

**O USO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA REGULAÇÃO DO GÁS CANALIZADO: OPORTUNIDADES E MODELOS INTERNACIONAIS****THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN PIPED GAS REGULATION: OPPORTUNITIES AND INTERNATIONAL MODELS****EL USO DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA REGULACIÓN DEL GAS CANALIZADO: OPORTUNIDADES Y MODELOS INTERNACIONALES**Arlen Wanderson Landim Ferreira¹

e666513

<https://doi.org/10.47820/recima21.v6i6.6513>

PUBLICADO: 6/2025

RESUMO

Este artigo aborda a aplicação da Inteligência Artificial (IA) na regulação do setor de gás canalizado, destacando suas vantagens, desafios e experiências internacionais. A metodologia baseia-se na revisão de literatura e na análise comparativa de modelos utilizados globalmente. Os resultados indicam que a IA pode aumentar a eficiência regulatória, otimizar a fiscalização e melhorar a segurança operacional. A conclusão aponta para a necessidade de investimentos em infraestrutura digital e capacitação técnica no Brasil.

PALAVRAS-CHAVE: IA. Regulação. Fiscalização. Eficiência.**ABSTRACT**

This article examines the application of Artificial Intelligence (AI) in the regulation of the piped gas sector, highlighting its advantages, challenges, and international experiences. The methodology is based on a literature review and a comparative analysis of models used globally. The results indicate that AI can enhance regulatory efficiency, optimize oversight, and improve operational safety. The conclusion points to the need for investments in digital infrastructure and technical capacity building in Brazil.

KEYWORDS: AI. Regulation. Oversight. Efficiency.**RESUMEN**

Este artículo aborda la aplicación de la Inteligencia Artificial (IA) en la regulación del sector de gas canalizado, destacando sus ventajas, desafíos y experiencias internacionales. La metodología se basa en la revisión de literatura y en el análisis comparativo de modelos utilizados a nivel global. Los resultados indican que la IA puede aumentar la eficiencia regulatoria, optimizar la fiscalización y mejorar la seguridad operativa. La conclusión señala la necesidad de inversiones en infraestructura digital y en capacitación técnica en Brasil.

PALABRAS CLAVE: IA. Regulación. Fiscalización. Eficiencia.

¹ Universidade Estácio de Sá.



1. INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização da regulação no setor de gás

A regulação do setor de gás canalizado no Brasil possui papel estratégico para garantir a prestação de um serviço essencial com qualidade, segurança e tarifas justas. Trata-se de um segmento caracterizado por sua natureza monopolista, intensivo em infraestrutura física, com forte dependência de redes fixas para distribuição. Diante disso, a atuação do Estado por meio de entidades reguladoras é necessária para proteger o interesse público, assegurar o equilíbrio entre os agentes econômicos e promover a universalização do serviço.

Historicamente, a regulação do gás no Brasil foi marcada por uma centralização inicial no nível federal, mas que, com o advento da Constituição Federal de 1988 e a posterior promulgação da Lei nº 11.909/2009 (anteriormente, a Lei nº 9.478/1997), passou a ser descentralizada, atribuindo aos estados e ao Distrito Federal a competência para regular os serviços locais de gás canalizado. Dessa forma, os entes subnacionais criaram agências reguladoras estaduais, responsáveis por estabelecer normas técnicas e econômicas, fiscalizar as concessionárias e mediar conflitos entre usuários e prestadores de serviço.

Contudo, apesar dos avanços institucionais observados, como a criação de marcos regulatórios e agências autônomas, o setor ainda enfrenta desafios relevantes. Entre eles destacam-se: a heterogeneidade entre as capacidades institucionais das agências estaduais, o *déficit* de investimentos em modernização regulatória, a limitação de recursos humanos e tecnológicos, e a baixa integração de dados operacionais com as ferramentas de fiscalização.

Nesse contexto, a adoção de tecnologias emergentes, como a Inteligência Artificial, apresenta-se como uma oportunidade concreta para fortalecer a capacidade regulatória do Estado. Ao permitir análises preditivas, automação de processos e melhor monitoramento em tempo real, a IA pode contribuir diretamente para a superação de gargalos estruturais e o aprimoramento da regulação do gás canalizado, tanto na dimensão técnica quanto na dimensão econômica e institucional.

1.2. Problemática: lacunas e ineficiências atuais

Apesar dos avanços na institucionalização da regulação do gás canalizado no Brasil, persistem lacunas significativas que comprometem a efetividade das ações regulatórias. Em primeiro lugar, observa-se uma carência de padronização dos procedimentos regulatórios entre os entes subnacionais. Cada agência estadual possui estrutura, capacidade técnica e grau de autonomia distintos, o que dificulta a uniformização de critérios de fiscalização, análise tarifária e monitoramento da qualidade do serviço.



Além disso, a atuação reativa ainda prevalece como característica marcante do modelo regulatório brasileiro. A maioria das ações de fiscalização ocorre após o surgimento de problemas ou denúncias, em vez de adotar abordagens preditivas ou preventivas. Essa limitação está associada à ausência de ferramentas tecnológicas que permitam o acompanhamento em tempo real das condições operacionais das redes de distribuição.

Outro ponto crítico é a dificuldade de integração entre dados técnicos, financeiros e comerciais das concessionárias com os sistemas das agências reguladoras. Em muitos casos, os dados são enviados de forma fragmentada, sem interoperabilidade, dificultando a análise sistêmica e a geração de diagnósticos confiáveis. Como consequência, as decisões regulatórias podem se basear em informações incompletas ou desatualizadas, comprometendo sua eficácia.

No campo da análise tarifária, as metodologias adotadas frequentemente apresentam baixa granularidade e pouca flexibilidade para captar variações no comportamento da demanda. A ausência de modelagens dinâmicas limita a capacidade de ajustar tarifas de forma eficiente e transparente, gerando distorções econômicas e insegurança para os usuários.

Por fim, há escassez de recursos humanos especializados em ciência de dados, estatística avançada e inteligência artificial dentro das agências. Essa limitação técnica restringe a adoção de soluções inovadoras e perpetua uma dependência de rotinas analógicas e manuais, incompatíveis com a complexidade atual do setor.

Diante desse panorama, a modernização regulatória com uso de tecnologias inteligentes deixa de ser uma tendência opcional e passa a ser uma necessidade estratégica para superar as ineficiências estruturais e garantir a efetividade do modelo regulatório no setor de gás canalizado.

1.3. Justificativa: por que a IA é uma solução relevante?

A Inteligência Artificial (IA) desponta como uma solução relevante e estratégica para o enfrentamento dos desafios enfrentados na regulação do gás canalizado, em razão de sua capacidade de processar grandes volumes de dados, identificar padrões complexos e automatizar tarefas com alto grau de repetição ou variabilidade. Diferentemente de outras ferramentas digitais convencionais, a IA oferece mecanismos de aprendizado contínuo e adaptação a novos cenários operacionais, o que a torna especialmente útil em ambientes regulatórios marcados por incertezas e dinâmicas variáveis.

No campo da fiscalização, algoritmos de aprendizado de máquina permitem identificar anomalias operacionais em tempo real, como variações inesperadas de pressão, falhas de fornecimento ou indícios de vazamentos, que normalmente passariam despercebidas em modelos tradicionais de supervisão. Essa capacidade permite que os órgãos reguladores atuem preventivamente, minimizando riscos à segurança e aumentando a confiabilidade do serviço prestado.



A IA também potencializa a análise tarifária, viabilizando a construção de modelos mais refinados de precificação com base em dados históricos de consumo, sazonalidade, indicadores socioeconômicos e variações climáticas. Isso possibilita uma tarifação mais justa, previsível e alinhada às reais condições de demanda e oferta, reduzindo distorções e aumentando a transparência do processo decisório.

Outro aspecto relevante é o ganho em eficiência institucional. A automação de auditorias, relatórios e análises técnicas libera as equipes reguladoras de tarefas operacionais repetitivas, permitindo a realocação de recursos humanos para atividades estratégicas e analíticas. Além disso, sistemas de IA podem ser integrados a dashboards interativos e painéis de controle, oferecendo uma visão consolidada e dinâmica do desempenho das concessionárias.

Por fim, a adoção da IA na regulação estimula a cultura da inovação no setor público, fortalecendo a legitimidade e a capacidade adaptativa das agências frente às transformações tecnológicas. Trata-se, portanto, de uma solução que não apenas responde a problemas concretos, mas também reposiciona a função regulatória em direção a um modelo mais inteligente, responsivo e orientado a resultados.

1.4. Objetivo geral e objetivos específicos

O presente estudo tem como objetivo geral investigar o potencial da aplicação de soluções baseadas em Inteligência Artificial (IA) na modernização da regulação do setor de gás canalizado no Brasil, com foco na melhoria da fiscalização, da análise tarifária e da eficiência institucional das agências reguladoras estaduais.

Objetivos específicos:

- Identificar os principais desafios enfrentados pelas agências reguladoras estaduais na regulação do gás canalizado;
- Mapear as aplicações existentes de IA no setor energético em países com estrutura regulatória consolidada;
- Analisar, de forma crítica, o potencial de adoção dessas ferramentas no contexto regulatório brasileiro;
- Avaliar os impactos esperados da incorporação da IA na fiscalização, auditoria e precificação de tarifas;
- Propor diretrizes e recomendações práticas para a implementação gradual da IA nas agências estaduais de regulação do gás canalizado.



Esses objetivos estruturam a pesquisa e orientam a coleta, análise e interpretação dos dados apresentados nas seções seguintes, oferecendo um caminho lógico para a discussão dos resultados e das propostas de inovação regulatória.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Princípios da regulação econômica e técnica

A regulação de serviços públicos essenciais, como o fornecimento de gás canalizado, é fundamentada em princípios que visam garantir o equilíbrio entre os interesses públicos e privados. Os princípios da regulação econômica e técnica atuam de forma complementar para assegurar que os serviços sejam prestados de maneira eficiente, segura, contínua e a preços justos.

A regulação econômica está voltada à contenção do poder de mercado das concessionárias, dado que o serviço de distribuição de gás natural configura, em geral, um monopólio natural. Nessa perspectiva, o papel do regulador é simular um ambiente de concorrência por meio de regras que promovam eficiência alocativa e produtiva, garantindo modicidade tarifária e viabilidade econômica ao prestador. São instrumentos típicos da regulação econômica: o controle tarifário, os mecanismos de reajuste e revisão, a análise de equilíbrio econômico-financeiro e a indução a investimentos.

Já a regulação técnica diz respeito à observância de padrões mínimos de qualidade, segurança e desempenho operacional. Envolve a definição de normas técnicas, protocolos de manutenção, indicadores de continuidade e qualidade do serviço, além da fiscalização de conformidade com padrões estabelecidos em regulamentos, normas técnicas e contratos de concessão. O objetivo é proteger o usuário contra riscos e assegurar a prestação adequada do serviço público.

Ambas as dimensões da regulação dependem de uma atuação eficaz da agência reguladora, com capacidade técnica, autonomia institucional e acesso a informações confiáveis. A integração entre a dimensão econômica e a técnica é essencial para o desenvolvimento de uma regulação equilibrada, capaz de promover investimentos, proteger o consumidor e induzir ganhos de eficiência no setor.

Nesse cenário, a aplicação de Inteligência Artificial surge como ferramenta transversal, capaz de apoiar tanto a função econômica quanto a técnica da regulação, ao automatizar a análise de dados, prever comportamentos de consumo, identificar desvios operacionais e aprimorar a tomada de decisão regulatória.



2.2. Regulação responsiva e baseada em evidências

A regulação responsiva e a regulação baseada em evidências representam paradigmas contemporâneos que vêm ganhando destaque no campo da teoria regulatória, especialmente em setores complexos e tecnologicamente dinâmicos, como o energético. Ambas as abordagens compartilham o objetivo de promover uma atuação mais inteligente, proporcional e eficaz por parte das agências reguladoras.

O modelo de regulação responsiva, proposto por John Braithwaite (2002), parte da premissa de que a ação regulatória deve ser escalonada conforme o comportamento do regulado. Em outras palavras, regulações rígidas não são necessariamente a melhor resposta para todos os casos. O regulador deve começar com instrumentos cooperativos, como advertências ou orientações, e somente escalar para sanções severas em casos de reincidência ou resistência à conformidade. Essa lógica contribui para um ambiente regulatório mais adaptável e menos conflituoso, incentivando o cumprimento voluntário das normas e o fortalecimento da confiança entre regulador e regulado.

Já a regulação baseada em evidências enfatiza a tomada de decisão fundamentada em dados objetivos, indicadores de desempenho e análise empírica. Seu foco está na efetividade das políticas regulatórias, medindo seus resultados e impactos com base em métricas verificáveis. Essa abordagem requer capacidade institucional para coleta, integração e interpretação de grandes volumes de dados, bem como métodos analíticos robustos para transformá-los em conhecimento útil.

A aplicação de ferramentas de Inteligência Artificial converge com ambas as abordagens. A IA permite que agências reguladoras adotem um modelo responsivo ao fornecer análises preditivas que antecipam comportamentos infracionais e sugerem respostas regulatórias graduais. Simultaneamente, ao processar e cruzar dados em tempo real, a IA fortalece a base empírica das decisões regulatórias, promovendo maior transparência, precisão e *accountability*.

A combinação entre esses dois modelos oferece um caminho promissor para o desenvolvimento de uma regulação mais moderna, adaptativa e centrada em resultados. No contexto brasileiro, onde muitas decisões regulatórias ainda são tomadas com base em julgamentos subjetivos ou informações incompletas, a adoção da regulação responsiva e baseada em evidências, com apoio de IA, pode representar uma mudança de paradigma na forma de conduzir a política regulatória do setor de gás canalizado.

2.3. Fundamentos técnicos da inteligência Artificial

A Inteligência Artificial (IA) é um campo multidisciplinar da ciência da computação dedicado ao desenvolvimento de sistemas capazes de simular funções cognitivas humanas, como aprendizado, raciocínio, percepção e tomada de decisão.



REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

O USO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA REGULAÇÃO DO GÁS CANALIZADO: OPORTUNIDADES E MODELOS INTERNACIONAIS
Arlen Wanderson Landim Ferreira

Seu arcabouço técnico envolve diversos subcampos, entre os quais se destacam o aprendizado de máquina (*machine learning*), o aprendizado profundo (*deep learning*), o processamento de linguagem natural (*natural language processing*), a visão computacional e os sistemas especialistas.

O aprendizado de máquina refere-se à capacidade de algoritmos aprenderem padrões a partir de dados, sem serem explicitamente programados para isso. Com base em conjuntos de dados históricos (treinamento), os algoritmos são capazes de gerar modelos que fazem previsões ou classificações sobre novos dados (teste). Técnicas como regressão, árvores de decisão, *random forest*, *support vector machines* e redes neurais artificiais são amplamente utilizadas em aplicações regulatórias.

O *deep learning*, por sua vez, é uma subárea do aprendizado de máquina que utiliza redes neurais profundas compostas por múltiplas camadas de processamento. Essas redes são especialmente eficazes em tarefas de alta complexidade, como reconhecimento de padrões não lineares, detecção de anomalias e previsão de eventos raros. Tais capacidades tornam o *deep learning* particularmente útil para o monitoramento operacional de redes de gás, onde variáveis técnicas interagem de forma não trivial.

Já o processamento de linguagem natural permite que sistemas computacionais compreendam, interpretem e gerem linguagem humana. Essa tecnologia é utilizada, por exemplo, na análise automática de relatórios de auditoria, normativos legais ou reclamações de usuários, facilitando o trabalho das equipes técnicas e aumentando a velocidade e abrangência da fiscalização documental.

A visão computacional consiste na capacidade de interpretar imagens e vídeos por meio de algoritmos que simulam a visão humana. Com o uso de câmeras embarcadas em drones e sensores visuais, é possível detectar falhas estruturais em tubulações, vazamentos e situações de risco, com análise em tempo real ou por processamento posterior automatizado.

Por fim, os sistemas especialistas baseiam-se em regras codificadas por especialistas humanos e são utilizados para apoiar a tomada de decisão em situações bem definidas. Embora menos flexíveis que os modelos de aprendizado, eles são úteis em contextos regulatórios com elevada padronização normativa.

A eficácia da IA depende da qualidade dos dados disponíveis, da capacidade computacional e da arquitetura dos modelos utilizados. Portanto, a aplicação dessas tecnologias em ambientes regulatórios requer, além de investimentos tecnológicos, políticas de governança de dados, padronização de indicadores e capacitação técnica contínua dos agentes envolvidos.



2.4. Aplicações da IA em setores regulados

A adoção da Inteligência Artificial tem sido progressivamente incorporada em setores regulados ao redor do mundo, especialmente naqueles que exigem elevada capacidade de monitoramento, análise de dados e atuação preventiva. Entre os setores mais avançados no uso de IA destacam-se os segmentos de energia elétrica, telecomunicações, saúde, transportes e serviços financeiros.

No setor de energia elétrica, diversas agências reguladoras utilizam IA para prever a demanda, detectar perdas não técnicas, monitorar falhas em tempo real e ajustar tarifas com base em dados dinâmicos de consumo. Por exemplo, a Ofgem (Reino Unido) implementou um sistema de IA para monitorar interrupções no fornecimento e antecipar riscos de falhas sistêmicas com base em dados meteorológicos e históricos de desempenho das redes.

Na área de saúde, entidades reguladoras e prestadores de serviço adotam IA para auditorias automatizadas de prontuários, detecção de fraudes em planos de saúde e identificação preditiva de surtos epidemiológicos. O uso de algoritmos reduz significativamente o tempo de resposta e aumenta a precisão das inspeções regulatórias.

No setor financeiro, órgãos como a *Financial Conduct Authority* (FCA) do Reino Unido e a *Securities and Exchange Commission* (SEC) dos Estados Unidos utilizam modelos de aprendizado de máquina para fiscalizar operações de mercado, identificar manipulações financeiras e avaliar o risco de insolvência de instituições. A IA contribui para a estabilidade sistêmica e reduz a assimetria informacional entre regulados e reguladores.

O setor de telecomunicações também vem se beneficiando da IA para monitoramento automatizado de qualidade de serviço, análise de chamadas interrompidas, variações de sinal e reclamações de usuários. Os dados são cruzados para gerar alertas em tempo real e permitir atuação corretiva mais célere por parte das operadoras.

Essas experiências demonstram que a IA pode assumir funções de apoio à supervisão regulatória, substituindo processos repetitivos, ampliando a cobertura de fiscalização e promovendo respostas mais ágeis e baseadas em evidência. Tais aplicações são especialmente relevantes em ambientes com grande volume de dados e necessidade de atuação contínua, como ocorre na regulação de serviços públicos essenciais.

Ao observar essas práticas internacionais, percebe-se que o setor de gás canalizado pode igualmente se beneficiar de soluções inteligentes, especialmente para fins de segurança operacional, precificação dinâmica, conformidade contratual e transparência informacional. A transferência dessas tecnologias, adaptadas às especificidades institucionais brasileiras, representa uma oportunidade concreta de modernização regulatória e alinhamento com padrões internacionais de excelência.



2.5. Limitações, riscos e requisitos para uso da IA em políticas públicas

Apesar do grande potencial da Inteligência Artificial (IA) para aprimorar a regulação de serviços públicos, sua adoção em políticas públicas e ambientes regulatórios impõe uma série de limitações e riscos que não podem ser negligenciados. A implementação de soluções baseadas em IA demanda não apenas infraestrutura tecnológica e qualificação de pessoal, mas também um arcabouço normativo e ético sólido que garanta o uso responsável e transparente dessas ferramentas.

Uma das principais limitações reside na qualidade dos dados disponíveis. Sistemas de IA são altamente dependentes de dados históricos confiáveis, representativos e atualizados. Em muitos casos, os dados coletados por concessionárias ou órgãos públicos são fragmentados, inconsistentes ou submetidos a diferentes padrões de registro, o que compromete a acurácia dos modelos e pode gerar resultados enviesados ou irrelevantes.

Outro desafio relevante é a opacidade algorítmica. Muitos modelos de aprendizado profundo operam como "caixas-pretas", dificultando a compreensão de como as decisões são produzidas. Essa característica pode conflitar com princípios de transparência e *accountability* exigidos da administração pública, sobretudo em processos que envolvem impactos sobre direitos individuais ou coletivos.

Também existem riscos associados à reprodução e amplificação de vieses históricos contidos nos dados. Se os dados utilizados para treinar os algoritmos refletirem desigualdades estruturais ou distorções institucionais, o sistema poderá perpetuar essas distorções, afetando injustamente determinados grupos sociais ou regiões.

A aplicação de IA exige ainda requisitos mínimos de governança de dados, incluindo políticas de proteção à privacidade, segurança da informação, interoperabilidade entre sistemas e controle sobre o ciclo de vida dos algoritmos. Isso implica repensar os modelos de gestão informacional adotados pelas agências reguladoras e concessionárias, estabelecendo novos protocolos de auditoria, supervisão e prestação de contas.

Por fim, é necessário reconhecer que a IA não substitui o julgamento humano. As decisões automatizadas devem ser sempre complementadas por análises qualitativas, sensibilidade institucional e capacidade crítica dos gestores públicos. A combinação entre inteligência artificial e inteligência institucional é o caminho mais promissor para garantir que os benefícios da tecnologia sejam alcançados sem comprometer os fundamentos democráticos da ação regulatória.

3. MÉTODOS

3.1. Tipo e abordagem da pesquisa

Este estudo é de natureza qualitativa, com abordagem exploratória e descritiva.



A escolha por essa tipologia decorre da necessidade de compreender, em profundidade, os fenômenos relacionados à aplicação da Inteligência Artificial no contexto regulatório do setor de gás canalizado. A abordagem qualitativa permite a interpretação crítica de documentos, marcos regulatórios, práticas institucionais e experiências internacionais, priorizando a compreensão contextualizada dos dados em detrimento de sua quantificação.

3.2. Estratégia de revisão e critérios de seleção de fontes

A estratégia de revisão consistiu na análise de publicações acadêmicas, relatórios técnicos, normativos institucionais e experiências documentadas de aplicação de IA por órgãos reguladores. As fontes foram selecionadas com base nos seguintes critérios: (i) relevância temática para a regulação ou uso de IA em setores regulados; (ii) atualidade (preferência para publicações dos últimos dez anos); (iii) confiabilidade da fonte (publicações acadêmicas, órgãos governamentais e institutos de pesquisa); e (iv) aplicabilidade ao contexto brasileiro ou a sistemas regulatórios com semelhança institucional.

As bases de dados consultadas incluíram Scopus, Web of Science, Google Scholar, arXiv e repositórios institucionais de entidades como FERC, *Ofgem*, *Bundesnetzagentur*, ANP, ANEEL e associações setoriais.

3.3. Análise documental e seleção dos estudos de caso

A análise documental foi conduzida com base em documentos normativos (leis, resoluções, contratos de concessão), relatórios de desempenho regulatório e estudos de caso sobre o uso de IA por órgãos reguladores. A escolha dos estudos de caso foi orientada pela diversidade geográfica e pelo grau de maturidade das soluções adotadas, contemplando três países com estruturas regulatórias consolidadas e experiências documentadas:

- **Reino Unido** (*Ofgem*): uso de IA para monitoramento de redes e gestão de dados de fornecimento.
- **Estados Unidos** (FERC e PG&E): aplicação de modelos preditivos para gestão de risco regulatório e fiscalização automatizada.
- **Alemanha** (*Bundesnetzagentur*): tarifação dinâmica e gestão inteligente de contratos com base em algoritmos.

Esses estudos permitiram identificar padrões, práticas inovadoras e desafios enfrentados na implementação de tecnologias inteligentes no processo regulatório.



3.4. Limitações metodológicas

Embora a abordagem qualitativa permita uma compreensão aprofundada e interpretativa do objeto de estudo, ela apresenta limitações quanto à generalização dos resultados. As análises aqui desenvolvidas baseiam-se em um número restrito de estudos de caso e fontes documentais, o que pode limitar a extrapolação para todo o sistema regulatório brasileiro.

Adicionalmente, o acesso a informações completas e atualizadas sobre experiências internacionais depende da disponibilidade pública dos dados e da transparência institucional das agências analisadas. Por fim, as proposições do estudo não substituem análises de viabilidade técnica, jurídica e econômica a serem conduzidas em etapas futuras de implementação, mas fornecem uma base conceitual e exploratória sólida para orientar o debate sobre inovação regulatória com uso de Inteligência Artificial.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Eixos de aplicação da IA na regulação do gás

Com base na literatura e nos estudos de caso analisados, é possível identificar cinco eixos principais para aplicação da Inteligência Artificial na regulação do gás canalizado:

1. **Fiscalização automatizada:** uso de sensores e algoritmos para identificar falhas, vazamentos, perdas e não conformidades operacionais em tempo real.
2. **Auditorias regulatórias:** automatização de análises de conformidade contratual, financeira e técnica com base em cruzamento de dados enviados pelas concessionárias.
3. **Precificação dinâmica:** uso de modelos preditivos para ajuste tarifário em função de sazonalidade, demanda, eficiência operacional e variações de insumo.
4. **Gestão de risco regulatório:** aplicação de IA para antecipar riscos estruturais, calcular probabilidades de falhas e hierarquizar prioridades de intervenção.
5. **Análise de desempenho:** geração de dashboards automatizados com indicadores de desempenho, qualidade e cumprimento de metas contratuais.

4.2. Estudo de caso 1 – Reino Unido (OFGEM)

A Ofgem, agência reguladora britânica para gás e eletricidade, implementou estratégias de digitalização por meio do programa *Data and Digitalisation Strategy*. A agência utiliza IA para monitoramento contínuo das redes, previsão de interrupções e detecção automática de perdas. A plataforma integrada coleta dados em tempo real de sensores distribuídos, alimentando modelos que projetam cenários de risco e suporte à decisão regulatória. Essa estratégia reduziu o tempo de resposta a incidentes e aumentou a efetividade das fiscalizações remotas.



4.3. Estudo de caso 2 – Estados Unidos (FERC/PG&E)

Nos Estados Unidos, a *Federal Energy Regulatory Commission* (FERC) tem incentivado concessionárias a adotar soluções de IA. Destaca-se o caso da *Pacific Gas & Electric* (PG&E), que desenvolveu um sistema de IA para identificação de segmentos críticos da rede, baseado em sensores e redes neurais. A ferramenta é utilizada para previsão de falhas estruturais, priorização de inspeções de campo e planejamento de manutenção. O modelo reduz perdas operacionais e aumenta a segurança do fornecimento, servindo de base para relatórios exigidos pelo regulador.

4.4. Estudo de caso 3 – Alemanha (*Bundesnetzagentur*)

A *Bundesnetzagentur*, autoridade reguladora da Alemanha para redes de energia, telecomunicações e transporte, promoveu a incorporação de IA em seus processos de tarifação. A agência desenvolveu um sistema que utiliza algoritmos preditivos para simular diferentes cenários tarifários com base em dados meteorológicos, projeções de consumo e variáveis econômicas. Com isso, o modelo tarifário tornou-se mais responsivo, permitindo ajustes finos e compatíveis com o comportamento real do mercado. A IA também é usada na análise de relatórios técnicos automatizados pelas concessionárias.

4.5. Diagnóstico do cenário brasileiro

No Brasil, a regulação do gás canalizado ainda é marcada por heterogeneidade institucional entre as agências estaduais, ausência de plataformas integradas de dados e prevalência de processos manuais. A maioria das fiscalizações ocorre por amostragem ou via denúncia, com baixa utilização de ferramentas preditivas ou automatizadas. Poucas agências possuem equipes técnicas especializadas em ciência de dados ou IA. A fragmentação dos sistemas de informação entre concessionárias e reguladores também dificulta o controle de qualidade e a análise tarifária em tempo real.

4.6. Potencial de aplicação nos entes subnacionais (agências estaduais)

As agências reguladoras estaduais têm potencial significativo para incorporar tecnologias de IA em seus processos. Inicialmente, podem ser adotados projetos-piloto com foco em auditorias automatizadas de dados enviados pelas concessionárias, análise de desempenho técnico e cruzamento de informações de diferentes fontes. A adoção de sistemas baseados em IA também pode ser integrada às obrigações contratuais das novas concessões, incentivando as empresas a fornecerem dados estruturados e compatíveis com modelos preditivos. Para isso, são necessários investimentos em infraestrutura digital, capacitação de servidores e parcerias com universidades e



centros de pesquisa. A cooperação federativa, via fóruns como a ABAR, pode favorecer a padronização de soluções e o compartilhamento de boas práticas.

Esses resultados evidenciam que, apesar das limitações atuais, há um espaço significativo para a evolução da regulação do gás canalizado com base em ferramentas inteligentes, com ganhos em eficiência, precisão e capacidade de resposta regulatória.

5. IMPLICAÇÕES JURÍDICAS E ÉTICAS

5.1. Legalidade, transparência e responsabilidade algorítmica

A introdução da Inteligência Artificial em atividades regulatórias exige conformidade com princípios constitucionais e administrativos fundamentais, em especial os da legalidade, moralidade, eficiência e publicidade. A legalidade assegura que toda atuação da administração pública deve estar fundada em norma previamente estabelecida, o que impõe o desafio de adequar o uso de sistemas algorítmicos à legislação vigente.

A transparência algorítmica constitui outro requisito central. A administração pública deve ser capaz de explicar como os sistemas de IA tomam decisões ou produzem recomendações que influenciam processos regulatórios, sobretudo quando estes afetam direitos de terceiros. Isso implica a adoção de sistemas auditáveis, documentação clara de seus critérios de funcionamento e a disponibilização de relatórios técnicos que permitam controle externo pelos órgãos competentes.

A responsabilidade algorítmica refere-se à necessidade de identificação de responsáveis legais por eventuais erros, falhas ou distorções oriundas da aplicação de modelos automatizados. Em um ambiente regulatório, a delegação de funções críticas a sistemas de IA não isenta o ente regulador de prestar contas, reforçando a importância de manter supervisão humana constante e critérios normativos claros sobre o papel da automação nos processos decisórios.

5.2. Risco de vieses e discriminação automatizada

Sistemas de IA são treinados a partir de grandes volumes de dados históricos. Caso esses dados contenham distorções, omissões ou vieses socioeconômicos, é possível que os algoritmos os repliquem ou até os ampliem, perpetuando desigualdades e gerando decisões discriminatórias.

No contexto da regulação do gás, isso pode se manifestar, por exemplo, em análises que priorizem regiões urbanas com maior densidade de sensores e dados, em detrimento de áreas periféricas ou rurais menos monitoradas.

Além disso, a IA pode tomar decisões baseadas em correlações estatísticas sem considerar o contexto institucional, jurídico ou social em que estão inseridas. Tal limitação compromete a justiça regulatória e impõe o desenvolvimento de mecanismos de supervisão ética, validação de base de dados e auditoria contínua dos modelos utilizados.



5.3. Princípios constitucionais e controle externo da administração pública

A atuação regulatória com suporte em Inteligência Artificial deve respeitar os princípios constitucionais da administração pública previstos no art. 37 da Constituição Federal, em especial os princípios da legalidade, impessoalidade, moralidade, publicidade e eficiência. A utilização de algoritmos deve estar alinhada com esses fundamentos, garantindo que sua aplicação não afronte direitos fundamentais nem comprometa a igualdade de tratamento entre os regulados.

Além disso, o uso de IA não pode enfraquecer os mecanismos de controle externo e social da administração pública. O Tribunal de Contas, o Ministério Público e a sociedade civil devem ter acesso a informações suficientes para fiscalizar a atuação automatizada das agências reguladoras. Isso requer que os modelos utilizados sejam documentados, auditáveis e tecnicamente compreensíveis, possibilitando a reconstrução lógica das decisões tomadas.

Assim, o uso de IA na regulação deve ser acompanhado de um regime de governança algorítmica que contemple princípios jurídicos, parâmetros éticos e instrumentos de supervisão institucional, assegurando que a inovação regulatória ocorra de forma compatível com os valores democráticos e o ordenamento jurídico brasileiro.

6. PERSPECTIVAS FUTURAS E PESQUISAS RECOMENDADAS

6.1. Tendências tecnológicas e regulatórias

O avanço das tecnologias digitais continuará transformando o campo regulatório nos próximos anos, especialmente com o fortalecimento de soluções baseadas em inteligência artificial, internet das coisas (IoT), *blockchain* e computação em nuvem. Espera-se uma crescente incorporação de ferramentas preditivas, painéis de controle inteligentes e sistemas de resposta automatizada na rotina das agências reguladoras. No plano regulatório, as tendências apontam para modelos cada vez mais responsivos, com maior integração entre análise de risco, uso de dados em tempo real e sistemas de *feedback* contínuo das partes reguladas e da sociedade civil.

Nesse contexto, a regulação do setor de gás canalizado deverá acompanhar essa evolução, adotando marcos normativos mais flexíveis, exigências contratuais voltadas à digitalização e estruturas de governança que favoreçam a inovação com responsabilidade. A capacidade institucional de aprender com os dados e ajustar padrões regulatórios conforme evidências empíricas será um diferencial estratégico para o futuro das agências reguladoras.

6.2. Linhas de pesquisa em ciência regulatória com IA

A interseção entre ciência regulatória e inteligência artificial configura um campo emergente de investigação acadêmica e institucional. Algumas linhas de pesquisa que merecem aprofundamento incluem:



- Desenvolvimento de métricas e indicadores automatizados para avaliação da qualidade regulatória;
- Modelos de precificação dinâmica regulada com base em *machine learning*;
- Algoritmos para detecção de não conformidades contratuais e infrações técnicas;
- Estudo dos impactos sociais, distributivos e éticos de decisões automatizadas na regulação de serviços públicos;
- Governança de dados e regulação do próprio uso da IA pelos entes reguladores (regulação da regulação).

Essas linhas podem ser exploradas por meio de parcerias entre universidades, centros de pesquisa aplicada, agências reguladoras e instituições internacionais que já avançaram na implementação de tecnologias similares.

6.3. Propostas de experimentações e *sandbox* regulatório

Uma estratégia viável para incorporação gradual de inovações tecnológicas na regulação do gás é a adoção de ambientes controlados de experimentação, conhecidos como "*sandbox* regulatório". Trata-se de espaços institucionais delimitados, com regras específicas e monitoramento supervisionado, nos quais soluções inovadoras podem ser testadas antes de sua adoção em larga escala.

As agências reguladoras estaduais podem utilizar o *sandbox* para avaliar modelos de IA aplicados à fiscalização remota, auditoria automatizada de dados, análise de riscos operacionais e previsão de consumo. Esses projetos piloto possibilitam testar a viabilidade técnica, a robustez dos algoritmos e os impactos regulatórios, sem comprometer a segurança jurídica ou a integridade do processo regulatório.

Além disso, o uso de experimentações controladas contribui para a aprendizagem institucional e para a construção de marcos regulatórios mais realistas, baseados em evidências. Tais iniciativas também favorecem o engajamento de startups, empresas de tecnologia e universidades no ecossistema regulatório, promovendo a inovação aberta com responsabilidade institucional.

7. CONSIDERAÇÕES E RECOMENDAÇÕES

7.1. Conclusão geral do estudo

O presente estudo teve como objetivo investigar o potencial da aplicação da Inteligência Artificial na modernização da regulação do setor de gás canalizado no Brasil.



A partir de uma abordagem qualitativa, foram mapeadas experiências internacionais, analisadas limitações institucionais no contexto brasileiro e identificadas oportunidades de aplicação tecnológica por parte das agências reguladoras estaduais.

Conclui-se que a IA representa um instrumento promissor para fortalecer a capacidade regulatória, especialmente em eixos como fiscalização, auditoria, análise tarifária e gestão de riscos. No entanto, sua adoção exige superação de barreiras relacionadas à infraestrutura tecnológica, qualificação de pessoal, integração de dados e desenvolvimento de marcos normativos compatíveis com os princípios da legalidade, transparência e responsabilidade pública.

A experiência de países como Reino Unido, Estados Unidos e Alemanha demonstra que é possível incorporar ferramentas inteligentes ao processo regulatório com ganhos concretos de eficiência, responsividade e qualidade decisória. No Brasil, embora o estágio atual das agências estaduais seja desigual, há espaço significativo para avanços estruturados, sobretudo com apoio federativo e articulação institucional.

7.2. Recomendações por horizonte de implementação

Curto prazo (1 a 2 anos):

- Realização de diagnósticos internos pelas agências estaduais sobre sua maturidade digital e capacidade de adoção de IA;
- Capacitação técnica dos servidores públicos em ciência de dados, ética algorítmica e fundamentos de IA;
- Estabelecimento de parcerias com universidades e centros de pesquisa para projetos-piloto e formação técnica;
- Inclusão de cláusulas contratuais que obriguem concessionárias a fornecer dados estruturados e padronizados.

Médio prazo (3 a 5 anos):

- Implantação de sistemas de auditoria automatizada e monitoramento remoto em agências com maior grau de prontidão;
- Desenvolvimento de plataformas integradas de dados para compartilhamento entre entes reguladores e concessionárias;
- Consolidação de marcos infralegais que regulamentem o uso de IA no processo decisório administrativo;
- Criação de repositórios públicos de dados regulatórios com governança clara e interoperabilidade garantida.



REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

O USO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA REGULAÇÃO DO GÁS CANALIZADO: OPORTUNIDADES E MODELOS INTERNACIONAIS
Arlen Wanderson Landim Ferreira

Longo prazo (acima de 5 anos):

- Adoção plena de modelos de precificação dinâmica e análise de risco com suporte em IA;
- Estabelecimento de uma estrutura nacional de governança algorítmica no setor regulatório, com protocolos unificados de auditoria e validação técnica;
- Integração das tecnologias emergentes à cultura institucional das agências reguladoras, com uso sistemático de IA como ferramenta de apoio à decisão e fiscalização preditiva.

Essas recomendações visam orientar a construção de uma regulação mais inteligente, eficiente e alinhada com os desafios contemporâneos, reforçando o papel do Estado como garantidor de serviços públicos de qualidade e adaptado às transformações tecnológicas em curso.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Inovação regulatória**. São Paulo: Aneel, s. d. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel>. Acesso em: maio 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. Disponível em: <https://www.gov.br/anp>. Acesso em: maio 2025.

ARRIGO, A. *et al.* Machine Learning for Improved Gas Network Models in Coordinated Energy Systems. **arXiv:2209.12731**, 2022. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2209.12731>

BRAITHWAITE, J. **Restorative Justice and Responsive Regulation**. [S. l.]: Oxford University Press, 2002.

BUNDESNETZAGENTUR. **Jahresbericht 2023**. Bonn: BNetzA, 2023. Disponível em: <https://www.bundesnetzagentur.de>

CURIN, N. *et al.* A Deep Learning Model for Gas Storage Optimization. **arXiv:2102.01980**, 2021. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2102.01980>

FERC – FEDERAL ENERGY REGULATORY COMMISSION. **Artificial Intelligence and Machine Learning in the Energy Sector**. [S. l.]: Relatório Técnico, 2023. Disponível em: <https://www.ferc.gov>

GASMIG. **Gás Natural e a Inteligência Artificial: tecnologia demanda combustível sustentável**. [S. l.]: Gasmig, 2024. Disponível em: <https://qasmig.com.br>

MATALKAH, G.; COYLE, E. J. From Smart to Intelligent Utility Meters in Natural Gas Distribution Networks. **arXiv:2304.00251**, 2023. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2304.00251>

OBSERVATÓRIO INTERNACIONAL REGULATÓRIO – OIR. **Boas práticas em sandbox regulatório**. [S. l.]: OIR, 2023. Disponível em: <https://oir.org.br>

OECD. **Regulatory Policy Outlook 2021**. Paris: OECD Publishing, 2021. Disponível em: <https://www.oecd.org/gov/regulatory-policy>



REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

O USO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA REGULAÇÃO DO GÁS CANALIZADO: OPORTUNIDADES E MODELOS INTERNACIONAIS
Arlen Wanderson Landim Ferreira

OFGEM – OFFICE OF GAS AND ELECTRICITY MARKETS. **Data and Digitalisation Strategy**. UK: Government, 2022. Disponível em: <https://www.ofgem.gov.uk>

PETROBRAS. **Desvende o que é inteligência artificial e seu uso na Petrobras**. [S. l.]: Petrobras, 2024. Disponível em: <https://nossaenergia.petrobras.com.br>

SIDI. **O Papel da Inteligência Artificial no Setor de Petróleo e Gás no Brasil**. [S. l.]: Side, 2025. Disponível em: <https://www.sidi.org.br/pt-br/blog>

VIDYATEC. **Inteligência Artificial como alternativa para o setor de Óleo e Gás**. [S. l.]: Vidyatec, 2019. Disponível em: <https://vidyatec.com/blog/inteligencia-artificial-como-alternativa-para-o-setor-de-oleo-e-gas>

WORLD ECONOMIC FORUM. **Governing AI: Principles and Recommendations**. [S. l.]: World Economic Forum, 2022. Disponível em: <https://www.weforum.org/reports/governing-ai>

ZUBOFF, S. **The Age of Surveillance Capitalism**. New York: PublicAffairs, 2019.