade e a economia global. Desde a expansão das plataformas digitais até a criação de redes de dados massivas, essa transformação digital intensifica a demanda por energia elétrica em níveis sem precedentes. Estima-se que até 2030, data centers e redes de processamento de IA possam consumir 4,5% da energia mundial (Lemos, 2024 [online]).

O aumento dessa necessidade de eletricidade instiga os países a adaptarem suas matrizes energéticas para suportar o consumo do setor digital enquanto enfrentam pressões políticas internas e externas para mitigação das mudanças climáticas. Assim, a sustentabilidade energética não traduz apenas uma questão de necessidade ambiental, mas reflete um importante objetivo estratégico para as gerações futuras também nos aspectos social e econômico (Weber e Costa, 2020, p. 85), neste último, estendendo-se à economia digital.

No contexto da América do Sul, o Brasil e o Uruguai vem se destacando quanto aos avanços na transição de suas matrizes energéticas para fontes renováveis. Assim, estudar esses dois países permite uma compreensão mais ampla das estratégias de transição energética aplicáveis ao cenário latino-americano e global, objetivando demonstrar as políticas de incentivo, investimentos em infraestrutura e o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis para suprir a demanda de um mundo orientado cada vez mais pela economia digital.

No Brasil, segundo dados do Ministério de Minas e Energia (MME), a participação dessas energias na matriz energética brasileira atingiu 49,1% em 2024, evidenciando avanços substanciais na transição energética (EPP, 2024), destacando-se internacionalmente pela baixa emissão de gases de efeito estufa e alta sustentabilidade. No setor de geração elétrica, a participação de fontes renováveis deve atingir cerca de 86%, destacando-se o crescimento da energia eólica, que passará de 2% para 8% da matriz elétrica nacional até 2024 (EPP, 2024).

Por sua vez, o Uruguai promove um amplo debate nacional, desde 2004, para definir uma nova política energética, envolvendo o Estado, o setor privado e a sociedade civil. Esse processo teve seu ápice, em 2008, por meio de uma política com visão até 2030, que buscava a independência energética do país, integrada ao contexto regional. A meta inicial de gerar 500 MWh com novas energias renováveis até 2050 foi rapidamente superada, atingindo, em 2017, um patamar de 98% de geração de energia elétrica de fontes renováveis, consolidando um marco regulatório que impulsionou essa transição (Madureira et al., 2023).

Aspectos relevantes presentes nesta pesquisa são que o Brasil possui fontes renováveis diversificadas, incluindo a hidrelétrica, a solar, a eólica e a biomassa, proporcionando um potencial energético significativo para atender ao setor digital por meio de energia limpa. Além disso, o Brasil tem potencial de ser um grande produtor de hidrogênio verde (de baixo carbono), cujo aproveitamento energético ocorre por meio da eletrólise que não causa danos ao meio ambiente. A recente publicação da Lei n. 14.948, de 02 de agosto de 2024, que instituiu o marco legal do hidrogênio de baixa emissão de carbono no Brasil, é um passo importante para consolidar o Brasil como um hub de energia limpa no mercado digital, aproveitando a expansão da IA para promover desenvolvimento econômico e ambientalmente responsável (Lemos, 2024 [online]).

Já o Uruguai é um exemplo global de rapidez dessa transição, com um dos maiores índices de geração eólica per capita do mundo, além de uma infraestrutura renovável que lhe confere independência energética e capacidade de exportação para os países vizinhos como Brasil e Argentina (Fornillo, 202, p.7-9). Na segunda fase de sua transição energética, assim como o Brasil, o Uruguai também objetiva o desenvolvimento do hidrogênio verde. Nesse sentido, o governo uruguaio, através do Ministério da Indústria, Energia e Mineração (MIEM), lançou o plano denominado Green Hydrogen Roadmap, que inclui medidas técnicas para a produção e exportação de hidrogênio e seus derivados, como combustíveis e fertilizantes verdes, visando tanto o consumo interno quanto a exportação (Stuhldreher et al., 2023).

A partir destas considerações o presente estudo se propõe a enfrentar o seguinte questionamento: em que medida a integração de tecnologias de inteligência artificial tem impulsionado a transição energética para uma economia digital sustentável, e quais são as semelhanças e diferenças desse processo entre Brasil e Uruguai?

Desse modo, objetiva-se analisar a influência da integração de tecnologias de inteligência artificial na transição energética para uma economia digital sustentável, no Brasil e no Uruguai, e de maneira específica: i) examinar as políticas e regulamentações em cada país voltadas para o uso de energias renováveis identificando os programas governamentais que estimulam o desenvolvimento sustentável e ii) comparar a infraestrutura energética brasileira e uruguaia que atendem à economia digital, destacando a capacidade instalada de energias renováveis e a disponibilidade de fontes como energia solar, eólica e hidrogênio verde.

Postula-se, no contexto comparativo, que o Uruguai apresenta, atualmente, uma adaptação mais eficaz da integração da IA nos sistemas energéticos renováveis em relação ao Brasil, devido a completude de investimentos na infraestrutura dessas energias,

considerando sua extensão territorial de aproximadamente 176 mil Km², sendo o segundo menor país do continente americano, após o Suriname , bem assim, possuir um ambiente regulatório mais consolidado para instalação de sistemas das redes inteligentes e de Inteligência Artificial, permitindo um melhor gerenciamento de consumo de energia, otimizando a eficiência energética. Já o Brasil, em que pese sua diversificação de fontes de energias renováveis e capacidade energética superior, para integrar sustentabilidade e crescimento digital, enfrenta maiores desafios logísticos, dada a sua dimensão continental, e políticos no tocante ao complexo processo regulatório do seu setor elétrico.

Trata-se, portanto, de pesquisa aplicada, com abordagem comparativa causal descritiva, na qual os efeitos observados são analisados para identificar e compreender os antecedentes das variações encontradas entre os sistemas energéticos do Brasil e do Uruguai (Richardson et al., 2012, p.73 -74), relacionando-as com o modo que cada país está lidando com as consequências da transição energética e com os desafios regulatórios para uma economia digital sustentável. Lakatos e Marconi (2003, p.107), observam que o método comparativo permite analisar dados concretos, deduzindo elementos constantes e gerais, funcionando como uma experimentação indireta. Além disso, conforme Gustin et al. (2020, [digital]), o raciocínio jurídico-comparativo é eficaz para confrontar quadros normativos, suprimindo lacunas e antinomias, além de gerar hipóteses explicativas.

Os procedimentos metodológicos adotados foram a pesquisa bibliográfica e documental de ambos os países estudados. No que tange à coleta de dados, utilizou-se os sites oficiais dos Governos brasileiro e uruguaio para análise legislativa e administrativa relacionados à transição energética dos respectivos países, bem como realizou-se levantamento bibliográfico disponível na plataforma Google Scholar e no Portal de Periódicos da Capes, para verificar a produção acadêmica relacionada à temática.

Por fim, o trabalho se apresenta em duas seções: a primeira descreve a transição para energias renováveis no Brasil e Uruguai e a segunda apresenta o impacto da economia digital e da inteligência artificial (IA) na demanda energética daqueles países. Por último, apresenta-se as considerações finais articuladas.

2 TRANSIÇÃO ENERGÉTICA PARA MATRIZES RENOVÁVEIS NO BRASIL E NO URUGUAI

A transição energética de um país é um processo de mudança da matriz energética que busca, progressivamente, um substituto da matriz energética existente pelas matrizes renováveis e sustentáveis. Este conceito é premente nas políticas energéticas contemporâneas e em particular, em resposta às exigências do Acordo Paris¹, que estabelecem metas globais de redução de emissões de gases de efeito estufa para a luta contra as mudanças climáticas (IPCC, 2018). Assim, a transição energética é um processo de diversificação das fontes de energia e de políticas assistidas ao consumo eficiente e sustentável de recursos energéticos, bem como tecnologias que possam mitigar o seu impacto ambiental (OCDE, 2017).

O desenvolvimento da matriz energética renovável do Brasil é caracterizado pela predominância de hidrelétricas, acompanhadas por crescentes investimentos em fontes eólica, solar e biomassa. Essa configuração permite ao Brasil manter uma matriz com cerca de 75% de participação de fontes renováveis, destacando-se internacionalmente pela baixa emissão de gases de efeito estufa e alta sustentabilidade. Entretanto, essa matriz possui vulnerabilidades durante os períodos prolongados de seca, que obstaculizam a capacidade de geração hidrelétrica. Para garantir a segurança energética, o Brasil tem diversificado suas fontes em energia eólica e

¹O principal objetivo do Acordo de Paris é limitar o aumento da temperatura média global a menos de 2° em relação aos níveis pré-industriais, preferencialmente, restringindo o acréscimo a 1,5°C.

solar (Vidal et al., 2023, p.1), as quais ganham espaço no sistema elétrico nacional, contribuindo para a redução da dependência de combustíveis fósseis e avançam na descarbonização da matriz (Fraundorfer e Rabitz, 2020, p. 652-660).

No âmbito do hidrogênio verde, o Plano Nacional de Energia (PNE) 2050 ressalta a eletrólise a partir de fontes renováveis como o objetivo mais promissor e limpo, embora esteja associada aos custos elevados dos eletrolisadores. Uma possibilidade apontada para reduzir esses custos inclui a produção nacional de eletrolisadores, aproveitando recursos locais, como as ligas de níquel abundantes no Brasil. Essa abordagem vislumbra tornar o país competitivo na produção de hidrogênio verde, promovendo uma inserção importante desta tecnologia na matriz energética futura.

No entanto, o Brasil ainda enfrenta desafios de infraestrutura de transmissão onerosa, e a necessidade de reforçar a política de desenvolvimento sustentável e mitigar a confiabilidade da fonte térmica durante as secas. Os investimentos em fontes eólica e solar, com políticas de incentivo e regulação, são uma pré-condição diante das metas climáticas e da busca pela redução da matriz energética baseada em combustíveis fósseis, que caracteriza o Acordo de Paris (Lima et al., 2020 [online]).

Por outro lado, o Uruguai tem se destacado como uma referência de transição energética eficiente em pouco tempo. Antigamente, com uma matriz de geração hidrotérmica, com geradoras hidroelétricas e térmicas, assim como importador de energia, o país adotou a “Política Energética 2005-2030”, por meio da qual realizou investimentos em energia renovável, especialmente, de origem eólica. Neste sentido, de 2014 a 2018, o Uruguai expandiu consideravelmente sua capacidade de geração de energia eólica para cerca de 30% da capacidade instalada (Gramkow et al., 2019 [online]). Além disso, o país investiu em usinas de ciclo combinado utilizando gás natural importado da Argentina e, na construção da usina de Palmar, também importou energia elétrica daquele país vizinho. Tais

esforços provaram ser necessários para o aprimoramento da segurança do suprimento elétrico e, conseqüentemente, a diminuição de dependência de fontes convencionais, sendo elas complementares, dependendo da hora do dia ou da estação do ano (Corrêa e Maldonado, 2012, p. 6).

Uma política de Estado consensualmente aprovada por parte de todos os partidos e uma estabilidade regulatória e segurança para a investidor nacional e internacional foi a razão pela qual esta rápida transformação foi possível. Ademais, a Administração Nacional Usinas e Transmissões Elétricas do Estado (UTE) foi central para o processo, conduzindo licitações e celebrando contratos de longo prazo com geradores privados. Uma combinação de estabilidade política, planejamento estatal e incentivo ao setor privado, foram responsáveis pela mudança no *status* do Uruguai, de país importador em exportador de energia, inclusive, para a Argentina e Brasil (Fornilo, 2021, p. 7).

Em 2020, o Uruguai apresentou uma capacidade instalada de 4,9 GW, com a energia hídrica representando 31,2% e a eólica, 30,7% dessa geração (OLADE, 2021, [online]). No mesmo ano, a produção total de eletricidade atingiu 13,5 TWh, distribuída entre 40% de energia eólica, 30% de hidrelétrica, 20% de biomassa, 6% de combustíveis fósseis e 4% de energia solar, não produzindo carvão, petróleo bruto e gás natural (OLADE, 2021, [online]). Nesse contexto, 100% da sua população tem acesso à eletricidade oriunda de fontes renováveis (baixo carbono), evidenciando uma cobertura completa (CIA, 2021, [online]). Bem assim, para garantir a modernização e a expansão da infraestrutura de transmissão elétrica, a UTE planeja investir US\$ 960 milhões no período de 2020 a 2025, sendo um dos principais objetivos da empresa a instalação de um milhão de medidores inteligente até o final de 2025 com a infraestrutura associada (BNamericas, 2021 [online]).

De acordo com dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2023), a matriz elétrica brasileira em 2023 totalizou 708 TWh, sendo majoritariamente composta por fontes hidráulicas (58,9%), seguidas pela eólica (13,2%), solar (7,0%), gás natural (5,5%) e bagaço de cana (5,1%). Além disso, há participação de fontes nucleares (2,6%), carvão (1,2%), óleo diesel (0,6%) e outras fontes não renováveis (1,0%). No entanto, mesmo com uma matriz elétrica composta 49,1% de fontes renováveis, uma parcela considerável da população enfrenta dificuldades de acesso à eletricidade, a ponto de sacrificar a aquisição de alimentos básicos (Instituto Polis, 2024), pois cerca de 35 milhões de pessoas recorrem a fontes energéticas poluentes, como carvão e lenha, devido à falta de acesso a alternativas como o gás de cozinha (Instituto Polis, 2022). Além disso, a carência de infraestrutura tecnológica e a menor conectividade com serviços de telecomunicação, especialmente internet de qualidade², impactam diretamente no exercício dos direitos humanos básicos e no desenvolvimento socioeconômico.

A comparação da transição energética entre Brasil e Uruguai revela abordagens semelhantes, no tocante à busca por uma matriz energética mais limpa e acessível na América Latina. No entanto, o Brasil trabalha para além de diversificar sua matriz, distribuir a energia limpa gerada para toda a sua população, ao passo que o Uruguai apesar de uma base mais vulnerável, consegue distribuir a energia gerada para sua população integralmente, por meio do uso da tecnologia das redes elétricas inteligentes. Enquanto no Brasil, o Projeto de Lei n. 2932/2015, que estabelece o Plano Nacional de Redes Elétricas Inteligentes, encontra-se em tramitação no Congresso Nacional, tendo sido aprovado pela Comissão de Constituição e Justiça e de Cidadania (CCJ) da Câmara dos Deputados em 30 maio de 2023.

² De acordo com a pesquisa a TIC Domicílios 2024, apenas 22% das pessoas com 10 anos ou mais no Brasil têm condições satisfatórias de conectividade, denominada “conectividade significativa”, incluindo banda larga fixa no lar e acesso por múltiplos dispositivos (celular, computador, televisão etc.). (COMITÊ GESTOR DA INTERNET NO BRASIL, 2024).

No tocante à modicidade do fornecimento de energia elétrica, os dois países enfrentam desafios relacionados às tarifas elevadas para consumidores. No Brasil, isso ocorre, especialmente, durante o período de seca, enquanto no Uruguai o custo elevado da eletricidade sem mantém como resultado dos investimentos com as tecnologias viabilizadoras das redes inteligentes, como o uso de sensores automatizados, Internet das Coisas (IoT) e Inteligência Artificial (IA) para medir o consumo e a eficiência energética (Melo e Xavier 2023, p. 20).

Recentemente, em 12 de fevereiro de 2025, foi celebrado um acordo entre o Ministério de Minas e Energia do Brasil e o Ministerio de Industria, Energía y Minería do Uruguai, em Montevideu, por meio de um Memorando de Entendimento que visa ampliar a integração energética entre os dois países. O pacto propõe a transferência do ponto de entrega da energia da Subestação de Energia (SE) Presidente Médici (230 kV) para a SE Candiota II (525 kV), reforçando a cooperação elétrica na América do Sul. Essa iniciativa tem o potencial de aumentar a segurança energética, otimizar a utilização de recursos e impulsionar o desenvolvimento de energias renováveis, consolidando um modelo energético mais eficiente e sustentável (MME, 2024).

Isto posto, verifica-se que a construção de uma matriz renovável e eficiente para a transição energética justa é fundamental para que Brasil e Uruguai cumpram suas metas climáticas e contribuam para um futuro energético sustentável, apesar das particularidades e desafios que cada um desses países possui, sendo possível avançar com políticas adequadas, incentivos à inovação tecnológica e com acordos de cooperação.

3 IMPACTO DA ECONOMIA DIGITAL E DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL (IA) NA DEMANDA ENERGÉTICA DO BRASIL E URUGUAI

A economia digital é uma transformação ampla e multidimensional do tipo da economia tradicional, uma vez que baseia a adoção e incorporação de tecnologias digitais às atividades produtivas, comerciais e de serviços, dependente da capacidade de processamento e análise de dados para criar valor e melhorar a eficiência em vários setores. Para um conceito abrangente da economia digital, o artigo de Bukht e Heeks (2017) define a economia digital como o conjunto de atividades econômicas dependentes de tecnologias digitais, com três níveis principais: i) o que se refere ao núcleo digital, em que estão contidos o setor de TI/TIC; ii) a economia digital propriamente dita (serviços emergentes, setores, plataformas); e iii) a economia digitalizada (utilização de TICs nos setores em geral). Tal estrutura demonstra como as digitais alteram os modelos de negócios e criam fluxos de valor econômico.

Como uma parte essencial da economia digital, IA e big data são usados para que as empresas possam analisar grandes volumes de dados para prever o comportamento de consumidores, melhorar as operações ou oferecer produtos personalizados. As aplicações de uma IA vão desde a gestão de energia às finanças e aos serviços de saúde e permitem uma automatização mais inteligente e a criação de soluções inovadoras para desafios complexos como a sustentabilidade e a segurança dos dados (Ahmad et al., 2021).

Atualmente, o crescimento da economia digital e tecnologias como a Inteligência Artificial avançada (IA), a big data e a tecnologia de armazenamento em nuvem, transformaram governos, indústrias e comércios moldando-os a uma nova realidade de demanda energética. Isso porque esses setores requerem uma infraestrutura avançada, como data centers e redes de comunicação, que consomem uma elevada quantidade de energia elétrica de forma exponencial. Com a crescente disponibilidade da distribuição de energia renovável, o Brasil configura uma oportunidade estratégica para o atendimento dessa alta demanda, podendo se desenvolver como um hub de

infraestrutura digital sustentável na América do Sul (Ahamed et al., 2021).

Data centers e operações de IA possuem uma enorme necessidade de consumo energético. Nesse contexto, a Nvidia, por exemplo, despachou, em 2023, cerca de cem mil chips de IA consumindo 7,3 TWh (terawhatt - hors) de energia – um número que deve aumentar significativamente nos próximos anos. Tal situação revela a intrínseca relação entre a expansão da IA e a demanda por eletricidade, especialmente, em centros de processamento de dados que suportam esses sistemas.

Com o marco legal do hidrogênio de baixo carbono (Lei n. 14.948, de 02 de agosto de 2024), o Brasil poderá ampliar uma vantagem competitiva ao acelerar o Programa Nacional de Hidrogênio (PNH₂), com base na produção e exportação de hidrogênio verde para alimentar cargas de IA em outras partes do mundo, contribuindo para a redução de emissões e fortalecendo o compromisso global com a sustentabilidade (Lemos, 2004 [online]). Em um cenário de incertezas econômicas, a integração da IA fortalece a competitividade do setor, promovendo uma transição energética eficaz e consolidando o Brasil como referência na transformação digital do segmento energético no cenário atual global.

Nesse sentido, o Projeto de Lei n. 2.338/2023, que dispõe sobre o uso da Inteligência Artificial no Brasil, e o Plano Brasileiro de Inteligência Artificial (PBIA) 2024-2028 são marcos regulatórios estratégicos que visam fomentar o uso seguro e inovador da IA no Brasil. O PL n. 2.338/2023, no seu art. 17, inciso I, estabelece diretrizes para a implementação de sistemas de IA classificando como de alto risco aqueles aplicados em infraestruturas críticas, como redes de abastecimento de eletricidade e controle de tráfego, assegurando a proteção dos usuários e a responsabilidade dos desenvolvedores. Paralelamente, o PBIA 2024-2028 define metas e estratégias para incentivar o desenvolvimento tecnológico e a adoção de IA em diversos

setores, com ênfase na sustentabilidade e competitividade internacional.

No tocante ao Uruguai, de acordo com o Índice de Preparação Governamental para a Inteligência Artificial de 2019, desenvolvido pelo *Oxford Insights International Development Research Centre* (IDRC), o país é reconhecido como o segundo da América Latina em preparação para a IA, apenas abaixo do México, e a 35^a posição global, com uma nota de 6,522/10, que considera critérios de governança, infraestrutura, habilidades e serviços públicos. Com a Estratégia Nacional de Inteligência Artificial 2024-2030, elaborada de forma participativa com a cooperação do Banco de Desenvolvimento de América Latina e do Caribe (CAF) e da UNESCO, o Uruguai definiu os principais marcos, objetivos e ações a serem implementados até 2030 (UruguayXXI, 2020 [online]).

A infraestrutura uruguaia atrai empresas multinacionais orientadas para a tecnologia, que procuram harmonizar as suas operações com grandes objetivos de sustentabilidade e poupança de energia. De acordo com Lane (2017), o Uruguai é um dos poucos países da América Latina que já completou uma transição para energias limpas e renováveis que podem alimentar o crescimento de outras incubadoras de centros digitais que requerem um fornecimento de energia confiável e sustentável. Desse modo, destacando-se com a inovação e a transformação digital, o Uruguai atraiu a intenção da Google de ter o seu segundo centro de dados na América Latina, (Bloomberg Línea, 2024), corroborado pela base de energia renovável do país, que traduz a sua pontuação de energia verde no mix de energia, provavelmente, de fontes eólicas e solares.


Em suma, o impacto da economia digital e da AI na demanda de energia é indiscutível e desafia os países a adaptarem sua infraestrutura para atender a essas novas demandas de sustentabilidade. A par disso, um estudo realizado por Huang e Chen (2023) com 275 cidades inteligentes, na China, explorou como o uso de Inteligência Artificial (IA) e tecnologias de big data, podem otimizar

a gestão de recursos energéticos em cidades inteligentes, não só em termos de eficiência, mas também de redução de emissões de carbono. A análise teve em conta o impacto da maturidade digital e da disponibilidade de infraestruturas modernas de suporte na implementação dessas tecnologias em ambientes urbanos, o que indica que as políticas locais e o nível de desenvolvimento tecnológico são fatores críticos para o sucesso da utilização dessas tecnologias.

Considerando o uso da IA nas demandas energética neste estudo comparativo entre Brasil e Uruguai, é de se dizer que de acordo com Bergman e Foxon (2022), essa tecnologia fornece um controle autônomo das redes elétricas balanceando automaticamente a oferta e demanda, essencial à estabilidade da rede, sobretudo em países como o Uruguai, que possui uma alta porcentagem de energia renovável cuja variabilidade é desafiadora de controlar sem um sistema inteligente. Já no Brasil, a IA poderia tornar o uso mais eficiente da energia, aglomerando fontes diversas, tais como hidrelétricas e solares para reduzir perdas e aumentar a eficiência energética em centros de dados e outras estruturas digitais.

Quando a IA é usada para manutenção preditiva e controle de eficiência energética Bergman e Foxon (2022) apontam que há possibilidade de reduzir as emissões de carbono, já que a tecnologia permite identificar problemas de desempenho antes que eles impactem o sistema, minimizando desperdícios de energia. Tal evidência pode ser aplicada no Brasil e no Uruguai para melhorar a sustentabilidade dos sistemas energéticos renováveis e contribuir para as metas de redução de carbono, alinhando-se com as políticas de baixo carbono. A par disso, apresenta-se figura abaixo de um quadro regulatório comparando o Brasil com o Uruguai, no tocante às normas referentes à suficiência energética e à baixa emissão de carbono com a utilização de novas tecnologias.

Figura 1. Quadro regulatório do Brasil e Uruguai sobre Suficiência Energética e Baixa Emissão de Carbono

Aspecto Regulatório	Brasil	Uruguai
Redução de Emissões de Carbono	Lei 12.187/2009 - Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), com metas de redução de emissões alinhadas ao Acordo de Paris.	Ley No. 18.195/2007 - Promove o uso de biocombustíveis e outras fontes renováveis para reduzir emissões no setor de transporte.
Energia Renovável e Suficiência Energética	Lei 10.438/2002 - Incentiva o uso de energias renováveis, especialmente em áreas com menor cobertura de energia elétrica.	Política Energética 2005-2030 (PE2005-2030) - Diretrizes estratégicas para atingir 50% de renováveis na matriz energética até 2030 e aumentar a eficiência.
Incentivo ao Uso de Tecnologia Digital	Plano Nacional de Internet das Coisas (Decreto 9.854/2019) - Promove a digitalização e eficiência nos setores de energia e transporte.	Redes Inteligentes - Projeto de implementação de medidores inteligentes e incentivo à automação para eficiência e controle energético.
Políticas para Redes Inteligentes e Eficiência Energética	Programa de Redes Elétricas Inteligentes - Incentiva investimentos em redes para monitoramento e controle eficientes. Projeto de Lei nº 2.932/2015. 	Ley Nº 18.597/2009 - Regulamenta e promove o uso eficiente de energia em todos os setores, com incentivos fiscais e financeiros para iniciativas de eficiência energética (Presidencia de Uruguay, 2009).

Fonte: Open-AI. GPT-4, Versão 14 de março de 2023.

Noutra vertente, Bergman e Foxon (2022) também alertam para os problemas da necessidade de infraestruturas avançadas e da proteção contra ciberataques como pré-requisito para qualquer país que pretenda incorporar a IA em larga escala na rede elétrica. Nesse sentido, embora ambas as operações devam ser realizadas, o Brasil e o Uruguai devem investir em infraestruturas digitais robustas e sistemas de segurança para apoiar estas operações de IA em grande escala, principalmente devido à ascensão da economia digital.

De acordo com Kimani et al. (2019), as redes inteligentes baseadas na Internet das Coisas (IoT) enfrentam desafios quanto à

segurança, devido ao vasto número de dispositivos conectados, o que aumenta o potencial de ataques cibernéticos. Nesse contexto, é necessário um planejamento estratégico de cibersegurança, especialmente em infraestruturas que suportam IA em larga escala, como as utilizadas em redes energéticas de países que expandem o uso de energias renováveis, como nos casos do Brasil e do Uruguai.

4 CONCLUSÃO

Esta pesquisa qualitativa, fundamentada na revisão bibliográfica e documental e utilizando o método comparativo, teve como objetivo analisar a influência da integração de tecnologias de Inteligência Artificial na transição energética para uma economia digital sustentável no Brasil e no Uruguai. A hipótese postula que o Uruguai integra a IA de forma mais eficaz em seus sistemas energéticos renováveis, apoiado por investimentos consolidados e um ambiente regulatório robusto, enquanto o Brasil enfrenta desafios logísticos e políticos que limitam esse potencial. A partir dos dados analisados, observou-se um cenário de contrastes entre os dois países.

No Uruguai, a literatura revela uma rápida e eficaz transição energética, marcada por políticas de incentivo consistentes e investimentos direcionados em tecnologias inovadoras. O país, beneficiado por uma matriz majoritariamente renovável e intermitente, com uma regulação estável, demonstrou maior eficiência na integração da IA para otimizar a gestão energética. Esse contexto permitiu que o Uruguai se posicionasse como referência na adoção de redes inteligentes e manutenção preditiva, confirmando, assim, a hipótese de uma adaptação mais eficaz no contexto uruguaio.

Em contrapartida, a análise do cenário brasileiro aponta para um grande potencial devido à diversificação das fontes renováveis e capacidade energética, porém evidenciou desafios relacionados à sua vasta extensão territorial e à complexidade do ambiente regulatório.

Apesar dos avanços em projetos de inovação, o Brasil ainda enfrenta entraves logísticos e políticos que dificultam a plena integração da IA em sua matriz energética. Esses fatores comprometem a eficácia das soluções tecnológicas e limitam a otimização dos sistemas de distribuição de energia.

Dessa forma, os resultados deste estudo confirmam a hipótese de que o Uruguai apresenta uma adaptação mais eficaz na integração da inteligência artificial em seus sistemas renováveis em comparação ao Brasil. Essa constatação reforça a necessidade de políticas públicas que estimulem investimentos e aprimorem a regulação no setor energético brasileiro.

Data de Submissão: 24/11/2025

Data de Aprovação: 02/12/2025

Processo de Avaliação: *double blind peer review*

Editora Geral: Hirdan Katarina de Medeiros Costa

Editor Convidado: Fernando Joaquim Ferreira Maia

Editora Convidada: Marilda Rosado de Sá Ribeiro

Assistente Editorial: Kyvia Celine Chevalley

REFERÊNCIAS

AHMAD, Tanveer; ZHANG, Dongdong; HUANG, Chao; ZHANG, Hongcai; DAI, Ningyi; SONG, Yonghua; CHEN, Huanxin. Artificial intelligence in sustainable energy industry: Status quo, challenges and opportunities. **Journal of Cleaner Production**, v. 289, p. 125834, 2021.

BERGMAN, Noam; FOXON, Timothy J. Drivers and effects of digitalization on energy demand in low-carbon scenarios. **Climate Policy**, v. 23, n. 3, p. 329-342, 2023.

BLOOMBERG LÍNEA. **Como o Uruguai se tornou um refúgio de bilionários da América Latina**. Bloomberg Línea, 9 jul. 2024. Disponível em: <<https://www.bloomberglinea.com.br/2024/07/09/como-o-uruguai-se-tornou-um-refugio-de-bilionarios-da-america-latina>>. Acesso em: 3 nov. 2024.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Brasil e Uruguai assinam acordo para ampliar integração energética na América do Sul**. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/brasil-e-uruguai-assinam-acordo-para-ampliar-integracao-energetica-na-america-do-sul>. Acesso em: 24 fev. 2025.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Fontes renováveis responderam por 93,1% da geração de energia elétrica em 2023**. Portal Gov.br, 3 fev. 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/fontes-renovaveis-responderam-por-93-1-da-geracao-de-energia-eletrica-em-2023>>. Acesso em: : 3 nov. 2024.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Segundo semestre de 2023 começa com recordes na geração eólica**. Portal Gov.br, 20 jul. 2023. Disponível em: < <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/segundo-semester-de-2023-comeca-com-recordes-na-geracao-eolica>>. Acesso em: : 3 nov. 2024.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia; Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Nacional de Energia 2050**. Brasília: MME/EPE, 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-PNE-2050>. Acesso em: 3 nov. 2024.

BUKHT, Rumana; HEEKS, Richard. Defining, conceptualising and measuring the digital economy. **Development Informatics working paper**, n. 68, 2017.

CIA – CENTRAL INTELLIGENCE AGENCY -. **The World Factbook: Uruguay**. Disponível em: <https://www.cia.gov/the-world-factbook/countries/uruguay/#energy>. Acesso em: 15 fev. 2025.

COMITÊ GESTOR DA INTERNET NO BRASIL (CGI.br.). **TIC Domicílios 2024**. Apenas 22% têm condições satisfatórias de conectividade no Brasil aponta TIC Domicílios. 01 no. 2024. Disponível em: <<https://cetic.br/noticia/tic-domicilios-2018-revela>>

que-40-8-milhoes-de-usuarios-de-internet-utilizam-aplicativos-de-taxi-ou-transporte/>. Acesso em: 20 jan. 2025.

CORRÊA, K. C.; MALDONADO, M. U.; VAZ, C. R. Os desafios da transição energética das Usinas Eólicas no Uruguai. **XXII ENGEMA**, v. 22, p. 384, 2012.

DE MELO, Karine Benassuky; XAVIER, Yanko Marcius de Alencar. Tutela Coletiva da Proteção de Dados Pessoais em Smart Grids. *In*: LANZILLO, Anderson Souza da Silva; GUIMARÃES, Patrícia Borba Vilar (Orgs.). **Estudos em Proteção de Dados Pessoais e Governo Digital**. Salvador, Ed. Motres, 2023.

EPP. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional 2024**: Ano base 2023. Rio de Janeiro: EPE, 2024. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-819/topico_715/BEN_Síntese_2024_PT.pdf.> Acesso em 19 jan. 2025.

EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Matriz Energética e Elétrica**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 24 fev. 2025.

FORNILLO, Bruno. Transición energética en Uruguay:¿ dominio del mercado o potencia público-social?. **Ambiente & Sociedade**, v. 24, 2021.

FRAUNDORFER, Markus; RABITZ, Florian. The Brazilian renewable energy policy framework: Instrument design and coherence. **Climate Policy**, v. 20, n. 5, p. 652-660, 2020.

GRAMKOW, Camila; SIMOES, Pedro Brandao da Silva; KREIMERMAN, Roberto. O grande impulso (big push) energético do Uruguai, **série Estudos e Perspectivas**-Escritório da CEPAL em Brasília, Nº 4 (LC/TS.2019/113-LC/BRS/TS.2019/5), Santiago, Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (CEPAL), 2019.

GUSTIN, Miracy Barbosa de Sousa; DIAS, Maria Tereza Fonseca; NICÁCIO, Camila Silva. **(Re) pensando a pesquisa jurídica**: teoria e prática. 5. ed. rev., ampl. e atual. São Paulo: Almedina Brasil, 2020.

HUANG, Senhua; CHEN, Lingming. The impact of the digital economy on the urban total-factor energy efficiency: Evidence from 275 cities in China. **Sustainability**, v. 15, n. 4, p. 3195, 2023.

Disponível em: <https://www.mdpi.com/doi/10.3390/su15043195>. Acesso em: 5 nov. 2024.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE -. **Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty.** Genebra: IPCC, 2018. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/sr15/>. Acesso em: 4 nov. 2024.

INSTITUTO POLIS. **Justiça Energética** Pesquisa de opinião pública. São Paulo, Brasil, jun. 2024. Disponível em: <<https://polis.org.br/wp-content/uploads/2024/06/justica-energetica.pdf>>. Acesso em: 21 dez. 2025.

INSTITUTO POLIS. **Racismo Ambiental e justiça socioambiental nas cidades.** Disponível em: <<https://polis.org.br/estudos/racismo-ambiental/>>. Acesso em 21 dez 2024

KIMANI, Kenneth; ODUOL, Vitalice; LANGAT, Kibet. Cyber security challenges for IoT-based smart grid networks. **International journal of critical infrastructure protection**, v. 25, p. 36-49, 2019.

LANE, J. Latin America and the COP21 Agreement: A Most Severe Implementation Problematic. **Journal of Environmental Protection and Forest Science**, v. 3, p. 107, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.22158/JEPF.V3N1P107>>. Acesso em: 4 nov. 2024.

LE MOS, Ronaldo. **Brasil pode enriquecer com energia renovável para IA.** Brasilagro, 8 jul. 2024. Disponível em: <https://www.brasilagro.com.br/conteudo/brasil-pode-enriquecer-com-energia-renovavel-para-ia-por-ronaldo-lemos.html>. Acesso em: 3 nov. 2024.

MARCONI, Marina de Andrade.; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de Metodologia Científica.** 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

OCDE – ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO - . **Investing in Climate, Investing in Growth.** Paris: OECD Publishing, 2017. Disponível

em: <https://www.oecd.org/env/investing-in-climate-investing-in-growth-9789264273528-en.htm>. Acesso em: 4 nov. 2024.

OLADE – ORGANIZACIÓN LATINOMREICANA DE ENERGÍA - . **Panorama energético de América Latina y el Caribe 2021**. Disponível em: <https://www.olade.org/publicaciones/panorama-energetico-de-america-latina-y-el-caribe-2021/>. Acesso em: 15 fev. 2025.

OPEN-AI. **Quadro regulatório do Brasil e Uruguai sobre suficiência energética e baixa emissão de carbono**. GPT-4, Versão 14 de março de 2023. Inteligência Artificial. Disponível em: <https://chatgpt.com> . Acesso em 05nov. 2024.

RICHARDSON, Roberto Jarry; colaboradores José Augusto de Souza Peres et al. **Pesquisa social: métodos e técnicas**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2012.

STUHLREHER, Amalia Margarita; OLMOS, Virginia Morales. ESTRATÉGIAS DE SAÍDA DO MERCOSUL E PÓS-COVID 19 EM TERMOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: ENERGIAS RENOVÁVEIS E MUDANÇA CLIMÁTICA. **Revista Brasileira de Estratégia e Relações Interacionais Brazilian Journal of Strategy & International Relations**, Porto Alegre: Austral, v.12, 2023.

URUGUAYXXI. **Uruguay líder regional en inteligencia artificial**. Disponível em: <https://www.uruguayxxi.gub.uy/pt/noticias/articulo/uruguay-lider-regional-en-inteligencia-artificial/>. Acesso em: 24 fev. 2025.

VIDAL, Douglas Bitencourt; TORRES, Ednildo Andrade; DE JONG, Pieter. Study of indicators on regulation for offshore wind energy exploitation in Brazil. **DELOS: Desarrollo Local Sostenible**, v. 16, n. 48, p. 3375-3398, 2023

WEBER, Natália de Assis Brasil; COSTA, Hirdan Katarina de Melo. Reflexões sobre a relação entre sustentabilidade, transição energética e mudanças climáticas em direção ao contexto geracional. In: COSTA, Hirdan Katarina Medeiros (Org.). **Transição energética, justiça geracional e mudanças climáticas**. São Paulo: Editora Lumen Juris, 2020.

A influência da inteligência artificial (IA) na transição energética rumo a uma economia digital sustentável: uma análise comparativa entre Brasil e Uruguai

The influence of artificial intelligence (AI) on the energy transition towards a sustainable digital economy: a comparative analysis between Brazil and Uruguay

Vanessa Maria de Oliveira Accioly Maia

Fernando Joaquim Ferreira Maia

Hirdan Katarina de Medeiros Costa

Abstract: This study analyzes the energy transition in Brazil and Uruguay in the context of the digital economy and the growing use of artificial intelligence (AI), which are driving demand for renewable sources. It investigates how each country is adapting to meet the demands of data centers and digital infrastructures in a sustainable way. The objective is to analyze the influence of the integration of AI technologies on the energy transition towards a sustainable digital economy, comparing incentive policies, investments in infrastructure and specific challenges to maintain a renewable matrix that supports the digital sector. To this end, a descriptive causal comparative approach was used, with a bibliographic and documentary review of national energy transition policies and the use of AI in the energy sector. The results suggest that while Uruguay has made rapid progress in the energy transition and is proving to be more efficient, Brazil, due to its scale and diversification of sources, has great potential for expansion, especially in the green hydrogen sector. The conclusion is that Uruguay is integrating AI more effectively into its renewable energy systems than Brazil, due to consolidated investments and a robust regulatory environment, while Brazil's potential is limited by logistical and political challenges.

Keywords: *Energy Transition; Artificial Intelligence; Sustainability; Digital Economy.*

DOI: <https://doi.org/10.22478/ufpb.1678-2593.2025v24n57.77361>
Conteúdo sob licença *Creative Commons: Attribution-NonCommercial-NoDerivative 4.0 International* (CC BY-NC-ND 4.0)

