



Experiências com a regulação de gás natural

benchmarking de países selecionados

Julho, 2022

EEX
Evidência Express

ENAP

Expediente

Presidente

Diogo Costa

Diretora-Executiva

Rebeca Loureiro de Brito

Diretora de Altos Estudos

Diana Coutinho

Diretor de Educação Executiva

Rodrigo Torres

Diretor de Desenvolvimento Profissional

Paulo Marques

Diretora de Inovação

Bruna Santos

Diretora de Gestão Interna

Alana Regina Biagi Silva Lisboa

Coordenador Geral de Ciência de Dados

Pedro Masson Sesconetto Souza

Capa e Diagramação

Samyra Lima

Equipe Evidência Express

Imagens

Unsplash

Autoria

Géssica C. Souza

Doutora em Economia (UFMG)

Lorenzo Bianchi

Mestre em Economia (PUCRS)

Breno Salomon Reis

Mestre em Políticas Públicas (Insper)

O Evidência Express (EvEx) é uma iniciativa da Diretoria de Altos Estudos da Escola Nacional de Administração Pública (Enap) em parceria com a Universidade Federal de Brasília (UnB). A missão do EvEx é melhorar a tomada de decisão do setor público. Para isso a equipe sintetiza, produz e dissemina evidências que possam servir de base para o desenho, monitoramento e avaliação de políticas públicas.

Avaliações completas de políticas públicas são intensivas em tempo e custos. A fim de agilizar esses processos, o EvEx produz relatórios ágeis de evidências para a consolidação do conhecimento disponível e introdução de novos pontos de vista.

Os resultados dos produtos EvEx apoiam tomadores de decisão do setor público federal, subsidiando avaliações Ex Ante, Ex Post ou Análises de Impacto Regulatório. Beneficiam também os gestores públicos subnacionais, pesquisadores, docentes, servidores e demais interessados na sociedade civil.

Os produtos EvEx analisam evidências qualitativas e quantitativas, podendo ser demandados de forma avulsa ou em pacotes, sobre:

- Evolução do problema no Brasil e no mundo;
- Público-alvo de uma política;
- Causas e consequências do problema ou política;
- Soluções existentes para o problema;
- Impactos de intervenções ou políticas públicas.

Para mais informações, consulte nossa página (www.enap.gov.br/pt/servicos/avaliacao-e-organizacao-de-evidencias) ou entre em contato: evidencia.express@enap.gov.br.



Sumário Executivo

- Este *benchmarking* descreve o funcionamento da indústria de gás natural, a regulação do setor e as implicações das alterações nas especificações de gás natural na Alemanha, Países Baixos, México, Estados Unidos e Argentina.
- México e Argentina possuem especificação nacional única para a composição do gás natural enquanto o mesmo não ocorre na Alemanha, Países Baixos e Estados Unidos. Nesses países a especificação do gás é variável.
- A Alemanha adota as definições de intercambialidade de uso de gás natural definidos pela União Europeia que não define valor de referência do Índice de Wobbe para regular a demanda por gás natural nos países membros.
- O processo de transição entre o gás de baixo para alto poder calorífico (G-gas para o H-gas), nos Países Baixos, fez com que algumas empresas enfrentassem repetidamente problemas devido às flutuações máximas (Ministry of Economics Affairs, 2013) e gerou um aumento da insegurança entre os consumidores finais devido às incertezas e a falta de diretrizes das autoridades neerlandesas (ABBOTT; BOWERS; JAMES, 2012).
- Segundo informe técnico do *Instituto Mexicano del Petróleo*, os efeitos ocasionados pela variação da composição do gás natural dependem da tecnologia de combustão utilizada nos equipamentos (IMP, 2018).
- O relatório técnico IMP (2018) apresenta o resultado de um estudo de custo-benefício que projeta o impacto esperado na indústria em nível nacional de modificações nas especificações da *Norma Oficial Mexicana de Especificaciones del gas natural* (NOM-001).
- No México, existiriam alguns processos industriais mais sensíveis às mudanças do Índice de Wobbe para um padrão mais alto, são eles: produção de vidro float, produção de fibra de vidro, fornos com atmosferas controladas, processos cerâmicos e vidrados ou porcelânicos e processos têxteis de chama direta.
- Nos Estados Unidos a definição da especificação de gás natural consumido é realizada pelas companhias que operam o sistema de transporte do bem do local de produção para o local de distribuição ou consumo.
- Na Argentina foi identificada uma única modificação da composição do gás natural oficial vigente a partir de 1998 onde foram reduzidos em 0,5% os percentuais molares de dióxido de carbono e hidrocarbonetos inertes permitidos na composição do gás natural consumido no país. É possível que ela tenha gerado consequências para os processos relacionados à utilização de gás. No entanto, não foram encontradas durante a pesquisa implicações a respeito dessa alteração.

Sumário

1	Introdução	5
2	Metodologia	7
3	Alemanha	8
4	Países Baixos	11
5	México	14
6	Estados Unidos	16
7	Argentina	21
8	Considerações Finais	23
	Referências Bibliográficas	25
	Anexo 1	28
	Anexo 2	30

1. Introdução

O gás natural é uma fonte de energia não renovável, encontrado no subsolo que pode ser, ou não, associado/dissolvido ao petróleo. Ele é formado por um conjunto de hidrocarbonetos que irão permanecer em estado gasoso em condição ambiente de temperatura e pressão. Seu principal elemento é o metano e sua composição contém outros hidrocarbonetos mais pesados como etano, propano e butano (CNI, 2019).

Fatores naturais influenciam no processo de formação do gás natural e as condições de acumulação do reservatório de origem fazem com que sua composição bruta varie. O mix de propano e outros hidrocarbonetos mais pesados definem a riqueza do gás natural (CNI, 2019). As suas especificações variam entre os países que se adequam à oferta de gás local, às características dos equipamentos e aos requerimentos sobre a qualidade do gás. Essa variedade de gás pode criar algumas barreiras para o comércio, principalmente em regiões com grandes interconexões como no caso da Europa (CNI, 2019).

De acordo com Leicher (2015), espera-se que para os próximos anos a qualidade do gás sofra intensas variações no mercado devido ao esgotamento de alguns antigos campos de gás, o aparecimento de novos campos e o aumento das importações de GNL. Também se espera um crescimento do uso de combustíveis gasosos renováveis, como o biogás, hidrogênio e o gás natural substituto (GNS), para atender as exigências das políticas internacionais e nacionais de mudanças climáticas.

Segundo Leicher et al. (2017), a padronização da qualidade do gás tornou-se assunto controverso para os agentes de mercado da cadeia produtiva desta *commodity*. Os padrões nacionais de qualidade do gás em vigor são considerados um obstáculo ao livre comércio do produto. Além disso, segundo os autores, regulamentar a qualidade da composição do gás natural pode ocasionar problemas econômicos relevantes para os agentes de mercado.

No Brasil, a Resolução ANP nº 16/2008 – RANP, estabelece padrões para a especificação do gás natural. Ao longo dos anos, a padronização do gás passou por algumas revisões. Os agentes da indústria, representados pelo Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis (IBP) apresentaram um pedido junto a ANP para flexibilização dos parâmetros de concentração dos hidrocarbonetos, pois devido ao aumento da produção do pré-sal, há a possibilidade de produção de um gás mais rico em algumas regiões. Esse requerimento foi adicionado à Agenda Regulatória 2020-2021 (ANP, 2021). Todavia, os representantes da indústria de gás e transformação (setores químico, petroquímico, vidros e cerâmicas) demonstraram opinião contrária à flexibilização sugerida pelo IBP.

Diante da importância do gás natural, não somente na matriz energética e econômica dos países, mas também como importante vetor na diminuição das emissões, faz-se necessário entender a discussão e problemática a cerca das atuais regulações e potenciais implicações das alterações nas

especificações do gás natural em outros países. A partir dos desafios, limitações e sucessos enfrentados por outras nações, é possível identificar fraquezas e pontos de melhorias nos desenhos das regulações nacionais. Neste sentido, o objetivo deste *benchmarking* é descrever o funcionamento da indústria de gás natural, a regulação do setor e as implicações das alterações nas especificações de gás natural em cinco países: Alemanha, Países Baixos, México, Estados Unidos e Argentina. Vale ressaltar que este estudo foi elaborado entre os meses de junho e julho de 2022 no contexto da proposta do Evidência Express de oferecer evidências rápidas para a discussão de políticas públicas.

Na próxima seção encontra-se uma breve introdução sobre o tema. Em seguida é apresentada a metodologia de pesquisa adotada. A partir de então, são dedicadas seções para descrever o caso de cada país selecionado. Por fim, na oitava seção, encontra-se as considerações finais. Além disso, nos anexos dessa pesquisa encontra-se um resumo dos métodos de medição da qualidade do gás natural em 36 países e a comparação das especificações do gás natural em 54 países.

2. Metodologia

Neste trabalho foi realizado um estudo descritivo de múltiplos casos sobre o funcionamento da indústria de gás natural em cinco países selecionados: Alemanha, Países Baixos, México, Estados Unidos e Argentina.

Segundo Yin (2003), um estudo de caso descritivo é utilizado para descrever um fenômeno a partir de seu contexto. Nesse sentido, foi realizada uma busca na literatura relevante e análise de documentos oficiais e de organizações privadas com o objetivo de descrever as diferentes experiências regulatórias do gás natural e seus efeitos sobre contextos selecionados.

Para realizar essa tarefa de sintetizar as experiências, foram elencados alguns elementos de funcionamento dos sistemas para orientar a busca por informações. Esses elementos foram: identificar os órgãos e entidades regulatórias do gás natural nos países selecionados, identificação das principais indústrias e suas organizações, descrição do contexto regulatório do setor de cada caso e identificação dos parâmetros e valores de referência utilizados para regular a qualidade do gás natural consumido e comercializado em cada país. Também foi investigado, quando possível, os efeitos associados ou esperados de alterações na especificação do gás natural sobre as indústrias e seu maquinário, setor de energia elétrica e meio ambiente. Essas alterações na especificação do gás natural podem ter ocorrido nos países de forma planejada ou somente sugeridas, conforme mencionado pela literatura analisada de cada caso. Vale destacar que nem sempre é fácil prever como uma aplicação específica pode responder às mudanças na qualidade do gás, limitando a disponibilidade de estudos e relatórios oficiais sobre o tema.

Nesse sentido, torna-se importante ressaltar que não foi possível identificar efeitos causais decorrentes da alteração da composição do gás natural nos países selecionados. Os efeitos identificados ao longo do trabalho sobre essas alterações tratam-se de efeitos associados ou esperados das modificações descritas. Nesse sentido, recomenda-se a consideração do contexto específico de cada país e a influência desse contexto na interpretação dos resultados dessas alterações.

3. Alemanha

Considerando que a Alemanha está inserida na União Europeia (UE), antes de adentrarmos nas características específicas da regulação do gás natural no país, é importante entendermos como as normas do bloco afetam a utilização do mesmo. Atualmente, a norma de padronização do gás natural em vigor na UE (EN 16726: 2015) não define por completo a segurança no uso do gás, devido à falta de especificação do Índice de Wobbe que é utilizado para realizar análises da intercambialidade de gases em diferentes países. Além disso, a adoção da norma pelos Estados Membros é voluntária e os mesmos possuem autonomia para especificarem seus próprios parâmetros de qualidade (CNI, 2019). Isso apresenta custos para os consumidores por meio de decisões de fornecimento ineficientes, efeitos deletérios do mercado de gás e concorrência de eletrodomésticos e possíveis preocupações com a segurança do fornecimento (No Anexo 2 encontra-se a comparação das especificações do gás natural em 54 países).

Os parâmetros da qualidade do gás são as métricas individuais utilizadas para descrever o nível aceitável para as propriedades físicas do gás. Eles incluem as descrições derivadas do Índice de Wobbe e inclui as propriedades físicas como densidade, quantidade de composição, como teor de metano, equivalência da composição, entre outros (DENTON; PöYRY, 2012) (no Anexo 1 encontra-se um resumo dos métodos de medição da qualidade do gás natural em 36 países). O relatório apresentado à Comissão Europeia, elaborado pela empresa GL Pöyry em 2012 (DENTON; PöYRY, 2012), realiza uma análise de custo-benefício da harmonização das especificações de qualidade do gás na Europa. De acordo com o relatório, um menor impacto imediato é esperado quando a especificação do gás natural é ampla. Quando a nova especificação é mais ampla que a especificação existente, não há custo imediato de transição porque os gases existentes já estão em conformidade. Quando o gás natural apresenta baixo Índice de Wobbe, há a necessidade de enriquecê-lo. O custo de enriquecimento mostraram-se maiores que os custos de adaptação.

O relatório menciona alguns possíveis benefícios de se eliminar as restrições de qualidade do gás. Dentre eles, citam-se: redução nos custos de fornecimento de gás em toda UE, devido ao aumento da concorrência; segurança do abastecimento; melhor funcionamento do mercado de aparelhos a gás; redução do custo de aquisição de eletrodomésticos devido ao aumento da disponibilidade de produtos e aumento da concorrência no setor.

A harmonização do gás pode gerar impactos em alguns setores da economia. Os setores que utilizam o gás como matéria-prima teriam impactos diretos nos custos operacionais em um cenário de redução no teor de metano. Essa redução aumentaria a quantidade de matéria-prima necessária. Além disso, alterações nas instalações de depuração de gás e um sistema de controle automático instalado que garantisse às plantas capacidade em responder às mudanças na qualidade do gás e continuar a

operar com segurança, também geraria maiores custos (DENTON; PöYRY, 2012).

O relatório indica um impacto negativo em termos de emissões de dióxido de carbono como resultado de mudanças no desempenho operacional do equipamento de combustão. Uma diminuição na eficiência poderia resultar em aumento de gás natural utilizado e, conseqüentemente, em um aumento na emissão de dióxido de carbono, tendo um efeito ambiental negativo. O potencial aumento das emissões de poluentes, por exemplo NO_x e CO, pode resultar em impactos na atmosfera e, conseqüentemente, na saúde da população, indo contra as diretrizes dos acordos climáticos (DENTON; PöYRY, 2012).

Por fim, o estudo mensura os custos e benefícios da eliminação da restrição da qualidade do gás na UE. O resultado obtido pelo levantamento indica que o benefício para os consumidores europeus seria de, no máximo, € 0,2 bilhão por ano. No entanto, os custos de processamento para atender às especificações locais de qualidade do gás, garantindo que os aparelhos funcionem com segurança foi estimado em € 11 bilhões. Em alternativa, a substituição de aparelhos a gás custaria cerca de € 179 bilhões (DENTON; PöYRY, 2012).

Em relação ao setor de energia, de acordo com estudo disponibilizado pela *European Environment Agency* (EEA, 2020), as alterações na composição dos gases trouxeram ganhos ambientais. Entre 2004 a 2020, houve uma queda de 68% nas emissões de NO_x do setor elétrico, uma das principais fontes de emissão de NO_x na UE. Essa queda teria ocorrido graças à introdução de tecnologias de modificação da combustão (uso de queimadores de baixo teor de NO_x), à implementação técnica de gases de combustão (purificadores de NO_x e técnicas de redução catalítica e não catalítica seletiva - SCR e SNCR) e à troca de combustível de carvão por gás, que emite uma quantidade menor de NO_x por unidade de energia.

Adentrando no escopo da Alemanha, de acordo com o *International Energy Agency* (IEA, 2020), o gás natural é a segunda maior fonte de energia do país, sendo responsável por cerca de 25% da oferta total de energia primária e 13% da geração total de eletricidade, em 2018. Em relação ao ano anterior, o país apresentou um aumento do consumo de gás natural, principalmente no setor residencial, industrial e geração de calor e energia. Em relação ao transporte, o uso do gás ainda é pequeno, com cerca de 0,2% do total produzido (IEA, 2020). As eliminações planejadas da energia nuclear e do carvão foram alguns dos responsáveis pelo aumento da demanda por gás natural. Em relação a oferta, a Alemanha possui produção doméstica de gás natural que vem apresentando queda na última década. Para cobrir essa diminuição da produção nacional e o aumento da demanda, o país depende de importações principalmente da Federação Russa (57%) e da Holanda (34%). Entre 2014 e 2017, as importações líquidas aumentaram cerca de 31% (IEA, 2020).

Os diferentes setores de mercado possuem diferentes estruturas e as flutuações na qualidade do gás afetam esses mercados de maneira diferente. O setor residencial é constituído por um grande número de pequenos eletrodomésticos. Já o número de instalações no setor industrial é de magnitude menor do que no setor residencial, mas de consumo maior. Assim, os setores industrial e residencial representam aproximadamente a mesma participação no consumo de gás alemão e europeu. A geração

de energia a gás em turbinas e motores também desempenha um papel importante, embora na Alemanha menos do que na Europa como um todo (LEICHER et al., 2017).

Se compararmos os eletrodomésticos, os requisitos para equipamentos industriais a gás tendem a ser muito mais exigentes em relação à eficiência, estabilidade do processo e emissões de poluentes. A qualidade e a segurança do produto são de suma importância para a operação desse tipo de equipamento. Isso levou a um grau muito maior de especialização, diversidade e otimização no setor industrial.

É de se esperar que, dada a ampla gama de tecnologias especializadas e otimizadas encontradas nas várias aplicações industriais a gás, alguns sistemas sejam mais suscetíveis a flutuações nas qualidades e composições do gás do que outros. Os trabalhos desenvolvidos por Krause et al. (2014) e Leicher (2015), indicam que há uma série de processos industriais, especialmente na fabricação de vidro, cerâmica e metais, que podem ser significativamente afetados pelas flutuações locais da qualidade do gás, enquanto outros devem ser mais resilientes. Há também preocupações de que a variação de composições de gás possa ter impactos negativos em equipamentos como turbinas a gás e motores no setor de usinas de energia.

Em relação ao mercado de eletrodomésticos, Zhao, McDonell e Samuelson (2022) argumentam que majoritariamente, as transições energéticas na história da humanidade foram iniciadas no setor residencial. Esta transição energética residencial ou é forçada pelo preço mais elevado dos tradicionais combustíveis ou como resultado de novas necessidades.

Por fim, em termos de regulação, a nível federal, sob a Lei da Indústria de Energia de 2005, os mercados de eletricidade e gás são regulados pela *Federal Network Agency (Bundesnetzagentur)*. A principal responsabilidade da agência é garantir uma concorrência justa e efetiva no fornecimento de gás e eletricidade, inclusive estabelecendo acesso não discriminatório de terceiros às redes e monitorando os preços. A instituição é responsável por supervisionar as operadoras de rede. As redes que não são cobertas pela organização estão sob a jurisdição regulatória dos estados (*Länder*) (BUNDESNETZAGENTUR, 2019). Além disso, uma vez declarado o nível de emergência, o *Bundesnetzagentur* torna-se o responsável federal pela organização e distribuição de gás para cobrir as necessidades vitais de consumo de energia (BUNDESNETZAGENTUR, 2019). O Ministério Federal de Assuntos Econômicos e Energia (BMW) também é a agência líder com respeito à segurança do gás natural e possui autoridade para intervir em situações em que as medidas padrão, baseadas no mercado, são insuficientes. É responsável pela coordenação e implementação de medidas de resposta à emergências a nível nacional e da União Europeia (UE).

4. Países Baixos

Os Países Baixos são considerados um dos principais produtores de gás natural da Europa graças ao campo de *Groningen* que, em 2019, possuía uma reserva estimada em 2800 bcm, exportando o gás para Alemanha, França e Bélgica (IEA, 2020). Atualmente, o gás natural holandês é a principal fonte de energia para aquecimento de casas, edifícios e estufas desse país. No entanto, acredita-se que a produção diminuirá ao longo dos anos devido ao lento esgotamento dos chamados pequenos campos de gás e, conseqüentemente, do campo de *Groningen* (ou *Slochteren* em neerlandês). A necessidade de fornecimento de energia mais sustentável também gera uma pressão sobre a política energética do país para a redução do uso do gás natural no sistema de energia (IEA, 2020).

De acordo com o Cleijne et al. (2020), a extração de gás no Mar do Norte da Holanda deverá diminuir substancialmente entre 2030 e 2050. Até 2030, prevê-se que 387 PJ (Joule) de gás natural sejam extraídos por ano. Existe um amplo consenso de que a extração de gás diminuirá significativamente, até que um nível previsto de 0-31 PJ por ano seja alcançado em 2050. Essa tendência depende das condições de mercado, com grandes produtores como Rússia e Noruega exercendo controle considerável sobre os preços do gás.

Segundo o relatório do *Ministry of Economics Affairs, Agriculture and Innovation*, publicado em 2012 (Ministry of Economics Affairs, Agriculture and Innovations, 2012), a Holanda, como país exportador de gás, estaria acostumada ao gás natural com uma composição muito constante. A Holanda possui duas redes de gás diferentes: a rede de gás de baixo e alto poder calorífico. O campo de gás *Slochteren* produz um gás natural de baixo poder calorífico que é distribuído e utilizado por quase todas as residências e cerca de 80% da indústria. Grandes consumidores de gás industrial estão conectados ao gás de alto poder calorífico que é produzido por campos de gás *offshore*. Devido à crescente quantidade de importações de diferentes fontes de gás, GNL e produção de biogás, espera-se uma maior flutuação da composição nas redes de gás de alto e baixo poder calorífico. Para garantir a transição efetiva para as futuras qualidades de gás, o ministério iniciou um grupo de projeto chamado '*Projectbureau Nieuw Aardgas*'. Este grupo de projeto procurou apoiar a transição para um sistema mais flexível.

O processo de transição entre o gás de baixo para alto poder calorífico (G-gas para o H-gas) fez com que algumas empresas enfrentassem repetidamente problemas devido às flutuações máximas, sofrendo paradas repentinas com danos conseqüentes associados (falha de produção). Algumas outras empresas apresentaram problemas específicos com as instalações devido a grandes variações no poder calorífico do gás natural. Segundo o relatório Ministry of Economics Affairs (2013), os fabricantes de gases industriais enfrentaram problemas com as especificações de seus produtos. Devido a isso, precisaram compensar não operando em plena capacidade, deixando mais graus de liberdade para gerenciar a qualidade do produto, levando a uma perda de volume de negócios.

Segundo Abbott, Bowers e James (2012), a mudança rápida do gás H-gas gerou um aumento da insegurança entre os consumidores finais, não somente devido às incertezas associadas à falta de experiência ou conhecimento sobre os efeitos do novo gás, mas também porque as autoridades neerlandesas não proporcionaram qualquer garantia sobre o tamanho da banda operacional a longo prazo e sobre a velocidade das mudanças de qualidade que ocorreriam no curto prazo.

Em relação à previsível diminuição na produção de gás natural, o governo holandês realizou algumas medidas com o intuito de diminuir os impactos, dentre essas medidas destaca-se: investimentos em infraestruturas reguladas, adaptações da Lei do Gás para possibilitar a participação em investimentos transfronteiriços, além de permitir a privatização minoritária da rede, com o intuito de atrair novo capital e diplomacia econômica (Ministry of Economic Affairs, Agriculture and Innovations, 2012).

Em 2010, o governo holandês lançou o projeto qualidade do gás para o futuro que culminou em um relatório desenvolvido por três empresas contratadas. Os resultados demonstraram que, a melhor opção para o longo prazo seria realizar mudanças no final da cadeia, adaptando os equipamentos dos consumidores através de uma transição gradual. Foi estabelecido que a mudança ocorreria até 2021, para que os consumidores trocassem seus equipamentos de maneira gradual e orgânica (CNI, 2019).

Um desses estudos, desenvolvido pela empresa de consultoria Kema-Kiwa (KEMA-KIWA, 2010), concluiu que, a princípio, a legislação vigente no que diz respeito à qualidade do gás distribuído após a mudança seria insuficiente e precisaria ser estendida com parâmetros de aplicação, não apenas no interesse da operação dos equipamentos dos usuários finais, mas também para evitar que os produtores de gás forneçam gases com vários componentes indesejáveis (como hidrocarbonetos superiores - PE), aromáticos e componentes inertes). Enquanto as limitações desses componentes não forem especificadas legalmente, os gases “sujos” podem cumprir os limites da especificação legal atual, mas podem ser prejudiciais ao interesse dos consumidores finais.

Em relação à harmonização do gás da Holanda com a União Europeia, o Denton e Pöyry (2012) considera que o impacto total seria limitado no país. Segundo o relatório, um operador de usinas de amônia na Holanda estimou o custo das modificações para operar com uma faixa de qualidade de gás mais ampla no futuro. O Capex foi estimado em € 20 milhões a € 30 milhões com perdas anuais de eficiência equivalentes a € 7 milhões a € 10 milhões.

Riemersma, Correljé e Künneke (2020), identificaram preocupações com a segurança no setor de gás holandês resultante das mudanças técnicas e institucionais em andamento no setor. Entre tendências de descentralização e uma crescente variedade de produtores de gás, as preocupações mais urgentes dizem respeito à operação das redes de distribuição de baixa e média pressão. Para os autores, os riscos de segurança relacionados à qualidade do gás não padronizada induzem uma produção reduzida de G-gas, combinada com uma presença crescente de alternativas, tanto naturais quanto renováveis, com características diferentes. Embora o transporte e a combustão seguros desses substitutos sejam relativamente simples, as características técnicas e institucionais do setor de gás atuais impedem uma transição rápida e segura. Afinal, mesmo que grande parte da infraestrutura seja

adequada para o transporte de gases alternativos, a combustão segura depende de sua compatibilidade com aparelhos e instalações.

Outro fator de risco pontuado por Riemersma, Correljé e Künneke (2020) está relacionado à regulamentação e supervisão cada vez mais fragmentadas da segurança e qualidade do gás, bem como a futura supervisão e manutenção da rede. A descentralização do controle da segurança doméstica estaria andando de mãos dadas com uma maior dependência de instrumentos de mercado e verificações voluntárias de qualidade.

Em relação à demanda interna de gás natural, de acordo com os dados de 2018, o setor de eletricidade foi responsável por 30% da demanda total do país. No mesmo ano, o setor industrial foi o segundo maior consumidor, com 24% da demanda total. Dentro do setor industrial, destaca-se a indústria química e petroquímica, representando a maior parcela da demanda (59%), seguido pela indústria de processamento de alimentos (18%). A demanda de gás natural no setor agrícola (separada de processamento de alimentos) representaram 7% da demanda total. Por fim, o setor residencial representou 22% da demanda total de gás em 2018 (IEA, 2020).

5. México

Para promover o desenvolvimento do mercado de gás natural se faz necessário garantir a homogeneidade do produto transportado entre os dutos e o atendimento das especificações. No México, a *Norma Oficial Mexicana de Especificaciones del gas natural* (NOM-001-SECRE-2010) estabelece as especificações que devem ser atendidas pelo gás natural manuseado nos sistemas de transporte, armazenamento e distribuição de gás natural, a fim de preservar a segurança das pessoas, o meio ambiente e as instalações de licença titulares e usuários.

Diante propostas para modificar as especificações da norma NOM-001-SECRE-2010, o *Instituto Mexicano del Petróleo* desenvolveu um Informe Técnico, IMP (2018), procurando analisar os diferentes parâmetros que determinam a qualidade do gás no México, além dos efeitos, tendências e consequências diante da variação de um parâmetro específico. Trata-se do estudo mais recente e relevante encontrado disponível para consulta e por tanto, toda essa seção será baseada nos seus resultados.

Segundo o Informe Técnico, os parâmetros mais importantes são o Índice de Wobbe, o poder calorífico para equipamentos industriais, enquanto para motores de combustão interna seria a concentração de metano. No entanto, vale destacar que dada a diversidade e elevado grau de otimização na utilização industrial do gás natural, nem sempre é fácil prever como uma aplicação específica responderá às alterações na qualidade do gás (IMP, 2018).

Os impactos decorrentes da variação na composição do gás natural dependem da tecnologia de combustão utilizada nos diferentes equipamentos. Os processos de combustão, seja em sistemas industriais, comerciais ou domésticos, são “ajustados” e otimizados para tipos ou composições específicas de combustível. Alterações no poder calorífico e no Índice de Wobbe afetam a potência e/ou a relação ar/combustível do processo de combustão. Se um queimador for alimentado com um gás com número de Wobbe superior ao número para o qual foi projetado, pode resultar em perda de eficiência de combustão, pois ocorrerá combustão incompleta devido à falta de oxigênio (IMP, 2018).

Por outro lado, se um queimador for alimentado com um gás com um número de Wobbe mais baixo, isso pode resultar em alterações nos níveis de emissão de poluentes, pois o nível de excesso de ar aumenta substancialmente. Além da perda de eficiência, uma vez que haveria aumento no nível de oxigênio. O aumento descontrolado do Índice de Wobbe pode causar diminuição da vida útil e confiabilidade das turbinas de combustão, bem como diminuição do desempenho das caldeiras, e danos aos trocadores de calor por depósitos de fuligem (IMP, 2018).

Existem alguns processos industriais que são mais sensíveis a mudança para um Índice de Wobbe mais alto, são eles: produção de vidro float, produção de fibra de vidro, fornos com atmosferas controladas, processos cerâmicos e vidrados ou porcelânicos e processos têxteis de chama direta. As indústrias mais afetadas por variações entre 3% e 10% no poder calorífico ou Índice de Wobbe

seriam as de plásticos, fundição de vidro, fornos de cal, fornos de porcelana e tratamentos térmicos. Já variações entre 5% e 10% afetam em menor grau caldeias aquatubulares e fornos de fundição de metais não ferrosos, reaquecimento de metais, polimento e refino de vidro e queima de tijolos (IMP, 2018).

O Informe Técnico realizou ainda um estudo custo-benefício com base nas propostas de modificação das especificações da NOM-001, avaliando o impacto esperado na indústria em nível nacional. A partir da comparação dos resultados dos quatro cenários analisados, que seguem na tabela da Figura 7.1, pode-se deduzir que o Cenário Alternativo 3, que consiste na instalação de duas usinas de Unidades de Remoção de Nitrogênio (NRU), é o de maior relação custo-benefício (IMP, 2018).

Figura 5.1: Resumo comparativo dos cenários avaliados pelo Informe Técnico IMP (2018)

	Cenário básico	Cenário alternativo 1	Cenário alternativo 2	Cenário alternativo 3
Conceito	Produção de gás natural com 15,52% de Nitrogênio	Importação via gasoduto TexasTuxpan	Importação de Port Arthur Texas via FRSU em Pajaritos	Instalação de duas usinas NRU para condicionar o gás a 6% N2
Valor presente dos custos (MMUSD)	8.525	7.294	7.638	6.687
Valor presente dos benefícios (MMUSD)	6.429	6.765	6.765	6.765
Custo/Benefício	0,75	0,93	0,89	1,01

Nota: MMUSD = multi-million US dollars.

Fonte: traduzido e adaptado de IMP (2018)

A partir da análise das tabelas de benefícios do Cenário Base e do Cenário Alternativo 3, verifica-se que os consumidores perdem anualmente 26,3 MMUSD no caso do setor elétrico e 15,9 MMUSD para o setor industrial, para o qual o ganho de 2,8 MMUSD por ano é insuficiente. Essas perdas superam os custos de instalação da usina NRU, evidenciado pelo fato de a relação custo-benefício do Cenário Alternativo 3 ($B/C=1,01$) ser superior à do Cenário Base ($B/C=0,75$). Para condicionar o gás natural com teor de nitrogênio de 15,52%, o NRU requer um investimento de 336 MMUSD e custos operacionais anuais de 38 MMUSD, após o que se obteria gás natural com teor de nitrogênio de 6% (IMP, 2018).

Figura 5.2: Resumo da análise de benefícios para o Cenário Alternativo 3 do Informe Técnico IMP (2018)

	Cenário básico	Cenário alternativo 3	
Conceito (MMUSD/ano)	Produção de gás natural com 15,52% de Nitrogênio	Instalação de duas usinas NRU para condicionar o gás a 6% N2	Benefício do condicionamento de gás natural
Valor da energia - Setor elétrico	478,5	504,9	26,3
Valor do vapor - Setor Industrial	273,8	289,7	15,9

Nota: MMUSD = multi-million US dollars.

Fonte: traduzido e adaptado de IMP (2018).

6. Estados Unidos

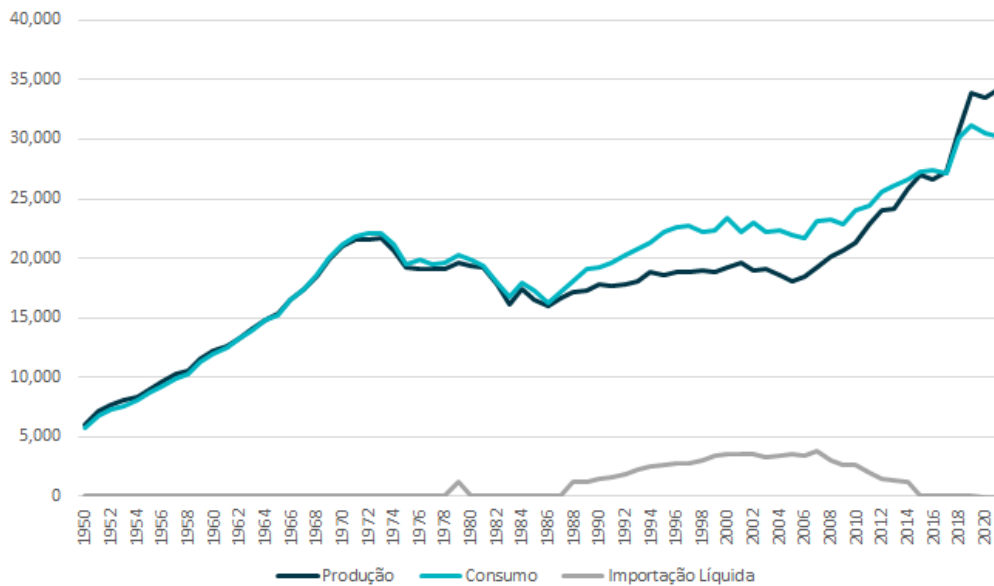
Os Estados Unidos apresentam um caso onde a indústria de gás não possui uma regulação padrão de especificação da composição do gás natural (CNI, 2019). Essa ausência encontra-se associada ao formato de funcionamento atual da indústria de gás natural no país e sua evolução histórica marcada pelo processo de desregulação do setor (LEITZINGER; COLLETTE, 2002).

CNI (2019) indica que a composição do gás natural é definida no contrato de distribuição firmado diretamente ou indiretamente entre as empresas transportadoras e os demandantes, ficando ao encargo dos últimos operar com essa especificação de gás contratada. Nesse sentido, a definição da composição do gás natural utilizada por cada fornecedor é definido com autorização da *Federal Energy Regulatory Commission*, entidade regulatória de energia no país, que analisa cada caso individualmente em processo de consulta pública para aprovar, ou não, alterações na composição do gás natural.

A publicação CNI (2019) também aponta que o debate sobre a especificação da composição do gás natural nos Estados Unidos se inicia no começo dos 2000 motivada pelo aumento das importações de gás natural liquefeito que possuía um poder calorífico maior e uma composição diferente que a maior parte do gás natural produzido na época. Nesse sentido, Foss (2004) indica que apesar do gás natural liquefeito apresentar características atrativas em relação ao gás natural transmitido nos gasodutos, sua capacidade calorífica superior e uso conjunto com outros gases pode gerar problemas para os consumidores, necessitando assim de uma padronização dos parâmetros para garantir a segurança no uso de gás natural e promover a eficiência econômica.

Mais recentemente, avanços ocorridos no final dos anos 1990 ligando as técnicas de perfuração horizontal com o fraturamento hidráulico possibilitaram a perfuração em terrenos *shale* a custos menores (Joint Institute for Strategic Energy Analysis, 2012) tornando financeiramente viável a extração de gás natural nesses locais. Esse avanço tecnológico possibilitou ainda um aumento considerável da produção do bem, passando da marca de 19 trilhões de pés cúbicos em 2000 para 34 trilhões de pés cúbicos de gás natural produzidos em 2021, e diminuindo a participação das importações desse bem no consumo total de gás natural do país conforme é indicado na Figura 6.1. A maior disponibilidade de gás no mercado e a conseqüente diminuição do preço do bem motivou um interesse por parte dos produtores em flexibilizar a composição do gás natural (CNI, 2019).

Figura 6.1: Produção, consumo e importação líquida de gás natural nos Estados Unidos em milhões de pés cúbicos (1950-2021)



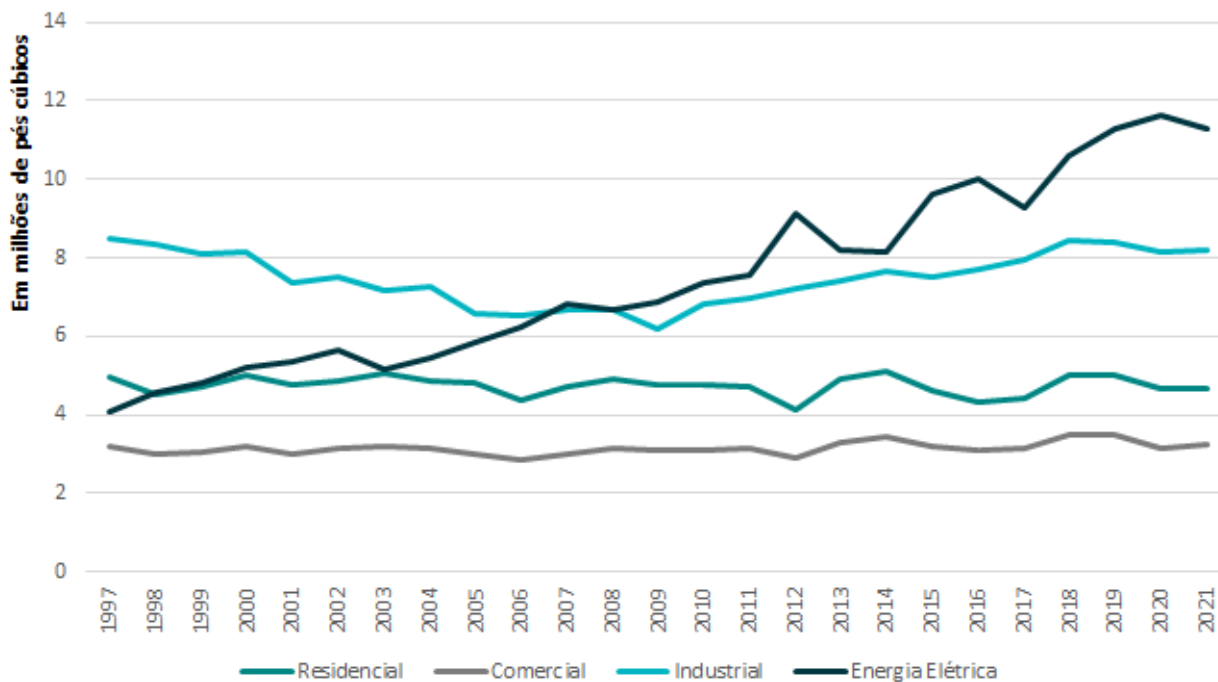
Fonte: adaptado de US Energy Information Administration (2022c).

A partir desse movimento foi estabelecido um grupo de estudos composto por membros da indústria de gás natural com o objetivo de propor parâmetros para a intercambialidade de uso de diferentes tipos de gás natural. Os parâmetros sugeridos nesse estudo foram a variação de até 4% do Índice de Wobber a partir do valor histórico médio ou valor objetivado e a determinação de limites volumétricos máximos de presença de diferentes carbonetos (butanos em 1,5% molar e inertes em 4% molar) (NGC+ Interchangeability Work Group, 2005).

Apesar desses valores de referência não terem sido adotados pelo *Federal Energy Regulatory Commission*, o *Federal Energy Regulatory Commission* utiliza esses parâmetros para avaliar alterações na composição do gás de cada transportador operante no país (CNI, 2019). Essa avaliação é realizada em um processo de consulta pública onde partes interessadas podem se manifestar sobre a alteração proposta, resultando assim no atual sistema de regulação da composição do gás natural no país.

O'Neil, Hopkins e Gressley (2016) indica a existência de cinco tipos de consumidores de gás natural nos Estados Unidos: consumidores industriais, residenciais, veículos, comerciais e energia elétrica. A evolução do consumo de gás natural por tipo de consumidor é apresentada na Figura 6.2.

Figura 6.2: Consumo de gás natural nos Estados Unidos por tipo de uso em milhões de pés cúbicos (1997-2021)



Nota: categoria "Veículos" omitida em razão da baixa participação no consumo total de gás natural.

Fonte: adaptado de US Energy Information Administration (2022b).

Dentre os segmentos de consumidores finais de gás natural apresentados na Figura 6.2 é importante analisar o contexto dos setores de geração de energia elétrica e consumo industrial devido a sua participação elevado no consumo de gás natural nos Estados Unidos.

Atentando-se inicialmente ao contexto do consumo industrial de gás natural nos Estados Unidos, a Figura 6.2 indica que essa classe de consumidor final foi a segundo maior demandante de gás natural no período de 2007 a 2021. Em 2021, o consumo industrial de gás natural equivaleu a aproximadamente 30% do consumo total do bem nos Estados Unidos.

Arano e Blair (2008) indicam que o gás natural é utilizado na indústria como insumo produtivo direto para a fabricação de plásticos, fertilizantes e tecidos. O'Neil, Hopkins e Gressley (2016) indicam também que o gás natural é utilizado como combustível na produção industrial em processos que envolvam secagem, derretimento, aquecimento, resfriamento e refrigeração. Outros usos em estabelecimentos industriais incluem ainda ventilação e aquecimento de ambientes e produção de eletricidade e vapor (O'NEIL; HOPKINS; GRESSLEY, 2016).

Sobre o uso de gás natural no setor industrial, O'Neil, Hopkins e Gressley (2016) aponta ainda que o aumento da oferta de gás natural gerou uma vantagem competitiva para o desenvolvimento das indústrias de manufatura. Esse estudo também indica que o aumento da oferta de gás natural, especialmente quando transportado e disponibilizado a preços baixos para o consumidor final, aumenta a competitividade e a atração de investimentos para as economias regionais e locais. O'Neil, Hopkins

e Gressley (2016) apontam também que os setores de alimentos, cimento, madeira, papel, produtos químicos e produção e transformação de metais são os maiores beneficiários desse aumento de oferta e diminuição de preços em razão de serem os setores mais intensivos no uso de gás natural na produção e por requirirem grandes volumes do bem para o funcionamento dessas indústrias.

Além das aplicações industriais, o gás natural é utilizado ainda como combustível para a produção de energia elétrica e, desde 2004, vem aumentando sua participação na demanda total de gás natural no país (O'NEIL; HOPKINS; GRESSLEY, 2016). Nesse sentido, a Figura 6.2 indica ainda que o setor elétrico foi o segmento de consumidor final que demandou maior volume de gás natural sendo responsável por aproximadamente 41% do consumo final do bem em 2021.

Esse aumento da demanda por gás natural no setor elétrico é importante ainda devido a alteração da matriz energética do país. Lafrancois (2012), analisando o padrão de investimentos de capital do setor de geração de energia elétrica e sua influência sobre a emissões de gases de efeito estufa nos Estados Unidos entre 1998 e 2005, indica que o setor elétrico é o setor que apresenta maior contribuição para emissão de gases de efeito estufa nos Estados Unidos. Segundo o autor, essa elevada participação do setor energético na emissão de gases poluentes ocorria em razão da dependência desse setor do uso de combustíveis fósseis, em particular da combustão de carvão.

Lafrancois (2012) indicam que no período de 1998 a 2005 houveram investimentos consideráveis para a construção de usinas elétricas alimentadas por gás natural, gerando assim um aumento da capacidade de produção de energia elétrica a partir desse combustível. No entanto, Lafrancois (2012) aponta também que essa capacidade instalada excedente não foi utilizada para a geração de energia, havendo preferência pelo uso de tecnologias baseadas na combustão de carvão.

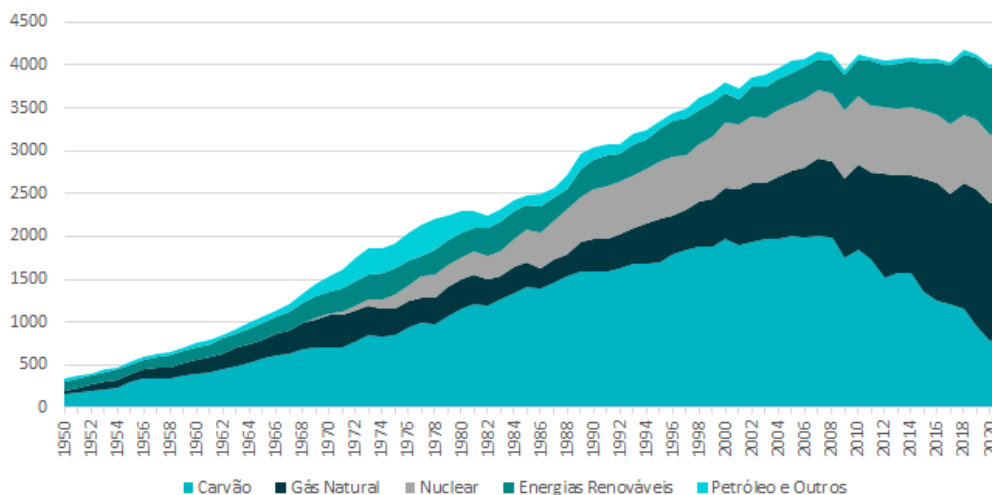
Nesse sentido, Lafrancois (2012) relata que a substituição do combustível utilizado nas usinas para geração de energia para gás natural, uma alternativa menos poluente em comparação ao carvão, pode reduzir drasticamente a emissão de gases estufa produzidos pelo setor. De acordo com o estudo, essa redução pode chegar a 59% a emissão de gás carbônico para cada gigawatt de eletricidade produzido por ano a depender do nível de utilização da capacidade ociosa de usinas alimentadas por gás natural.

A Figura 6.3 apresenta a geração de eletricidade nos Estados Unidos por fonte energética. Essa figura sugere a existência de um movimento no sentido dessa transição pelo aumento da participação do uso de gás natural e diminuição do uso de carvão na geração elétrica nos Estados Unidos. Nesse sentido, apesar do também crescimento da utilização de outras fontes de energia com menor impacto ambiental como é o caso das energias renováveis retratadas na Figura 6.3, MIT Energy Initiative (2011) indica que o gás natural ainda possuirá um papel central na geração de energia elétrica futura dos Estados Unidos.

Diferentemente das usinas elétricas a base de gás natural que operam sob demanda, MIT Energy Initiative (2011) aponta que as usinas de geração de energia a partir de fontes renováveis operam de forma intermitente de forma que a produção de energia encontra-se atrelada fatores externos. MIT

Energy Initiative (2011) relata ainda que as tecnologias atuais de produção de energia renovável não apresentam solução economicamente viável para armazenamento em grandes escalas dessa produção. Dessa forma, considerando essa atual inexistência de tecnologias que possibilitem o armazenamento eficiente de energias renováveis, MIT Energy Initiative (2011) sinalizam que o gás natural ainda será utilizado para abastecimento de energia elétrica em situações excesso de demanda energética por ser uma alternativa de menor impacto ambiental em relação aos demais combustíveis fósseis.

Figura 6.3: Geração de energia elétrica nos Estados Unidos em bilhões de kWh (1950-2021)



Fonte: Adaptado de US Energy Information Administration (2022a).

7. Argentina

Diferentemente dos demais países analisados até então, a Argentina é um país que apresenta uma maior escassez de informações relacionadas ao objetivo de descrever a regulação do gás natural e seus efeitos no mercado da *commodity* no país. A configuração atual da indústria de gás natural na Argentina tem suas origens em modificações iniciadas em 1989 que sucederam-se em um processo de reorganização da cadeia produtiva de gás natural e modificação do ambiente regulatório vigente para governança desse setor.

A regulação sobre a qualidade do gás natural na Argentina encontra-se atrelado a criação da agência regulatória atualmente responsável por definir as especificações técnicas adequadas do bem: o *Ente Nacional Regulador del Gas (ENARGAS)*.

Até 1992, a indústria de gás natural na Argentina era dominada por duas empresas estatais. A *Yacimientos Petrolíferos Fiscales* era a principal companhia responsável por produzir gás natural e petróleo para abastecimento do país desde a descoberta de petróleo na *Comodoro Rivadavia* em 1907 (MACIEL, 1992) sendo responsável por cerca de 60% das vendas de gás natural (BONDOREVSKY; PETRECOLLA, 2004). A *Gas del Estado* era a única empresa habilitada a operar as etapas de transporte, distribuição e marketing do bem no país e comprava 90% do gás natural transportado da *Yacimientos Petrolíferos Fiscales* (BONDOREVSKY; PETRECOLLA, 2004).

A transição ocorre com o início do processo de privatização da *Yacimientos Petrolíferos Fiscales* em 1989 e da *Gas del Estado* em 1992 e a subsequente reorganização da cadeia produtiva do gás natural no país. Essa reorganização ocorreu mediante um processo de desintegração vertical pela separação formal da cadeia produtiva em quatro segmentos: produção, transporte de longa distância, distribuição regional e local e comercialização (PONZO et al., 2011).

Os setores de produção e comercialização foram reorganizados de forma a possibilitar a livre entrada e saída de agentes nessas atividades por serem setores potencialmente competitivos (ARTANA; NAVAJAS; URBIZTONDO, 2001). Os setores de transporte de longas distâncias e distribuição regional e local foram reorganizados em regimes de monopólios regionais operados por meio de concessões para companhias privadas (MACIEL, 1992). Segundo Rossi (2001), essas mudanças foram capazes de realizar um dos objetivos propostos para essa mudança de aumentar a eficiência do setor por meio do acréscimo da capacidade de atendimento.

Nessa modificação da estrutura da indústria de gás natural na Argentina foi instituído um novo marco regulatório para a indústria de gás natural criando assim uma diretriz de orientações quanto ao transporte, armazenamento e uso adequado de gás natural no país (SERRANI, 2020). Nesse processo também foi criada uma agência regulatória governamental para regular as tarifas e parâmetros de qualidade do setor, a ENARGAS.

A ENARGAS é entidade responsável por definir a especificação da qualidade do gás natural na Argentina. A regulação vigente determinando a especificação de qualidade do gás natural na Argentina é a Norma 602 de 2019 da ENARGAS (ENARGAS, 2019). Essa especificação segue o mesmo padrão padrão técnico definido anteriormente nas Resoluções ENARGAS N° 259 de 2008 (ENARGAS, 2008) e N° 622 de 1998 (ENARGAS, 1998).

Uma única modificação em relação aos valores de referência atuais foi identificado em relação à Resolução N° 500 de 1997 da ENARGAS (ENARGAS, 1997) pelo decréscimo de 0,5% molar de dióxido de carbono (de 2,5 % molar em 1997 para 2% molar de 1998 em diante) e total de inertes (de 4,5 % molar em 1997 para 4% molar de 1998 em diante). Os parâmetros de especificação de qualidade do gás natural e seus valores de referência atuais são apresentados na Tabela 7.1.

Tabela 7.1: Especificação de qualidade do gás natural na Argentina

Parâmetro de Qualidade	Unidade	Valor de Referência
Dióxido de Carbono (CO ₂)	% molar	2
Total de Inertes (CO ₂ + N ₂)	% molar	4
Oxigênio	% molar	0,2
Vapor de Água (H ₂ O)	mg/m ³	65
Sulfato de Hidrogênio (SH ₂)	mg/m ³	3
Enxofre Integral	mg/m ³	15
Ponto de orvalho do hidrocarboneto (PRHC)	°C	-4°C a 5500 kPa abs
Poder Calorífico Superior (PCS)	kcal/m ³	8850 - 10200
Índice de Wobbe	kcal/m ³	11300 - 12470
Temperatura Máxima	°C	50

Fonte: Adaptado de ENARGAS (2019).

8. Considerações Finais

Esse estudo de *benchmarking* procurou descrever o funcionamento da indústria de gás natural, a regulação do setor e as potenciais implicações das alterações nas especificações de gás natural em países selecionados, a saber: Alemanha, Países Baixos, México, Estados Unidos e Argentina. Para tal, realizou-se um estudo de caso descritivo através de uma extensa busca na literatura relevante e análise de documentos oficiais e de organizações privadas.

Na Alemanha, país membro da União Europeia, a norma de padronização do gás natural em vigor (EN 16726: 2015) não define por completo a segurança no uso do gás, devido à falta de especificação do Índice de Wobbe que é utilizado para realizar análises da intercambialidade de gases em diferentes países. De acordo com Denton e Pöyry (2012), um menor impacto imediato é esperado quando a especificação do gás natural é ampla. Krause et al. (2014) e Leicher (2015), indicam que há uma série de processos industriais, especialmente na fabricação de vidro, cerâmica e metais, que podem ser significativamente afetados pelas flutuações locais da qualidade do gás, enquanto outros devem ser mais resilientes. Há também preocupações de que as variações de composições de gás possam ter impactos negativos em equipamentos como turbinas a gás e motores no setor de usinas de energia.

Nos Países Baixos, o processo de transição entre o gás de baixo para alto poder calorífico (G-gas para o H-gas) fez com que algumas empresas enfrentassem repetidamente problemas devido às flutuações máximas, sofrendo paradas repentinas com danos consequentes associados (falha de produção). Algumas outras empresas apresentaram problemas específicos com as instalações devido a grandes variações no poder calorífico do gás natural. Segundo o relatório Ministry of Economic Affairs (2013), os fabricantes de gases industriais enfrentaram problemas com as especificações de seus produtos. Devido a isso, precisaram compensar não operando em plena capacidade, levando a uma perda de volume de negócios. Além disso, a mudança rápida do H-gas gerou um aumento da insegurança entre os consumidores finais, devido às incertezas não somente pela falta de experiência ou conhecimento sobre os efeitos do novo gás, mas também porque as autoridades neerlandesas não proporcionaram qualquer garantia sobre o tamanho da banda operacional a longo prazo e a velocidade das mudanças de qualidade que ocorreriam no curto prazo (ABBOTT; BOWERS; JAMES, 2012).

Já no México, um estudo de custo-benefício com base nas propostas de modificação das especificações do gás natural atuais, avaliou o impacto esperado na indústria em nível nacional. A partir dos resultados foi inferido que a instalação de duas usinas de Unidades de Remoção de Nitrogênio (NRU) possui a melhor relação custo-benefício, se comparada com o cenário da resolução atual. No entanto, os consumidores perdem anualmente 26,3 MMUSD (*multi-million US dollars*) no caso do setor elétrico e 15,9 MMUSD para o setor industrial, para o qual o ganho de 2,8 MMUSD por ano

seria insuficiente. Além disso, existiriam alguns processos industriais mais sensíveis a mudanças para um Índice de Wobbe mais alto, como: produção de vidro *float*, produção de fibra de vidro, fornos com atmosferas controladas, processos cerâmicos e vidrados ou porcelânicos e processos têxteis de chama direta (IMP, 2018).

Dentre os países selecionados, os Estados Unidos apresentam um caso onde a indústria de gás não possui uma regulação padrão de especificação da composição gás natural (CNI, 2019). Essa ausência encontra-se associada ao formato de funcionamento atual da indústria de gás natural no país e sua evolução histórica marcada pelo processo de desregulação do setor (LEITZINGER; COLLETTE, 2002). A composição do gás natural no país é definida no contrato de distribuição firmado diretamente ou indiretamente entre as empresas transportadoras e os demandantes, ficando ao encargo dos últimos operar com essa especificação de gás contratada (CNI, 2019).

Na Argentina, uma única modificação em relação aos valores na especificação do gás natural foi identificada em relação à Resolução N° 500 de 1997 da ENARGAS pelo decréscimo de 0,5% molar de dióxido de carbono (de 2,5% molar em 1997 para 2% molar a partir de 1998) e inertes (de 4,5% molar em 1997 para 4% molar de 1998 em diante). Não é possível ignorar que essa modificação possa ter gerado consequências para os processos de transporte, distribuição e consumo de gás. No entanto, não foram encontradas durante a pesquisa implicações a respeito dessa alteração.

A Tabela 8.1 apresenta algumas comparações que podem ser feitas quanto ao uso e aspectos de regulação do gás natural em cada um dos países analisados. Dois aspectos importantes observados a partir da Tabela 8.1 dizem respeito a notação dos principais consumidores finais de gás natural e a existência de um padrão de regulação nacional. Em todos os casos reportados na Tabela 8.1 há a presença do setor industrial como principal demandante de gás natural em todos os países analisados. Dentre os países analisados é observado ainda que Estados Unidos e Alemanha não adotam um padrão nacional de regulação para a composição do gás natural.

A partir do levantamento realizado para esses países selecionados algumas conclusões podem ser traçadas. O Índice de Wobbe seria considerado o parâmetro mais importante de intercambialidade para equipamentos industriais, enquanto para motores de combustão interna seria o número de metano¹. Os problemas de combustão são mais acentuados no caso de utilização de um gás com alto Índice de Wobbe em equipamentos com configuração de gás pobre. Essa combustão exigiria uma quantidade de ar maior do que a definida para ser completa. Além disso, um aspecto importante a ser considerado é o efeito da altitude na combustão, pois como há menor teor de oxigênio, a combustão não é completa. Considera-se em várias regiões que o Índice de Wobbe é a especificação mínima de intercambialidade que deve ser implementada para um controle básico de intercambialidade e que complementa as especificações de qualidade do gás² (IMP, 2018).

Por fim, dada a diversidade e o alto grau de otimização no uso industrial do gás natural, nem

¹No Anexo 1 encontra-se um resumo dos métodos de medição da qualidade do gás natural em 36 países.

²No Anexo 2 encontra-se a comparação das especificações do gás natural em 54 países.

Figura 8.1: Comparação de aspectos, padrões regulatórios e demanda de gás natural dos países selecionados

País	Índice de Wobber almejado pelos reguladores	Medição da qualidade: poder calorífico	Adota um padrão de regulação nacional	Principal utilização (transporte, indústria, residencial, fonte energética, etc.)
Estados Unidos	NA	ASTMD - 3588/GPA 2172	Não	Energia elétrica e indústria
Alemanha	43.62 - 53.46 MJ/m ³	G 260	Não	Residencial e industrial
Países Baixos	41.23 - 42.13 MJ/m ³	ISO 6973/GT 070127	Sim	Energia elétrica e indústria
Argentina	47.3 - 52.2 MJ/m ³	ISO 6976/GPA 2173/ASTMD - 3588	Sim	Residencial e industrial
México	Zona sul: 46.2 - 53.2 MJ/m ³ Resto do país: 48.2 - 53.2 MJ/m ³	ISO 6973/GPA 2172/ASTMD - 3588	Sim	Energia elétrica e indústria

*NA = Não aplicável

Fonte: Elaboração própria.

sempre é fácil prever como uma aplicação específica pode responder às mudanças na qualidade do gás. Existem alguns processos industriais que são mais sensíveis a mudanças para um Índice de Wobbe mais alto. No setor industrial, a utilização de um gás natural de menor poder calorífico exigirá uma maior quantidade em massa ou volume para gerar determinada quantidade de energia durante a combustão, enquanto quanto maior o poder calorífico, menor será a quantidade necessária. Portanto, um gás com menor poder calorífico resultará em um maior custo operacional do processo em questão. Por outro lado, no transporte dutoviário, um gás natural com maior presença de inertes implicaria movimentar um volume maior para obter a mesma quantidade de energia, o que aumentaria os custos de transporte de gás natural devido ao uso de energia no bombeamento (IMP, 2018).

Referências Bibliográficas

ABBOTT, D. J.; BOWERS, J. P.; JAMES, S. R. *The impact of variations in gas composition on gas turbine operation and performance*. 2012. Citado 3 vezes nas páginas 3, 12 e 23.

ANP. *Agenda Regulatória*. 2021. Acessado em: 2022-07-18. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/ar/agenda-regulatoria-2020-2021-v3-2.pdf>>. Citado na página 5.

ARANO, K. G.; BLAIR, B. F. An ex-post welfare analysis of natural gas regulation in the industrial sector. *Energy Economics*, v. 30, n. 3, p. 798–806, 2008. Citado na página 18.

ARTANA, D.; NAVAJAS, F.; URBIZTONDO, S. Regulation policies towards utilities and competitive industries: The case of argentina. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, v. 41, p. 585–607, 2001. Citado na página 21.

BONDOREVSKY, D.; PETRECOLLA, D. Argentina from growth to crisis. In: BEATO, Paulina; BENAVIDES, Juan. *Gas market integration in the Southern Cone.*, p. 3–34, 2004. Citado na página 21.

BUNDESNETZAGENTUR. *Energy review*. 2019. Acessado em: 2022-06-27. Disponível em: <<https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Textsammlungen/Energy/gas.html>>. Citado na página 10.

CLEIJNE, H. et al. *NORTH SEA ENERGY OUTLOOK (NEO)*. 2020. Acessado em: 2022-07-18. Disponível em: <<https://www.government.nl/documents/reports/2020/09/01/executive-summary-north-sea-energy-outlook>>. Citado na página 11.

CNI. *Especificação do gás natural: oportunidades e experiência internacional*. Brasília: [s.n.], 2019. Citado 6 vezes nas páginas 5, 8, 12, 16, 17 e 24.

DENTON, N.; PöYRY. *Gas quality harmonisation cost benefit analysis*. 2012. Acessado em: 2022-07-10. Disponível em: <https://energy.ec.europa.eu/system/files/2014-10/2012_gas_quality_harmonisation_cost_benefit_analysis__0.pdf>. Citado 4 vezes nas páginas 8, 9, 12 e 23.

EEA. *Emissions and energy use in large combustion plants in Europe*. 2020. Acessado em: 2022-06-27. Disponível em: <<https://www.eea.europa.eu/ims/emissions-and-energy-use-in>>. Citado na página 9.

ENARGAS. *Resolución (ENARGAS) 500/97. Del 29/9/97. B.O.: 3/10/97. Apruébase la "Reglamentación de las Especificaciones de Calidad de Gas"*. 1997. Acessado em: 2022-07-13. Disponível em: <<http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/45000-49999/46146/norma.htm>>. Citado na página 22.

ENARGAS. *Resolución (ENARGAS) 622/98. Del 29/5/98. B.O.: 23/06/98. Apruébase la Reglamentación de las Especificaciones de Calidad de Gas. Deróganse las Resoluciones Nros. 113/94 y 500/97*. 1998. Acessado em: 2022-07-13. Disponível em: <<http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/50000-54999/51429/norma.htm>>. Citado na página 22.

- ENARGAS. *Resolución (ENARGAS) 259/08. Del 7/5/2008. B.O.: 14/5/2008. Nueva Reglamentación de las Especificaciones de Calidad de Gas*. 2008. Acessado em: 2022-07-13. Disponível em: <<http://mepriv.mecon.gov.ar/Normas2/259-08.htm>>. Citado na página 22.
- ENARGAS. *Resolución (ENARGAS) 819/19. Del 10/12/2019. B.O.: 12/12/2019. Gas Natural. Aprobar la norma NAG-602 (2019) Especificaciones de calidad para el transporte y la distribución de gas natural y otros gases análogos*. 2019. Acessado em: 2022-07-13. Disponível em: <https://www.ecofield.net/Legales/Combustibles/res819-19_ENARGAS.htm>. Citado na página 22.
- FOSS, M. M. *Interstate natural gas—quality specifications interchangeability*. 2004. Disponível em: <https://www.beg.utexas.edu/files/cee/legacy/CEE_Interstate_Natural_Gas_Quality_Specifications_and_Interchangeability.pdf>. Citado na página 16.
- IEA. *Energy policy review*. 2020. Acessado em: 2022-06-28. Disponível em: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/60434f12-7891-4469-b3e4-1e82ff898212/Germany_2020_Energy_Policy_Review.pdf>. Citado 3 vezes nas páginas 9, 11 e 13.
- IMP. *Asesoría técnica para la revisión de la NOM-001- SECRE-2010 “Especificaciones de gas natural”*. 2018. Acessado em: 2022-07-15. Disponível em: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/540979/Informe_Ejecutivo_Asesoria_tcnica_para_la_revision_de_la_NOM-001-SECRE-2010_por_el_IMP.pdf>. Citado 7 vezes nas páginas 3, 14, 15, 24, 25, 29 e 30.
- Joint Institute for Strategic Energy Analysis. *Natural Gas and the Transformation of the U.S. Energy Sector: Electricity*. Golden, CO, USA: National Renewable Energy Laboratory: [s.n.], 2012. Acessado em: 2022-06-07. Disponível em: <<https://www.nrel.gov/docs/fy13osti/55538.pdf>>. Citado na página 16.
- KEMA-KIWA. *Gaskwaliteit voor de toekomst*. 2010. Citado na página 12.
- KRAUSE, H. et al. *DVGW-Forschungsauftrag: Gasbeschaffenheit Industrie - Untersuchungen der Auswirkungen von Gasbeschaffenheitsänderungen auf industrielle und gewerbliche Anwendungen*. 2014. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 23.
- LAFRANCOIS, B. A. A lot left over: Reducing co2 emissions in the united states’ electric power sector through the use of natural gas. *Energy Policy*, v. 50, p. 428–435, 2012. Citado na página 19.
- LEICHER, J. *Gas quality changes: consequences for industrial combustion processes*. 2015. Citado 3 vezes nas páginas 5, 10 e 23.
- LEICHER, J. et al. *Natural gas quality fluctuations – surveys and statistics on the situation in Germany*. 2017. Citado 2 vezes nas páginas 5 e 10.
- LEITZINGER, J.; COLLETTE, M. A retrospective look at wholesale gas: Industry restructuring. *Journal of Regulatory Economics*, v. 21, p. 79–101, 2002. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 24.
- MACIEL, R. N. Argentina: Privatisation of the natural gas industry. *Journal of Energy Natural Resources Law*, v. 10, n. 4, p. 371–379, 1992. Citado na página 21.
- Ministry of Economics Affairs. *Rapportage Projectbureau Nieuw Aardgas. Status van de transitie hoogcalorisch gas*. 2013. Acessado em: 2022-07-20. Disponível em: <<https://zoek.officielebekendmakingen.nl/blg-253860.pdf>>. Citado 3 vezes nas páginas 3, 11 e 23.

Ministry of Economic Affairs, Agriculture and Innovations. *Dutch gas sector Overview of research and collaboration (2006-2009)*. 2012. Disponível em: <<https://www.rvo.nl/sites/default/files/Overview%20of%20research%20and%20collaboration%20Dutch%20Gas%20Policy.pdf>>. Acessado em: 2022-07-10. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 12.

MIT Energy Initiative. *The Future of Natural Gas: an interdisciplinary MIT study*. 2011. Acessado em: 2022-07-22. Disponível em: <<https://energy.mit.edu/research/future-natural-gas/>>. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 20.

NGC+ Interchangeability Work Group. *White Paper on Natural Gas Interchangeability and Non-Combustion End Use*. 2005. Acessado em: 2022-07-15. Disponível em: <https://www.beg.utexas.edu/files/cee/legacy/NGC_Interchangeability_Paper.pdf>. Citado na página 17.

O'NEIL, B.; HOPKINS, P.; GRESSLEY, J. *The economic benefits of natural gas pipeline development on the manufacturing sector*. 2016. Disponível em: <https://marcelluscoalition.org/wp-content/uploads/2016/05/NAM_NG_Report_042816.pdf>. Citado 3 vezes nas páginas 17, 18 e 19.

PONZO, R. et al. Regulation and development of the argentinean gas market. *Energy Policy*, v. 39, p. 1070–1079, 2011. Citado na página 21.

RIEMERSMA, B.; CORRELJÉ, F.; KÜNNEKE, R. W. *Historical developments in Dutch gas systems: unravelling safety concerns in gas provision*. 2020. Acessado em: 2022-07-10. Disponível em: <DOI10.1016/j.ssci.2019.08.040>. Citado 2 vezes nas páginas 12 e 13.

ROSSI, M. A. Technical change and efficiency measures: the post-privatisation in the gas distribution sector in argentina. *Energy Economics*, v. 23, n. 3, p. 295–304, 2001. Citado na página 21.

SERRANI, E. Modelos de regulación de servicios públicos de gas natural en argentina, 1967-2017. *América Latina en la historia económica*, v. 27, n. 2, 2020. Citado na página 21.

US Energy Information Administration. *Electricity explained: Electricity in the United States*. 2022. Acessado em: 2022-06-07. Disponível em: <<https://www.eia.gov/energyexplained/electricity/electricity-in-the-us.php>>. Citado na página 20.

US Energy Information Administration. *Natural gas explained: Use of natural gas*. 2022. Acessado em: 2022-06-07. Disponível em: <<https://www.eia.gov/energyexplained/natural-gas/use-of-natural-gas.php>>. Citado na página 18.

US Energy Information Administration. *Natural gas explained: Where our natural gas comes from*. 2022. Acessado em: 2022-06-07. Disponível em: <<https://www.eia.gov/energyexplained/natural-gas/where-our-natural-gas-comes-from.php>>. Citado na página 17.

YIN, R. K. *Case study research: Design and methods*. California: Thousand Oaks: [s.n.], 2003. Citado na página 7.

ZHAO, Y.; MCDONELL, V.; SAMUELSEN, S. *Residential Fuel Transition and Fuel Interchangeability in Current Self-Aspirating Combustion Applications: Historical Development and Future Expectations*. 2022. Acessado em: 2022-07-15. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/en15103547>>. Citado na página 10.

Evidência Express

EVEX **ENAP**