



Planejamento público de matrizes elétricas sustentáveis e inteligência artificial

Public planning of sustainable electric matrices and artificial intelligence

Fabricio Quadros Borges* | Fabrini Quadros Borges**

<http://dx.doi.org/10.51861/ded.dmvu.9.3.013>

Recebido em: 16 de setembro de 2021. Aprovado em: 26 de novembro de 2021.

Resumo

O objetivo deste estudo é analisar a possibilidade de contribuição da inteligência artificial na orientação de tomada de decisão no planejamento público de matrizes elétricas sustentáveis. As análises realizadas pela inteligência artificial devem partir de uma estrutura de dados completa e integrada, que esteja classificada e agrupada na intenção de produzir sinergicamente captações mentais e preditivas. Nesta perspectiva, na metodologia desta investigação, construiu-se uma estrutura de análise de fontes de eletricidade, baseada nas dimensões econômica, social, ambiental e tecnológica; assim como, uma estrutura de análise setorial de indicadores de sustentabilidade energética, apoiada em correlações lineares de natureza econômica, social, ambiental e política. O estudo concluiu que a inteligência artificial pode orientar decisões no planejamento de matrizes elétricas, desde que baseadas em estruturas de análise focadas no uso estratégico de fontes de eletricidade e no emprego de indicadores setoriais e multidimensionais. Esta investigação constitui uma contribuição original na medida em que discute as possibilidades de conexões entre a inteligência artificial e a construção de matrizes elétricas, sob a perspectiva de aperfeiçoamento do processo decisório no planejamento público brasileiro. A discussão sobre estas conexões auxilia no levantamento de subsídios para que o *machine learning* processe e elabore metodologias, baseada em algoritmos, que automatize a construção de modelos de análise decisória na elaboração de matrizes elétricas sustentáveis.

Palavras-chave: Aprendizado de máquina; Setor elétrico; Desenvolvimento sustentável.

Abstract

The objective of this study is to analyze the possibility of the contribution of artificial intelligence in guiding decision-making in public planning of sustainable electrical arrays. The analyzes carried out by artificial intelligence must start from a complete and integrated data structure, which is classified and grouped with the intention of synergistically producing mental and predictive captures. In this perspective, in the methodology of this investigation, a structure of analysis of sources of electricity was built, based on the economic, social, environmental and technological dimensions; as well as a structure for sectoral analysis of energy sustainability indicators, supported by linear correlations of an economic, social, environmental and political nature. The study concluded that artificial intelligence can guide decisions in the planning of electrical arrays, as long as they are based on analysis structures focused on the strategic use of electricity sources and the use of sectoral and multi-dimensional indicators. This investigation constitutes an original contribution insofar as it discusses the possible connections between artificial intelligence and the construction of electrical matrices, from the perspective of improving the decision-making process in Brazilian public planning. The discussion about these connections helps in raising subsidies for machine learning to process and develop methodologies, based on algorithms, that automate the construction of decision analysis models in the development of sustainable electrical matrices.

Keywords: Machine learning; Electric sector; Sustainable development.

* Professor do Programa de Pós-Graduação em Administração - PPAD da Universidade da Amazônia - UNAMA. Avenida Alcindo Cacela, 287. Umarizal. Belém, Pará, Brasil. Cep: 66060902.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1326-959X> E-mail: posdoctorborges@gmail.com

** Professor da Universidade do Estado do Pará - UEPA. Travessa Djalma Dutra, s/n. Telégrafo. Belém, Pará, Brasil. Cep: 66050540

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4689-8472> E-Mail: doctorborges@bol.com.br

INTRODUÇÃO

Os progressos da Inteligência Artificial (I.A.) trazem reflexões importantes sobre como este campo do conhecimento afetará a rotina humana. A *Web Summit* 2018, uma das maiores conferências de tecnologia e inovação do mundo, aponta um caminho sólido e irreversível em direção à esta tecnologia. Os estudos sobre a I.A. surgiram nos anos de 1950, por meio dos cientistas Herbert Simon e Allen Newell, que criaram o primeiro laboratório de inteligência artificial na Universidade de Carnegie Mellon (SANTOS, 2021). O ramo da I.A. busca, por meio de símbolos computacionais, elaborar mecanismos que simulem a capacidade humana de ser inteligente, o que já demonstra efeitos em várias áreas do conhecimento (COLSON, 2019). Os avanços destes estudos representam melhorias quanto a aplicação dos recursos disponíveis na medida em que podem balizar estrategicamente o processo decisório nas organizações.

Nesta perspectiva, existe uma expectativa de que a I.A. possa também auxiliar o planejamento público no setor elétrico, na medida em que pudesse apoiar gestores públicos a projetarem sistemas elétricos mais sustentáveis por meio da otimização de recursos, auxiliar a motivação de padrão de consumo individual ou organizacional. Vislumbra-se que esta possibilidade de contribuição esteja apoiada no uso de modelos analíticos capazes de examinar com exatidão as combinações ideias do uso de fontes de energia em alinhamento com as especificidades de cada região e favorecendo efetivamente a melhoria do padrão de vida das populações. As fontes de geração de energia possuem vantagens e desvantagens que precisam ser identificadas com precisão e examinadas a partir do referencial normativo do desenvolvimento sustentável.

O processo de expansão econômica de um país vincula-se a um aumento na oferta de energia gerada por investimentos aplicados no setor de eletricidade e, por conseguinte, aumento do consumo (REIS; FADIGAS & CARVALHO, 2012; NARAYAN & DOYTCH, 2017; SAIDI; RAHMAN & AMAMRI, 2017). Neste sentido, a questão energética torna-se cada vez mais importante na agenda de planejamento tanto dos países desenvolvidos, como dos países emergentes (CAMPOS; SCARPATI; SANTOS; PAGEL; SOUZA, 2017). O papel da energia elétrica por meio do setor elétrico é de fundamental importância dentro de uma nação, pois movimenta todos os setores de atividade econômica dentro da sociedade. Em vista disso, este insumo tem sido tratado como um bem de natureza estratégica que envolve dimensões econômicas, sociais, ambientais, políticas e tecnológicas (EIA, 2018). As condições de disponibilidade de energia elétrica em quantidade, qualidade e custos determinam a capacidade das sociedades de assegurarem determinado padrão de vida através de investimentos direcionados, daí

a necessidade peremptória de aperfeiçoamento do processo de tomada de decisão junto a construção de matrizes elétricas, por meio da I.A.

O *machine learning*, ramificação da I.A., constitui-se como uma metodologia de exame de informações que automatiza a elaboração de modelos de análise, apoiados na ideia de que sistemas podem aprender com dados e identificar padrões (COLSON, 2019; DESORDI & BONA, 2020). Na realidade, quem toma as decisões são os seres humanos, os sistemas apenas agregar valor à informação transformando-a em conhecimento que poderá ser usado ou não pelos gestores. Assim, a tomada de decisão em ambientes com múltiplas informações incertas e imprecisas, e a extração de conhecimento de variadas e complexas bases de dados em benefício da sociedade, poderia ter seus riscos severamente reduzidos. Nesta perspectiva, esta investigação questiona: como a Inteligência Artificial pode orientar a tomada de decisão no planejamento público de matrizes elétricas sustentáveis? A implementação da I.A. no planejamento público de matrizes energéticas é um passo inexorável para que as organizações governamentais do setor elétrico brasileiro possam transformar os seus processos, priorizando pela efetividade e transparência.

Estudos de Desordi e Bona (2020), analisaram como o uso da I.A. pode contribuir para a efetivação do princípio da eficiência na Administração Pública. Figueiredo e Cabral (2020), investigaram especialmente a inserção da I.A. nas atividades desenvolvidas pela Administração Pública, observando os princípios da boa administração e a concretização de direitos fundamentais. Pesquisas realizadas por Marques (2020), desenvolveram uma abordagem focada nos limites e possibilidades da utilização de inteligência artificial no contexto da administração pública. Araujo, Zullo e Torres (2020), realizaram uma investigação que tratou particularmente o impacto de decisões administrativas tomadas com base em algoritmos a partir de bancos de dados de grande porte no âmbito da Administração Pública. Valle (2020), por sua vez, desenvolveu estudo que ofereceram um leque de definições a respeito de modelagem de inteligência artificial e as funções que ela pode desempenhar em organizações públicas, em âmbito geral.

O que se sabe sobre a temática, conforme estudos de Colson (2019); Desordi e Bona (2020), Marques (2020), Araujo, Zullo e Torres (2020) e Valle (2020), é que a IA pode contribuir estrategicamente ao campo da Administração Pública. O que não se sabe é como a IA pode contribuir no planejamento público de matrizes elétricas sustentáveis, de maneira a considerar as especificidades potenciais e limítrofes das fontes utilizadas, assim como, de modo a considerar relações significativas entre variáveis da energia elétrica e variáveis do desenvolvimento, sem desprezar os aspectos sociológicos interacionistas. A noção de inteligência usada ignora o fato central

à sociologia interacionista de que existe uma interação com outros seres humanos em contextos sociais (DREYFUS & DREYFUS, 1986). Este artigo se encaixa neste contexto na medida em que procura atender estas demandas por meio de uma análise a respeito da possibilidade de contribuição da inteligência artificial na orientação de tomada de decisão no planejamento público de matrizes elétricas sustentáveis, de modo a considerar as especificidades de fontes de geração de eletricidade, as relações estratégicas entre energia e desenvolvimento e a contribuição interacionista da sociologia.

O estudo traz como aprendizado uma contribuição em âmbito prático, ao oportunizar um debate que procura discutir possibilidades de conexões entre a inteligência artificial e a construção de matrizes elétricas, sob a perspectiva de aperfeiçoamento do processo decisório no planejamento público brasileiro. Especificamente, a investigação oportuniza este debate por meio da elaboração de estruturas de análise de fontes de eletricidade, baseada nas dimensões econômica, social, ambiental e tecnológica; assim como, por meio de uma estrutura de análise setorial de indicadores de sustentabilidade energética, apoiada em correlações lineares de natureza econômica, social, ambiental e política. Esta discussão assume relevância na medida em que a elaboração preliminar destas estruturas múltiplas de análise dimensional compreende condição ao levantamento preciso de subsídios para que o *machine learning* processe e elabore metodologias, baseada em algoritmos, que automatize a construção de modelos de análise decisória na elaboração de matrizes elétricas sustentáveis.

Além desta introdução, a estrutura do artigo é composta de quatro partes: planejamento público da matriz elétrica e inteligência artificial; material e método; resultados e discussão e as considerações finais.

PLANEJAMENTO PÚBLICO DA MATRIZ ELÉTRICA E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

O planejamento público é tecnicamente evidenciado por meio dos eventos do ciclo orçamentário, que por sua vez, é composto das fases em que ocorrem atividades de elaboração e execução do orçamento público (GIACOMONI, 2010). Entretanto, o debate a respeito do planejamento público tem promovido frequentemente menções, especialmente, à capacidade dos gestores alcançarem resultados qualitativos nos usos dos recursos públicos aplicados ao território; dentre elas, a influência de ideologias de grupos que interferem com mais poder de decisão, por meio de correlações de forças junto a várias ramificações, como a energia (MAFRA, SILVA, 2004; SCHULTZ, 2016; DAGNINO; CAVALCANTI & COSTA, 2016).

No ambiente do setor energético brasileiro, o planejamento é desenvolvido por meio de políticas públicas, que geralmente pretendem demonstrar que os investimentos objetivam o crescimento econômico e a melhoria das condições de vida da população. Neste processo, verificam-se aspectos estratégicos desde a escolha das fontes de geração de energia até os reflexos do uso desta energia junto aos diferentes setores da economia de um país (BERMANN, 2003; BORGES 2012; CORNESCU; ADAM, 2014). A projeção da composição destas fontes de energia disponíveis, que deverão estar direcionadas ao atendimento das demandas energéticas em um determinado estado, região ou país, é denominada matriz energética.

A matriz energética é a descrição de toda a geração e consumo de energia, de um determinado recorte espacial, discriminado quando às fontes de produção e setores de consumo para uma situação futura; assim, quando se descreve toda a geração e consumo de um país ou região para uma situação presente, chama-se balanço energético (BORGES & ZOUAIN, 2010; REIS; FADIGAS & CARVALHO, 2012). A matriz energética nacional é atualmente elaborada pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2020).

A matriz elétrica, por sua vez, está inserida na matriz energética e representa a disposição das diversas formas, especificamente, de eletricidade, disponibilizadas aos processos produtivos em determinado contexto espacial, envolvendo suas fontes de geração e utilização (TOLMASQUIM; GUERREIRO & GORINI, 2007; REIS; FADIGA & CARVALHO, 2012). A observância desta disposição de fontes para a geração de eletricidade assume papel estratégico na medida em que as projeções verificadas em uma determinada matriz elétrica, prezem pela facilitação das formas de acesso à população. As fontes de energia elétrica compreendem insumos essenciais para o desenvolvimento sustentável (GOLDEMBERG & MOREIRA, 2005; BORGES & ZOUAIN, 2010) e a compreensão deste referencial normativo é essencial para a construção de uma matriz elétrica.

A definição do referencial normativo do desenvolvimento sustentável reside mergulhada em contradições, na medida em que a dificuldade reside no fato de que os interesses econômicos não são submissos aos interesses sociais e ambientais. A definição deste termo supõe uma nova ordem mundial, que tem como produto uma redistribuição dos poderes que ignora as correlações de forças que são atuantes no mercado mundial, e os interesses das nações industrializadas em manter a posição de vantagem no panorama internacional (GLAVIC & LUKMAN, 2007; BORGES; RODRIGUES & OLIVEIRA, 2017; SILVA; REBOUÇAS & ABREU; RIBEIRO, 2018).

O desenvolvimento sustentável possui o objetivo de promover a sustentabilidade. A sustentabilidade vincula-se a uma atividade que pode ser

mantida por um período de tempo indeterminado, de modo a não alcançar seu esgotamento, apesar dos imprevistos que podem ocorrer durante esse período, a partir de bases econômicas, sociais e ambientais relativamente consistentes (MARZALL, 1999; BURSZTYN, 2008; BORGES, 2012). A sustentabilidade seria então definida como a capacidade de sustentar condições socioeconômicas e ambientais promotoras do atendimento das necessidades humanas de maneira equilibrada e que ocorre por meio da tomada de decisão (CAMARGO; UGAYA & AGUDELO, 2004; BURSZTYN, 2008; BORGES, 2015).

A tomada de decisão compreende uma ocorrência em reação a um problema e um problema existe quando se verifica uma discrepância entre o estado atual das coisas e seu estado desejável (ROBBINS, 2010). No arcabouço teórico, a tomada de decisão compreende o processo de decidir sobre algo e envolve a seleção de uma opção de ação entre duas ou mais alternativas possíveis; e neste processo existiria pelo menos três componentes que se aplicam ao ambiente público e que precisam ser verificados pelo observador que deseja desenvolver investigações sobre o processo de decisão neste âmbito. São eles: tecnologia; regras e normas; e estilo decisório (SILVA, 2013). Independentemente de seus componentes, a tomada de decisão no planejamento público evidencia um ambiente de lentidão frequente em decorrência do excesso de burocracia (PACHECO & MATTOS, 2014).

No processo de tomada de decisão, é importante destacar que, constitui-se como uma atividade passível de erros, pois ela será afetada pelas características pessoais e percepção do tomador de decisões (CERTO, 2005; MAXIMIANO 2009; ROBBINS, 2010). Nesta perspectiva, uma tomada de decisão mais impulsiva e com menos processamento de informações ameaça os processos decisórios. No contexto moderno, a tomada de decisão carrega vieses cognitivos e esses vieses interferem em nossa tomada de decisão de maneiras que se afastam da objetividade racional (COLSON, 2019). É justamente aí que reside o advento de uma nova fase de evolução no ambiente decisório, a Inteligência Artificial.

O termo I.A. é uma subárea da ciência da computação e é utilizada para designar o conjunto de técnicas, dispositivos e algoritmos computacionais, além de métodos estatísticos e matemáticos capazes de reproduzir algumas das capacidades cognitivas humanas; em outras palavras, é a ciência e a engenharia de fazer máquinas inteligentes, especialmente programas de computador inteligentes (TOFFOLI, 2018; MCCARTHY, 2018). A AI compreende uma área que tem relação com a capacidade de os computadores realizarem tarefas, de modo a contribuir para a construção de entidades inteligentes por meio de algoritmos computacionais (NORVIG & RUSSELL, 2021).

Neste sentido, a I.A. consistiria na reprodução artificial da capacidade de obter e aplicar diferentes habilidades e conhecimentos para resolver determinado problema, resolvendo-o, raciocinando e aprendendo com as situações (HARTMANN & SILVA, 2019). Em outras palavras, o I.A. é um conjunto de instruções e regras que formam o algoritmo, utilizados em série, para processar informações e resolver problemas, com método e velocidade próprios (CORVALÁN, 2018). A I.A. já é uma realidade e uma grande aliada do planejamento público, graças à agilidade e ganho de tempo proporcionados pela verificação e cruzamento de dados, onde cria possibilidades para além da capacidade humana, oferecendo aos órgãos públicos elementos que poderiam passar despercebidos nas análises comumente feitas por servidores públicos (BREGA, 2012 & DESORDI; BONA, 2020).

De acordo com a Association for the Advancement of Artificial Intelligence (AAAI), entidade reconhecida como uma associação de referência, a IA possui subáreas conforme a sua aplicabilidade. A AAAI estabeleceu uma divisão da AI nas seguintes subáreas: Pesquisa; Machine Learning; Planejamento Automatizado; Representação de Conhecimento; Data Mining e Big Data; Raciocínio (Probabilístico ou não); Processamento de Linguagem Natural; Robótica; Sistema de Agente e Multi-Agente e Aplicações (AAAI, 2021). Nesta perspectiva destaca-se que este artigo aborda especialmente a subárea Machine Learning (Aprendizado de máquina), na medida em que procura realizar um inventário de quais dados seriam importantes para identificar padrões relevantes para tomada de decisão diante de matrizes elétricas.

A *machine learning* compreende um método de análise de dados que automatiza a construção de modelos analíticos, baseado na ideia de que sistemas podem aprender com dados, identificar padrões e tomar decisões com o mínimo de intervenção humana (COLSON, 2019; DESORDI & BONA, 2020). Nesta dinâmica de aprendizado com dados e identificação de padrões para orientação decisória, destaca-se a estratégica oportunidade de aplicação da IA ao planejamento público de matrizes energéticas sustentáveis, na medida em que poderiam ser construídos e utilizados modelos analíticos capazes de avaliar com precisão potencialidades, limitações e impactos do uso individual ou combinado de fontes de energia elétrica em determinadas regiões e a partir do perfil produtivo de cada setor de atividade econômica.

A possibilidade de se estabelecer efetivamente um elo claro e objetivo entre o planejamento público de matrizes elétricas e a AI reside na construção de Algoritmos. Algoritmo compreende uma sequência finita de ações executáveis que visam obter uma solução para um determinado problema (DASGUPTA; PAPADIMITRIOU & VAZIRANI, 2010). Nesta perspectiva, os Algoritmos aplicados a AI constituem-se como um conjunto sequen-

cial de regras ou operações que, aplicada a um número de dados, possibilita a resolução de problemas.

MATERIAL E MÉTODO

O estudo desenvolvido é classificado, conforme a taxionomia de Vergara (2016), quanto aos seus fins e quanto aos seus meios. Quanto aos fins é considerado com o exploratório, na medida em que envolve um levantamento de subsídios que se propõem a analisar realidades que estimulam a compreensão das conexões entre a I.A. e o planejamento de matrizes elétricas sustentáveis. E quanto aos seus meios, é considerado bibliográfico e documental, na medida em que se utiliza de um levantamento de materiais e documentos junto a órgãos vinculados ao setor energético brasileiro. A metodologia foi didaticamente dividida em três tarefas: coleta de dados, tratamento de dados e análise de dados.

Na tarefa de coleta de dados, destaca-se inicialmente que as variáveis utilizadas na construção dos indicadores foram: quantidade consumida de eletricidade; Produto Interno Bruto; valor investido em energia elétrica; tarifa média de energia elétrica; renda média do trabalhador; número de empregos gerados; rendimento energético e quantidade de emissões de gases poluentes. O período de coleta dos dados junto as variáveis foi entre 2008 e 2018. O recorte espacial de coleta destes dados foi o Estado do Pará, escolhido por sua característica de estado exportador de energia elétrica e de constituir-se como local de impactos socioambientais decorrentes do processo de geração de energia a partir de fonte hídrica. As fontes utilizadas na pesquisa para a elaboração dos indicadores foram: Balanço Energético Nacional (BEN); Balanço de Energia Útil (BEU); Pesquisa Nacional a Domicílio (PNAD); Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), Secretaria de Planejamento, Orçamento e Finanças do Estado do Pará (Sepof); Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE); Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos (Dieese), Cadastro Geral de Empregados e Desempregados (Caged); Instituto Nacional de Eficiência Energética (INEE); Ministério de Minas e Energia (MME); Operador Nacional do Sistema (ONS); e Centrais Elétricas do Pará (Celpa).

Na tarefa de tratamento de dados, construíram-se duas estruturas de análise. A primeira referente a utilização de fontes de energia elétrica, apoiada nas dimensões econômica, social, ambiental e tecnológica. A segunda estrutura de análise, pertinente ao uso de indicadores setoriais de sustentabilidade energética, apoiados em correlações lineares de natureza econômica, social, ambiental e política.

Na construção da estrutura de análise pertinente à utilização de fontes de energia elétrica, apoiada nas dimensões econômica, social, ambiental e tecnológica, prezou-se pela identificação de potencialidades e limitações no uso das fontes de eletricidade: hídrica, biomassa, solar, eólica e nuclear. A intenção foi de proporcionar um exame crítico a respeito das possibilidades de inserção e proporção destas fontes na matriz elétrica. As dimensões utilizadas nesta análise foram a econômica, social, ambiental e tecnológica, por melhor caracterizarem o ambiente do desenvolvimento sustentável. É importante destacar ainda que este exame crítico de fontes de energia elétrica deve respeitar as especificidades locais, na medida em que cada região apresenta potencialidades estratégicas e limitações substanciais quanto a produção e utilização do insumo elétrico.

Na elaboração da estrutura de análise setorial de indicadores de sustentabilidade energética, apoiada em correlações lineares, a correlação buscou como resultado um coeficiente que quantificasse o grau de correlação denominado coeficiente de Pearson (r) (CHEN; POPOVIC, 2002).

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

Onde: x_1, x_2, \dots, x_n e y_1, y_2, \dots, y_n compreendem os valores medidos de ambas as variáveis. E as equações a seguir são as médias aritméticas destas variáveis:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i \quad \text{e} \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n y_i$$

As correlações lineares verificadas em cada dimensão, através dos setores, foram descritas e analisadas no tocante a sua importância, representatividade e unidade de medida utilizada. O software utilizado para cálculo foi o *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS). Em momento ulterior as variáveis foram organizadas de acordo com as dimensões: econômicas, sociais, ambientais e políticas, que construíram os indicadores de sustentabilidade energética, e a partir de cada setor de atividade, que compuseram os índices de sustentabilidade energética. No cálculo dos indicadores, procedeu-se a partir de uma média ponderada composta pelo resultado do cálculo das variáveis compostas. No cálculo das variáveis compostas, o cálculo adotou duas variáveis: a primeira referente ao desenvolvimento, e outra, referente ao ambiente energético. Os resultados das correlações, que indicaram o uso de determinadas relações de variáveis em detrimento de outras, se deram em decorrência das especificidades dos dados referentes ao Estado do Pará, entre

2010 e 2019, utilizados aqui para meramente operar o cálculo e consequente indicação das relações de variáveis através dos setores de atividade econômica. Assim, conforme o estado ou região e a partir de suas respectivas especificidades locais, as relações de variáveis indicadas pelo *software* utilizado podem ser naturalmente outras.

Na tarefa de análise de dados, as estruturas de análise de fontes de geração de eletricidade e de indicadores de sustentabilidade energética, construídas no estudo, foram examinadas na intenção de levantar subsídios na construção de padrões de orientação decisória junto ao processo de elaboração da matriz elétrica. O propósito deste exame é o de verificar a possibilidade de a I.A. construir modelos analíticos capazes de avaliar, com precisão, potencialidades, limitações e impactos do uso individual ou combinado de fontes de energia elétrica em determinadas regiões e a partir do perfil produtivo de cada setor de atividade econômica. No campo prático, a possibilidade de se demonstrar efetivamente as conexões entre planejamento público de matrizes elétricas e a AI reside na construção de Algoritmos. Neste sentido, Algoritmos aplicados a AI seriam diretrizes a serem aprendidas e seguidas por uma máquina.

Estas diretrizes que alimentariam os Algoritmos seriam, neste estudo, atribuídas justamente a partir do resultado das análises da estrutura de fontes de geração de eletricidade e da estrutura de indicadores de sustentabilidade energética. Na realidade, os Algoritmos seriam apenas uma maneira matemática de demonstrar um processo estruturado para a execução de uma tarefa. Em outras palavras, seriam princípios e fluxos de análise sequencial orientadores do processo decisório no setor elétrico. Nesta estratégia metodológica, pretendeu-se apresentar apenas uma primeira aproximação ao esforço de construção de Algoritmos a serviço da AI, por meio das fases básicas de atuação de um Algoritmo: entrada, processamento e saída, diante do ambiente de matrizes elétricas sustentáveis.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A possibilidade efetiva da I. A. orientar a tomada de decisão no planejamento público de matrizes elétricas sustentáveis reside na condição de processamento de um grande volume de dados, na intenção de transformar informações em uma inteligência valiosa para avaliação de uso de fontes de energia elétrica. As análises devem partir de uma estrutura de dados completa e integrada que precisa ser classificada e agrupada na intenção de produzir sinergicamente captações mentais e previsões. É justamente na intenção de contribuir operacionalmente a esta estruturação de dados, que esta seção

se divide em duas partes: estrutura de análise de fontes de energia elétrica e estrutura de análise setorial de indicadores de sustentabilidade energética.

a) Estrutura de análise de fontes de energia elétrica.

A matriz elétrica compreende preocupação do planejamento público na medida em que deve observar, de maneira prévia e criteriosa, diversas fontes de geração a partir de especificidades territoriais. A seguir, desenvolve-se uma discussão sobre as fontes hídrica, biomassa, solar, eólica e nuclear, que precederá a apresentação de uma estrutura de análise de fontes de energia elétrica, por dimensão.

A fonte hídrica baseia-se em fundamentos simples; as turbinas transformam energia potencial dos reservatórios ou das correntes de água em energia elétrica. Assim, as hidrelétricas se caracterizam como uma energia renovável. Todavia, esta fonte ocasiona graves e extensos impactos no ciclo hidrológico e mudanças no meio ambiente de modo geral. Os resultados registram o desaparecimento de espécies de fauna e flora, em perda de qualidade de vida das populações atingidas e em ameaças à existência de vários grupos sociais. A emissão de gases do efeito estufa representa outro grave problema causado pelas grandes hidrelétricas, panorama que não retrata condições socioeconômicas e ambientais promotoras do atendimento das necessidades humanas de maneira equilibrada (CAMARGO; UGAYA & AGUDELO, 2004; BURSZTYN, 2008; BORGES, 2015).

A biomassa, por sua vez, é um tipo de matéria que alimenta usinas a vapor de geração elétrica a partir de um processo de queima de elementos acumulados em um determinado ecossistema. Dentre os materiais mais utilizados citam-se o bagaço de cana e os materiais lenhosos. A queima de biomassa ocasiona a liberação de dióxido de carbono na atmosfera, porém, este composto foi anteriormente absorvido pelas plantas que deram origem ao combustível, o que proporciona um balanço de emissões de CO² nulo. É relevante ainda mencionar que estes materiais devem estar nas proximidades de termelétricas ou em rotas estratégicas com facilidade de acesso, caso contrário podem representar desvantagens. Nesta perspectiva, devem ser observados criticamente os reflexos resultantes do uso de determinada fonte de energia (BERMANN, 2003; BORGES 2012; CORNESCU & ADAM, 2014).

A utilização da energia solar para a geração de eletricidade consiste no uso da energia térmica e luminosa captada por painéis solares, constituídos por células fotovoltaicas ou fotovoltaicas. Este tipo de fonte energética é considerado limpo, renovável e inesgotável. A energia solar é a que menos lança CO² na atmosfera, além de gerar potencial de geração de empregos na cadeia produtiva solar. As principais desvantagens da fonte solar são: o alto

custo de implantação de placas termo solares, muito onerosas para viabilizar a produção de eletricidade em grande escala, e sua irregularidade na forma de distribuição uniforme, o que requer grandes áreas de coleta e sistemas de armazenamentos. Nesta perspectiva, devem ser observados criticamente os reflexos resultantes do uso de determinada fonte de energia (BERMANN, 2003; BORGES 2012; CORNESCU & ADAM, 2014).

A energia eólica é a energia oriunda de uma tecnologia que utiliza a força dos ventos que, por sua vez, opera turbinas ligadas a redes de eletricidade. Este tipo de fonte de energia possui como vantagens a natureza renovável, possui baixo custo de externalidades, não queima combustíveis fósseis e não emite gases poluentes que ocasionam o efeito estufa. Dentre as desvantagens destacam-se: a alteração da paisagem quando da implantação de sua infraestrutura, composta por hélices e torres, a emissão de ruídos de baixa frequência, interferências ocasionais em aparelhos de televisão, a ameaça à rotas migratórias de pássaros em virtude da utilização de grandes hélices enfileiradas e a improdutividade desta fonte em algumas regiões pela inconstância de ventos, baixa intensidade destes e desperdício de energia na ocorrência de fortes chuvas.

A geração de eletricidade a partir da energia nuclear se dá a partir de base térmica, onde o calor produzido na fissão para gerar vapor d'água que movimenta as turbinas de geração de eletricidade. A vantagem desta fonte está em sua tecnologia, capaz de reduzir as emissões de gases na produção de energia elétrica e os impactos climáticos no planeta originados pela geração de eletricidade. Entretanto, é relevante alertar aos defensores da tecnologia nuclear como não emissora de gases ao efeito estufa, que se forem incorporados os cálculos do processo completo deste tipo de energia, incluindo: mineração do urânio, transporte, enriquecimento do urânio, a posterior desmontagem da central e o processamento e confinamento dos resíduos radioativos, esta fonte apresenta desvantagens.

O *machine learning*, enquanto metodologia que automatiza a análise de informações (COLSON, 2019; DESORDI & BONA, 2020), pode favorecer a elaboração de estruturas de análise de fontes de energia elétrica, por dimensão, que possibilitem um exame mais preciso e ideal para a escolha da disposição dos componentes da matriz elétrica (Quadro 1).

Quadro 1: Estrutura de análise de fontes de energia elétrica, por dimensão.

FONTES	DIMENSÕES	ANÁLISE
HÍDRICA	Econômica	<ul style="list-style-type: none"> • Custos de construção dos reservatórios. • Custos após a construção.
	Social	<ul style="list-style-type: none"> • Geração de empregos na construção dos reservatórios. • Geração de empregos após a construção.
	Ambiental	<ul style="list-style-type: none"> • Emissões de gases poluentes
	Tecnológica	<ul style="list-style-type: none"> • Densidade energética.
BIOMASSA	Econômica	<ul style="list-style-type: none"> • Custos de construção de uma pequena central. • Custo médio estimado pela Aneel.
	Social	<ul style="list-style-type: none"> • Geração de empregos.
	Ambiental	<ul style="list-style-type: none"> • Emissões de gases poluentes. • Capacidade de devastação.
	Tecnológica	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidade de geração. • Capacidade correspondente a geração.
SOLAR	Econômica	<ul style="list-style-type: none"> • Custos de instalação de sistema fotovoltaico. • Taxa de retorno de investimento.
	Social	<ul style="list-style-type: none"> • Geração de empregos.
	Ambiental	<ul style="list-style-type: none"> • Emissões de gases poluentes na construção da central. • Emissões em sua operação.
	Tecnológica	<ul style="list-style-type: none"> • Potencial de radiação solar. • Características de infraestrutura.
EÓLICA	Econômica	<ul style="list-style-type: none"> • Custo de instalação de um parque eólico. • Retorno de investimento.
	Social	<ul style="list-style-type: none"> • Geração de empregos.
	Ambiental	<ul style="list-style-type: none"> • Emissões de gases poluentes na construção da central. • Emissões em sua operação.
	Tecnológica	<ul style="list-style-type: none"> • Densidade dos ventos. • Características.
NUCLEAR	Econômica	<ul style="list-style-type: none"> • Custos de instalação. • O retorno do investimento.
	Social	<ul style="list-style-type: none"> • Geração de empregos.
	Ambiental	<ul style="list-style-type: none"> • Emissão de gases poluentes.
	Tecnológica	<ul style="list-style-type: none"> • Intensidade energética. • Características.

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

A tomada de decisão baseada na análise do uso de fontes de energia elétrica, por dimensão, está inserida em ambientes com múltiplas informações (dotadas de imprecisões) e em ambientes de extração de conhecimento a partir de inúmeras bases de dados. O alto risco neste processo pode represen-

tar altos custos ambientais ou prejuízos socioeconômicos severos às populações atingidas, pelos resultados desta tomada de decisão. Neste sentido, a I.A. agrega: a redução no tempo de análise das fontes mais indicadas; a solução de problemas verificados junto as demandas da sociedade, pelo insumo elétrico, sejam elas operacionais ou gerenciais; e a redução do retrabalho e de falhas, frequentes nos projetos de geração de energia elétrica observados no Brasil.

b) Estrutura de análise setorial de indicadores de sustentabilidade energética.

O processo de construção de uma matriz elétrica também deve considerar aspectos relacionados aos setores econômicos, já que que cada setor de atividade econômica reflete os investimentos em energia elétrica a partir de determinadas peculiaridades. Estas peculiaridades podem ser organizadas em dimensões econômica, sociais, ambientais e políticas. A seguir, por meio dos Quadros 2, 3, 4 e 5, apresentam-se as estruturas de indicadores de sustentabilidade energética de cada setor de atividade, baseada em correlações lineares e a partir de dados referentes ao Estado do Pará, durante o período 2010 e 2019. Os dados referentes ao estado paraense foram utilizados apenas na intenção de considerar as suas especificidades locais.

Quadro 2: Estrutura de indicadores de sustentabilidade energética do setor agropecuário.

SETOR AGROPECUÁRIO	Econômico	<ul style="list-style-type: none"> • Relação entre o valor do Produto Interno Bruto no setor agropecuário e a quantidade de GWh consumida no setor. • Relação entre o valor investido pela distribuidora paraense em eletricidade no Estado e o valor do Produto Interno Bruto, por unidade de consumo, no setor agropecuário. • Relação entre a tarifa média da eletricidade cobrada por kWh no setor agropecuário e o Produto Interno Bruto, por unidade de consumo, neste setor. • Relação entre o valor investido pela distribuidora paraense em eletricidade no Estado e o n°. de unidades de consumo no setor.
	Social	<ul style="list-style-type: none"> • Relação entre a quantidade de GWh consumida no setor agropecuário e a renda média dos trabalhadores paraenses. • Relação entre a quantidade de GWh consumida no setor agropecuário e o coeficiente de Gini registrado no Estado do Pará.
	Ambiental	<ul style="list-style-type: none"> • Relação entre a quantidade de GWh consumida no setor agropecuário e o rendimento energético verificado neste setor. • Relação entre a quantidade de GWh consumida no setor agropecuário e a emissão acumulada gás metano (CH4) e gás carbono (CO2) derivado de hidroelétricas no Estado do Pará.
	Político	<ul style="list-style-type: none"> • Relação entre a tarifa média da eletricidade cobrada por kWh no setor agropecuário e a Frequência equivalente de interrupção por unidade consumidora em todos os setores do Estado. • Relação entre a quantidade de GWh consumida no setor agropecuário e a Frequência equivalente de interrupção por unidade consumidora em todos os setores do Estado.

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A estrutura de indicadores demonstrada no Quadro 3, a exemplo das demais estruturas construídas, foi elaborada a partir de diferentes habilidades e conhecimentos, que de modo combinado procura solucionar problemas pertinentes ao aproveitamento do insumo elétrica, em cada setor de atividade, em favor da melhoria do padrão de vida da população paraense. Neste sentido, a I.A. consistiria na reprodução artificial desta capacidade de obter e aplicar estas habilidades e conhecimentos para resolver determinado problema, resolvendo-o, raciocinando e aprendendo com as situações (HARTMANN & SILVA, 2019). Estas estruturas de indicadores podem auxiliar a construção da matriz elétrica a partir de estratégias de promoção do desenvolvimento sustentável.

Quadro 3: Estrutura de indicadores de sustentabilidade energética do setor industrial.

SETOR INDUSTRIAL	Econômico	<ul style="list-style-type: none"> • Relação entre o valor do Produto Interno Bruto no setor industrial e a quantidade de GWh consumida no setor. • Relação entre o valor do Produto Interno Bruto no setor industrial e o número de unidades de consumo no setor. • Relação entre a tarifa média da eletricidade cobrada por kWh no setor industrial e o Produto Interno Bruto neste setor • Relação entre o valor investido pela distribuidora paraense em eletricidade no Estado e o número de unidades de consumo no setor.
	Social	<ul style="list-style-type: none"> • Relação entre o valor investido pela distribuidora paraense em eletricidade no Estado e o número de empregos gerados no setor industrial. • Relação entre a quantidade de kW consumida no setor industrial e o Coeficiente de Gini registrado no Pará. • Relação do número de unidades de consumo no setor industrial e o Coeficiente de Gini registrado.
	Ambiental	<ul style="list-style-type: none"> • Relação entre a quantidade de GWh consumida no setor industrial e o rendimento energético verificado neste setor. • Relação entre a quantidade de GWh consumida no setor industrial e a emissão acumulada gás metano (CO₂) e gás carbono (CO₂) derivado de hidroelétricas no estado do Pará.
	Político	<ul style="list-style-type: none"> • Relação entre a tarifa média da eletricidade cobrada por kWh no setor industrial e a Frequência equivalente de interrupção por unidade consumidora em todos os setores do Estado. • Relação entre o número de unidades consumidoras no setor industrial e a frequência equivalente de interrupção por unidade consumidora em todos os setores.

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Observa-se no Quadro 4, um esforço cujo resultado apoia-se em uma ferramenta estatística que procura auxiliar o tomador de decisão no processo de construção da matriz elétrica. Todavia, o que a I.A. pode agregar, é algo além de métodos estatísticos e matemáticos, ou seja, o desenvolvimento de uma capacidade de reproduzir algumas das capacidades cognitivas humanas (TOFFOLI, 2018; MCCARTHY, 2018).

Quadro 4: Estrutura de indicadores de sustentabilidade energética do setor comercial.

SETOR COMERCIAL	Econômico	<ul style="list-style-type: none"> • Relação entre o PIB no setor e a Quantidade de KW consumida neste setor. • Relação entre a quantidade de GW consumida e o valor investido em eletricidade em todos os setores. • Relação entre a variação na tarifa de eletricidade e o valor investido em eletricidade em todos os setores.
	Social	<ul style="list-style-type: none"> • Relação entre o saldo de empregos formais no setor e o valor investido em eletricidade. • Relação entre a renda média e a Quantidade de GW consumida.
	Ambiental	<ul style="list-style-type: none"> • Relação entre a variação do rendimento energético no setor/Quantidade de GW consumida. • Relação entre a variação da emissão de gases poluentes derivados de geração de eletricidade e a quantidade de GW consumida
	Político	<ul style="list-style-type: none"> • Relação entre a variação da Frequência equivalente de interrupção por unidade consumidora e a variação da tarifa cobrada pela eletricidade • Relação entre a variação da duração das interrupções por unidade consumidora e a variação da tarifa cobrada pela eletricidade no setor.

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A I.A. possibilitaria uma maior segurança, confiança e controle sobre as interações necessárias a um processo complexo e multidisciplinar como é a construção de uma matriz elétrica, já que o processo decisório tradicional é passível de erros (CERTO, 2005; MAXIMIANO, 2009; ROBBINS, 2010). Esta perspectiva se revela ainda mais importante quando se observa o Quadro 5, onde o setor é o residencial. Neste setor, o foco não é a atividade econômica, mas o setor é dotado de meandros capazes de identificar e promover aspectos relacionados a qualidade de vida dos residentes.

Quadro 5: Estrutura de indicadores de sustentabilidade energética do setor residencial.

SETOR RESIDENCIAL	Econômico	<ul style="list-style-type: none"> • Relação entre a quantidade de eletricidade consumida em GW no setor e o valor investido pela distribuidora paraense em eletricidade no Estado • Relação entre a variação da tarifa média da eletricidade cobrada por kWh no setor residencial. Estado do Pará e o valor investido em eletricidade. • Relação entre a renda média do trabalhador paraense e a quantidade de GWh consumida no setor residencial.
	Social	<ul style="list-style-type: none"> • Relação entre o percentual de renda dos 50% mais pobres da população paraense e o valor investido em eletricidade no Pará • Relação quantidade consumida de eletricidade e o percentual de renda dos 50% mais pobres da população paraense
	Ambiental	<ul style="list-style-type: none"> • Relação entre a variação do rendimento energético verificado neste setor e a quantidade de GWh consumida no setor • Relação entre a variação da emissão acumulada de gás dióxido de carbono (CO₂) derivado de hidroelétricas no Estado do Pará e a quantidade de GWh consumida no setor residencial
	Político	<ul style="list-style-type: none"> • Relação entre a quantidade de eletricidade consumida em GW no setor e o valor investido pela distribuidora paraense em eletricidade no Estado • Relação entre a variação da tarifa média da eletricidade cobrada por kWh no setor residencial no Estado do Pará e o valor investido em eletricidade. • Relação entre a renda média do trabalhador paraense e a quantidade de GWh consumida no setor residencial.

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A I.A. também deve ser foco de atenção para aspectos que podem impactar negativamente no processo de construção de matrizes energéticas. Os questionamentos morais e éticos, em decorrência de uso de uma tecnologia inovadora, devem ser trabalhados com atenção. As dimensões analisadas em uma matriz energética são pertinentes aos âmbitos estratégicos da sustentabilidade, porém, envolve a realidade de pessoas e possibilidades de melhoria ou não de padrão de vida. Em suma, a intenção é a de que a I.A. possa ser utilizada de maneira prudente e transparente na condição de uma tecnologia capaz de realizar uma leitura avançada e estratégica das demandas energéticas da sociedade.

De acordo com o apresentado na metodologia deste estudo, a possibilidade de se estabelecer efetivamente um elo direto entre o planejamento público de matrizes elétricas e a AI vincula-se a construção de Algoritmos. Os Algoritmos aplicados a AI seriam princípios e regras (diretrizes) a serem seguidas por uma máquina, ou seja, um processo estruturado para a execução de uma tarefa que se propõe a orientar a tomada de decisão na construção de matrizes elétricas sustentáveis. A seguir, por meio do Quadro 6, apresentam-se as fases preliminares de construção de Algoritmos para a AI aplicada a matrizes elétricas, proposta por este estudo.

Os resultados capazes de apresentar soluções aceitáveis, isto é, resultados onde a geração de eletricidade e sua estrutura de disposição combinada em favor de uma população, se apresenta a partir de bases sustentáveis, deverão ser codificados em uma linguagem de programação. No processo de codificação devem ser utilizadas ferramentas de linguagem de programação. O Kit de Desenvolvimento Java (JDK), que é um conjunto utilitário que possibilita a elaboração de sistemas de software, e o NetBeans Integrated Development Environment (IDE), que é um programa para desenvolvimento de software. A técnica para a construção de Algoritmo indicada ao ambiente de matrizes elétricas seria a denominada Descrição narrativa, onde se define o que é necessário realizar e como realizar, isto é, identifica quais os passos a serem seguidos para atingir soluções sustentáveis no ambiente de matrizes elétricas. Os passos pertinentes ao uso das ferramentas de linguagem de programação e a elaboração completa dos Algoritmos não são objeto de aprofundamento nesta investigação.

Quadro 6: Fases preliminares de construção de Algoritmos para a AI aplicada ao processo decisório no planejamento de matrizes elétricas sustentáveis.

FASES	ENTRADA	PROCESSAMENTO	SAÍDA
DESCRIÇÃO	Dados iniciais, isto é, valores de possíveis dados de entrada de um algoritmo.	Relações que devem ser satisfeitas para transformar dados de entrada em uma saída aceitável.	Resultados, isto é, exibição da apuração provenientes das fases de entrada e processamento.
DIRETRIZES AO APRENDIZADO DE MÁQUINA	Quantidade de eletricidade gerada em GW; Valor investido para a geração de eletricidade;	• Relação entre a quantidade de eletricidade gerada em GW e o valor investido para a geração de eletricidade;	Capacidade de atendimento da demanda energética;
	Quantidade de energia elétrica consumida; Emissão acumulada de gás dióxido de carbono (CO2) derivado de hidroelétricas; Rendimento energético;	• Relação entre a emissão acumulada de gás dióxido de carbono (CO2) derivado de hidroelétricas e a quantidade de GWh consumida;	Externalidades econômicas;
	Capacidade de geração de eletricidade em Kw;	Relação entre o rendimento energético e quantidade de GWh consumida; Custos empregados em projetos de geração por Kw;	Externalidades ambientais; Externalidades sociais;
	Nº. de postos de trabalho gerados a partir da fonte de geração; Custos empregados em projetos de geração;	Relação entre nº de postos de trabalho gerados a partir da fonte de geração e o Valor investido para a geração de eletricidade por meio desta fonte.	Fluxo energético-material;

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

CONCLUSÃO

Esta investigação constituiu uma contribuição original na medida em que discute a possibilidade de conexão entre a inteligência artificial e o planejamento de matrizes elétricas sustentáveis, sob a perspectiva de aperfeiçoamento da tomada de decisão no planejamento público brasileiro.

A possibilidade de a I.A. construir modelos analíticos capazes de orientar a tomada de decisão no planejamento público de matrizes elétricas sustentáveis é concreta. As estruturas de análise criadas neste estudo, apesar de sintéticas, agregam integradamente razoáveis condições de avaliação das potencialidades, limitações e impactos do uso individual ou combinado de fontes de energia elétrica, em determinadas regiões, e a partir do perfil produtivo de cada setor de atividade. Neste sentido, cabe ao *machine learning*, o processamento e a elaboração metodológica, baseada em algoritmos, para um

exame preciso e transparente de informações que automatize a construção de modelos de análise decisória, apoiados na ideia de que sistemas computacionais podem aprender com dados, identificar padrões, considerar estrategicamente especificidades locais e tomar decisões com o mínimo de intervenção humana. A discussão sobre estas conexões auxilia no levantamento de subsídios para que o *machine learning* processe e elabore metodologias, baseada em algoritmos, que automatize a construção de modelos de análise decisória na elaboração de matrizes elétricas sustentáveis.

O estudo esclareceu que a possibilidade de se estabelecer efetivamente um elo direto entre o planejamento público de matrizes elétricas e a AI vincula-se a construção de Algoritmos. Nesta perspectiva, a investigação apresentou como esforço de levantamento de subsídios, fases preliminares de construção de Algoritmos para a AI aplicada ao processo decisório no planejamento de matrizes elétricas sustentáveis. Este esforço constituiu-se uma proposta estruturada de diretrizes ao aprendizado de máquina que se propõe contribuir para a construção de Algoritmos voltados à orientação da tomada de decisão na construção de matrizes elétricas sustentáveis.

Nesta perspectiva, a pesquisa concluiu que a inteligência artificial pode orientar decisões no planejamento de matrizes elétricas, desde que baseadas em estruturas de análise focadas no uso estratégico de fontes de eletricidade e no emprego de indicadores setoriais e multidimensionais. Estas estruturas de análise são capazes alimentar modelos analíticos computacionais que aprendem com os dados, identificam padrões e tomam decisões inteligentes com o mínimo de intervenção humana.

As futuras pesquisas nesta temática devem seguir no caminho de aperfeiçoamentos ao processo de construção de Algoritmos para a AI aplicada ao processo decisórios, de maneira a ainda a observar o ambiente dos setores de atividade econômica. A utilização do insumo energética nos meandros de cada setor de atividade econômica apresenta diferentes reflexões diante do processo de desenvolvimento, que representam intensidades díspares quanto aos empregos gerados, eficiência energética, contribuição ao PIB, favorecimento à desconcentração de renda, entre outras variáveis relevantes e estratégicas no processo de desenvolvimento.

Referências

- ARAÚJO, V. S.; ZULLO, B. A. & TORRES, M. Big data, algoritmos e inteligência artificial na administração pública: reflexões para a sua utilização em um ambiente democrático. *Revista de Direito Administrativo e Constitucional*, v. 20, n. 80, 2020.
- ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE [AAAI]. Na official publication of the AAAI. Disponível em: <https://bit.ly/3tn6hLt>. Acessado em: 15 ago. 2021.
- BREGA, J. F. F. *Governo eletrônico e direito administrativo*. 2012. 336 f. Tese (Doutorado em Direito do Estado) - Faculdade de Direito, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em: <https://bit.ly/3feKT-Qm>. Acesso em 12 nov. 2020.
- BORGES, F. Q. & ZOUAIN, D. M. A matriz elétrica no estado do Pará e seu posicionamento na promoção do desenvolvimento sustentável. *Planejamento e políticas públicas*, n. 35, jul./dez, 2010.
- BORGES, F. Q. Administração pública do setor elétrico: indicadores de sustentabilidade no ambiente residencial do estado do Pará (2001-10). *Rev. Adm. Pública* [online]. vol.46, n.3, pp.737-751, 2012.
- BORGES, F. Q. Sustentabilidade institucional no setor elétrico brasileiro. *Revista Pretexto*. vol. 16, n.º.1 - janeiro/março, 2015.
- BORGES, F. Q.; RODRIGUES, I. M. & OLIVEIRA, A. S. P. Paradoxo da energia elétrica no estado do Pará: um estudo dos fatores que contribuem às altas tarifas residenciais (2005-2014). *Observatorio de la Economía Latinoamericana*. Servicios Académicos Intercontinentales. Málaga: Issue 231, May, 2017.
- BURSZTYN, M. Estado e meio ambiente no Brasil. In: *Para pensar o desenvolvimento sustentável*. São Paulo, Brasiliense, 2008.
- CAMARGO, A. S. G.; UGAYA, C. M. L. & AGUDELO, L. P. P. Proposta de definição de indicadores de sustentabilidade para geração de energia elétrica. *Revista Educação e Tecnologia*, Rio de Janeiro: CEFET/PR/MG/RJ, 2004.
- COLSON, E. What AI-Driven Decision Making Looks Like. *Harvard Business Review*. Jul,8, 2019.
- CENTRAIS ELÉTRICAS DO NORTE DO BRASIL. *Relatório de utilização de fontes alternativas de energia elétrica*. Brasília, 2010.
- CENTRAIS ELÉTRICAS DO PARÁ [Celpa]. *Relatório da administração: exercício de 2010-2019*. Belém, 2020.
- CERTO, S. C. Tomada de decisões. In: *Certo*. S. C. *Administração moderna*. São Paulo: Pearson, 2005.
- CHEN, P. Y. & POPOVIC, P. M. *Correlation*. London: Sage, 2002.
- CORVALÁN, J. G. Digital and Intelligent Public Administration: transformations in the Era of Artificial Intelligence. *A&C Revista de Direito Administrativo e Constitucional*, Belo Horizonte, ano 18, n. 72, pp. 81-82, jan./mar, 2018.
- DASGUPTA, S.; PAPADIMITRIOU, C. & VAZIRANI, U. *Algoritmos*. Porto Alegre: AMGH, 2010.
- DESORDI, D. & BONA, C. D. A inteligência artificial e a eficiência na administração pública. *Revista de Direito*. Viçosa. v.12 n.2, 2020.
- DREYFUS, S. E., & DREYFUS, H. L. A five-stage model of the mental activities involved in directed skill acquisition. Berkeley, University of California: Operations Research Center, 1980.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA [EPE]. Disponível em: www.epe.gov.br/Paginas/default.aspx Acesso em: 20 de janeiro de 2020.
- ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION [EIA]. *International energy outlook*. Washington: EIA, 2018.
- FIGUEIREDO, C. R. B. & CABRAL, F. G. Inteligência artificial: machine learning na Administração Pública. *International Journal of Digital Law*. v. 1 n. 1, 2020.
- GLAVIC, P. & LUKMAN, R. Review of sustainability terms and their definitions. *Journal*

- of *Cleaner Production*, v.15, pp.1875-1885, 2007.
- GIACOMONI, J. *Orçamento Público*. São Paulo: Atlas, 2010.
- HARTMANN, F. P. & SILVA, R. Z. M. da. *Inteligência artificial e direito*. Curitiba: Alteridade, 2019.
- MARQUES, K. V. S. *O ato administrativo e a inteligência artificial: uma abordagem sobre os limites e as possibilidades da utilização de inteligência artificial no contexto da administração pública*. Monografia - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Ciências Sociais Aplicadas, Programa de Pós-Graduação em Direito. Natal: UFRGN, 2020.
- MARZALL, K. *Indicadores de sustentabilidade para agroecossistemas*. Porto Alegre: UFRGS, 1999.
- MAXIMIANO, A. C. A. *Introdução à Administração*. Ed. Compacta. São Paulo: Atlas, 2009.
- MCCARTHY, J. What is artificial intelligence? Stanford. Disponível em: <https://stanford.io/3qjCzWo>. Acesso em: 28 dez. 2020.
- NORVIG, P. & RUSSELL, S. J. *Artificial Intelligence: a modern approach*. United Kingdom: Pearson, 2021.
- REIS, L. B.; FADIGAS, E. A. A. & CARVALHO, C. E. *Energia, recursos naturais e a prática do desenvolvimento sustentável*. São Paulo: Manole, 2012.
- ROBBINS, S.; JUDGE, T. & SOBRAL, F. *Comportamento organizacional: teoria e prática no contexto brasileiro*. São Paulo: Pearson, 2010.
- SANTOS, M. A. da S. *Inteligência Artificial*. S/l: Brasil Escola, 2021.
- SILVA, J. F. B. A.; Rebouças, S. M. D. P.; Abreu, M. C. S. de; Ribeiro, M. da C. R. *Construção de um índice de desenvolvimento sustentável e análise espacial das desigualdades nos municípios cearenses*. *Rev. Adm. Pública* [online]. Rio de Janeiro 52(1):149-168, jan. - fev. 2018
- TOFFOLI, D. In: FERNANDES, R. V. de C.; CARVALHO, A. G. P. de (Coord.). *Tecnologia jurídica & direito digital: II Congresso Internacional de Direito, Governo e Tecnologia*. Belo Horizonte: Fórum, 2018.
- TOLMASQUIM M. T.; GUERREIRO, A. & GORINI, R. *Visão prospectiva da matriz energética brasileira: energizando o desenvolvimento sustentável do país*. *Revista Brasileira de Energia*, Vol. 13 N°. 1. Rio de Janeiro: SBPA, 2007.
- VERGARA, S. C. *Projetos e Relatórios de Pesquisa em Administração*. São Paulo: Atlas, 2016.
- VALLE, V. L. do *Inteligência artificial incorporada à Administração Pública: mitos e desafios teóricos*. *A&C - R. de Dir. Adm. Const.* Belo Horizonte, ano 20, n. 81, pp. 179-200, jul./set., 2020.

