



MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA  
SECRETARIA DE PLANEJAMENTO E DESENVOLVIMENTO ENERGÉTICO



# PNE 2050

**PLANO NACIONAL DE ENERGIA**



**VERSÃO PARA  
CONSULTA PÚBLICA**



MINISTÉRIO DE  
MINAS E ENERGIA



**PÁTRIA AMADA  
BRASIL**  
GOVERNO FEDERAL

# Carvão Mineral

Os recursos de carvão mineral conhecidos no Brasil estão concentrados na Região Sul. Existem indicações de outras ocorrências de linhito e carvão no País, notadamente no litoral e na plataforma continental, mas tais ocorrências não foram pesquisadas, desconhecendo-se sua magnitude e as características dos seus minérios. As reservas conhecidas, composta de carvão sub-betuminoso, compreendem basicamente carvão coqueificável pobre e carvão energético de pobre a médio. Ressalta-se que segundo informações da Agência Nacional de Mineração, o Brasil possuía, em 2016, reservas de carvão mineral na ordem de 3,8 bilhões de toneladas na região sul do País.

O carvão mineral nacional é predominantemente utilizado para a geração de energia elétrica e para a geração de calor nos setores de papel, petroquímico, alimentos e cerâmica. Apesar de o carvão mineral nacional não ser adequado para o uso siderúrgico, devido suas características intrínsecas (alta plasticidade), pode ser usado na mistura com carvões importados, formando um *blend* e reduzindo o custo do coque. Em certas jazidas é possível retirar uma fração de carvão vapor de baixa cinza que pode ser utilizado com injeção de carvão em alto forno, o que diminui o consumo de coque. Percebe-se que, dentre os diversos usos do minério, o mercado potencial do produto nacional é delimitado devido às suas características restritivas em termos de poder calorífico e de resíduos de combustão. De maneira geral, o minério disponível no País tem seu consumo próximo ao jazimento devido ao elevado custo de transporte em relação ao poder calorífico do carvão, o que inviabiliza sua destinação ao mercado externo.

A implantação de uma indústria carboquímica (envolvendo, basicamente, a produção de metanol, fertilizantes, combustíveis e olefinas) a partir da transformação do carvão em gás de síntese (*syngas*) é outra possibilidade aberta ao carvão nacional. A porta de entrada nessa indústria é a gaseificação do carvão em larga escala, para a qual vem sendo aprimorada tecnologia adequada ao carvão com características semelhantes às do carvão brasileiro. Nesse sentido, o Rio Grande do Sul, por meio da lei 15.047/2017, criou a Política Estadual do Carvão Mineral e instituiu o Polo Carboquímico no estado.

Em outra iniciativa, o Governo Federal instituiu, em 2017, Grupo de Trabalho (GT) Interministerial para o carvão mineral nacional. Estabeleceu-se que, no âmbito do GT, medidas propositivas relacionadas ao carvão mineral deveriam ter como características: sinalização de longo prazo, de modo a viabilizar decisões de investimentos; foco na modernização do parque termelétrico a carvão mineral nacional; ausência de ônus para o Estado; medidas de cunho horizontal; adoção de tecnologias ambientalmente apropriadas na atividade de mineração; revisão de descontos tarifários para as fontes incentivadas; e não concessão de novos subsídios ao carvão mineral (e não estender os já existentes). O GT concluiu ainda pela orientação de modernização do parque termelétrico a carvão mineral nacional, centrada na substituição de usinas antigas e ineficientes que estão sendo descomissionadas pelo fim da vida útil, por plantas mais modernas, limpas e eficientes nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, permitindo a recuperação ambiental de áreas carboníferas degradadas.

Por fim, a tendência de manutenção e ampliação de políticas públicas e mecanismos de mercado para incentivar fontes energéticas mais limpas e restringir fontes fósseis abre perspectiva para redução paulatina da participação do carvão na matriz elétrica mundial. De fato, a geração termelétrica a carvão mineral sofre resistência crescente à sua expansão devido às emissões de gases de efeito estufa (GEE) elevadas, o dobro das emissões de uma usina termelétrica a gás natural a ciclo combinado (EPE, 2018). Os compromissos internacionais, como as contribuições nacionalmente determinadas (NDC) na Conferência das Partes de Paris (COP21), têm motivado a substituição do carvão mineral por fontes renováveis de baixa emissão de GEE na matriz elétrica. Esse movimento se reflete de forma crescente por parte dos países, na adoção de políticas públicas de incentivo à redução de emissão. O setor privado, por sua vez, tem desenvolvido ferramentas para financiar a transição para uma economia de baixo carbono, como a criação de mercados de carbono e o fomento às finanças sustentáveis, que privilegiam projetos mais eficientes e menos intensivos na emissão de GEE. Tais mecanismos, além de diminuir a competitividade das fontes fósseis e reduzir as emissões, associam a imagem das empresas a boas práticas de responsabilidade socioambiental.

## Perspectivas Tecnológicas

De acordo com IEA (2019), o carvão deverá perder participação na matriz elétrica mundial, mas, ainda assim, permanecerá como majoritário até 2040. Nesse sentido, o desenvolvimento tecnológico pode ajudar a aumentar a eficiência do aproveitamento e mitigar as emissões, com baixa elevação dos custos da eletricidade.

Como as propriedades do combustível são fator importante no projeto de usinas de carvão, muitas vezes são necessárias tecnologias diferentes para cada tipo de carvão. Nenhuma tecnologia avançada de carvão possui vantagens claras em toda a gama de seus tipos e ambientes operacionais. Adicionalmente, como as propriedades variam dependendo da região geográfica, as tecnologias devem ser analisadas caso a caso. Além das plantas de leito fluidizado circulante subcríticas, que deverão constituir a opção tecnológica predominante na expansão do setor nos próximos anos, as principais tecnologias apontadas para o maior e melhor aproveitamento do carvão nacional em termelétricas são:

- Carvão Pulverizado Supercrítico (SCPC): as principais dificuldades na implantação desta tecnologia referem-se às características exigidas dos materiais constituintes da caldeira e da turbina. Entretanto, há expectativa de aumento da viabilidade técnico-econômica de uso de carvão nacional beneficiado em caldeira supercrítica;
- Carvão Pulverizado Ultra-Supercrítico (USCPC): um grande ganho de eficiência virá das condições "avançadas" da USC, com vapor principal de até 760 ° C, que exigirão o desenvolvimento de novas ligas à base de níquel com maior resistência a altas temperaturas e fluência e resistência à corrosão.
- Combustão em Leito Fluidizado Circulante e Borbulhante (para usinas menores que 30MW): plantas que utilizam essa tecnologia são muito versáteis, podendo operar com variadas composições de combustíveis, incluindo misturas de carvão mineral e biomassa, como sobras da agricultura ou da indústria ou ainda resíduos sólidos urbanos. Apresenta a vantagem de emitir menos NOx, por trabalhar a temperaturas menos elevadas. Conforme a proporção de biomassa utilizada, contribuem com os esforços de redução de emissões, por CO<sub>2</sub> evitado.
- Ciclo Combinado de Gaseificação Integrada (IGCC): entre as tecnologias disponíveis e adequadas para o carvão nacional destaca-se a gaseificação em leito fluidizado, tanto para a geração de energia integrada em plantas de ciclo combinado, como pela sinergia possível com os demais aproveitamentos do carvão: siderurgia e carboquímica. Plantas termelétricas IGCC a carvão possuem níveis de emissões inferiores aos apresentados por plantas a carvão pulverizado e que podem ser similares às do gás natural. O foco tem sido o desenvolvimento de *expertise* em gaseificadores adequados às características do carvão nacional, exclusivo ou misturado (blendado) com carvões importados ou com biomassa. No caso da gaseificação de carvão *in situ* (UCG - *Underground Coal Gasification*), aumenta-se a disponibilidade de carvão como um recurso energético, pois viabiliza-se a exploração de jazidas não recuperáveis por métodos convencionais de mineração. Neste caso, além das vantagens inerentes ao processo de gaseificação, tem-se a eliminação do manuseio de cinzas, a redução de danos à superfície e de problemas ambientais e de saúde e segurança ocupacional de minas, a diminuição de custos de capital, de operação e de produção do syngas. Essa tecnologia depende do tipo de jazimento, da espessura da jazida de carvão e da profundidade da jazida, o que, no caso brasileiro, depende de uma avaliação geológica;
- Captura e armazenamento de carbono (CCS): é geralmente considerada uma solução tecnológica potencial para a redução das emissões de CO<sub>2</sub> relacionadas à combustão de carvão. Pode ser aplicada ao gás natural e à biomassa, ou biogás/biometano, quando o saldo passa a negativo e é conhecido como BioCCS. Existem três estágios principais no CCS - capturar o CO<sub>2</sub>, transportá-lo e sequestrá-lo - cada um com seu próprio conjunto de tecnologias. Capturar o CO<sub>2</sub> é o primeiro estágio, o qual pode ser feito de várias maneiras. Em termos gerais, existem quatro tipos diferentes de tecnologias: pós-combustão, pré-combustão, combustão de oxcombustível e biofixação.
  - Os processos de captura pós-combustão encontram-se em diversos estágios de desenvolvimento, mas apenas a separação por absorção utilizando, por exemplo, aminas, encontra-se em estágio comercial, embora seja um processo altamente intensivo em energia. Plantas de demonstração no Canadá e nos EUA têm operado desde 2014 e contribuem com a curva de aprendizado para a implantação em larga escala desta tecnologia. Processos de adsorção utilizando zeólitas ou carvão ativado estão em estágio de desenvolvimento e se mostram muito promissoras. Outras tecnologias em desenvolvimento incluem processos de separação por membranas e o uso de criogenia. Como estas tecnologias podem ser utilizadas em qualquer processo de combustão, desde que economicamente viáveis, o seu desenvolvimento apresenta grande potencial para *retrofit* de plantas em operação ou novas plantas, além de refinarias, petroquímicas, siderúrgicas e cimenteiras;

- A tecnologia de pré-combustão é amplamente aplicada em uma variedade de indústrias, incluindo a fabricação de fertilizantes;
- No caso de combustão de oxi-combustível, há no mundo vários projetos de demonstração e pesquisas relacionadas;
- Na captura de CO<sub>2</sub> por biofixação há várias propostas, tais como: plantio de florestas energéticas para exploração de biomassa, cultivo de hortaliças ou plantas ornamentais em estufas com crescimento acelerado em ambiente enriquecido com CO<sub>2</sub> e cultivo de microalgas em reatores alimentados com os gases de combustão, para posterior produção de biocombustíveis (essa possibilidade de uso do CO<sub>2</sub> capturado amplia o conceito de CCS para CCUS). Ainda há necessidade de comprovação da real eficiência na redução de emissões em larga escala e, especialmente no caso das microalgas, mais pesquisas são necessárias para o domínio dos parâmetros do processo em escala industrial e para a viabilização econômica. Também é possível realizar o BioCCS capturando o CO<sub>2</sub> com alta concentração disponível nas dornas de fermentação de etanol e em usinas de tratamento de biogás para obtenção de biometano;
- *Cofiring* ou coqueima: Apesar de só haver um projeto deste tipo em UTE a carvão (Jorge Lacerda utilizando palha de arroz pulverizada), há várias aplicações de coqueima para fins energéticos em andamento na indústria siderúrgica no Brasil, utilizando bagaço de cana, cama de aviário etc, que podem ser reproduzidos no setor carbonífero. Nestes casos, além do aumento da eficiência, tem-se a redução do CO<sub>2</sub> por utilização de combustível com ciclo de carbono neutro, o que pode ser uma solução para as termelétricas atualmente em operação, na sua maioria de baixo rendimento energético e, portanto, valores altos de emissões de CO<sub>2</sub> por unidade de energia gerada;
- Aproveitamento de coprodutos da combustão: O aproveitamento dos coprodutos da combustão e gaseificação do carvão refere-se à aplicação das cinzas volantes e de fundo, bem como do gesso resultante do processo de lavagem dos gases para dessulfurização como matérias primas em outros setores. Eles são utilizados na construção civil, para a produção de cimento, tijolos, gesso e material para preenchimento estrutural e aterro, em substituição à brita. No caso da produção de cimento, pode-se considerar o cômputo das emissões evitadas na produção de cimento por outras rotas como créditos na planta térmica a carvão. Nas minas de carvão as cinzas são utilizadas para preenchimento de galerias esgotadas para controle da subsidência e que podem ser úteis na recuperação de áreas degradadas pela mineração. Na agricultura, são utilizadas para remineralização e correção da acidez dos solos, bem como para melhoria das características de permeabilidade. As cinzas são matéria prima para a produção de zeólitas, que são poderosos adsorventes, podendo ser usados para descontaminação de águas servidas e para controle da drenagem ácida de mina (DAM). No Brasil, há pesquisas para a produção de zeólitas em estágio experimental. A utilização das cinzas como fonte de metais é uma alternativa possível, embora ainda pouco explorada no mundo. Entre os metais que têm sido estudados em termos de recuperação estão o alumínio e o germânio, elemento muito importante para semicondutores, produtos de altíssimo valor agregado.

#### Desafios Principais:

##### 1. Descomissionamento e efeitos sobre socioeconomia local

O impacto do descomissionamento de uma termelétrica (UTE) a carvão mineral sobre a economia local está intimamente relacionado ao nível de dependência dos municípios às atividades inseridas na cadeia (mineração, transporte, geração termelétrica e produção de cimento). Os principais impactos socioeconômicos são a redução da arrecadação tributária e a redução do número de empregos diretos e indiretos. A perda da arrecadação tributária específica incide diretamente sobre os serviços públicos prestados e sobre o potencial de investimento em estruturas sociais, econômicas e ambientais do município. Embora a Compensação Financeira por Exploração de Recursos Minerais sinalize uma queda forte, trata-se de uma compensação financeira que normalmente não ultrapassa um percentual significativo da receita corrente dos municípios.

##### 2. Implantar tempestivamente as medidas relativas ao Programa de Modernização do parque termelétrico a carvão natural.

O Programa de modernização do parque termelétrico a carvão nacional consiste na substituição do parque existente (a ser descomissionado ao longo da década de 2020) por usinas termelétricas mais eficientes e com menor emissão de gases de efeito estufa. Conforme análise do GT Interministerial do Carvão Mineral nacional, as medidas propositivas para a modernização do parque termelétrico a carvão mineral nacional deveriam levar em conta os seguintes aspectos:

- i. Apoiar-se na sinalização de preços de longo prazo de modo a viabilizar decisões de investimentos;
- ii. Ter foco na modernização do parque termelétrico à carvão mineral nacional;
- iii. Não implicar qualquer ônus para o Estado;
- iv. Serem medidas de cunho horizontal;
- v. Incentivar a adoção de tecnologias ambientalmente apropriadas na atividade de mineração;
- vi. Revisar descontos tarifários para as fontes incentivadas;
- vii. Não conceder novos subsídios ao carvão mineral, ou estender os já existentes.

A implantação das medidas acima deve ocorrer de forma tempestiva de modo a estar coerente com a previsão de descomissionamento das centrais do parque existente.

### 3. Formular regramento de segurança para captura e sequestro de CO<sub>2</sub>

A adequação do CCS depende fortemente da disponibilidade de condições apropriadas, como formações geológicas estáveis e meios de transportes. Em muitos casos, locais geológicos adequados para o armazenamento de CO<sub>2</sub> podem estar em localidades distantes das instalações onde o CO<sub>2</sub> é produzido e capturado. Consequentemente, serão necessárias instalações de transporte para mover o CO<sub>2</sub> para seu local de armazenamento. O CO<sub>2</sub> normalmente será comprimido para um estado supercrítico antes do transporte por tubulação ou navio. Existem muitos gasodutos que transportam CO<sub>2</sub> para uma variedade de finalidades comerciais, embora os volumes de CO<sub>2</sub> do CCS da usina a serem transportados sejam muito maiores do que os experimentados até o momento. O armazenamento permanente de CO<sub>2</sub> em larga escala requer técnicas e instalações capazes de armazenar de forma confiável e segura grandes volumes de CO<sub>2</sub> indefinidamente. Os campos de petróleo e gás natural esgotados, que geralmente têm armadilhas geológicas, reservatórios e selos comprovados, são locais potencialmente excelentes para armazenar CO<sub>2</sub> injetado.

### 4. Reduzir a emissão de poluentes atmosféricos

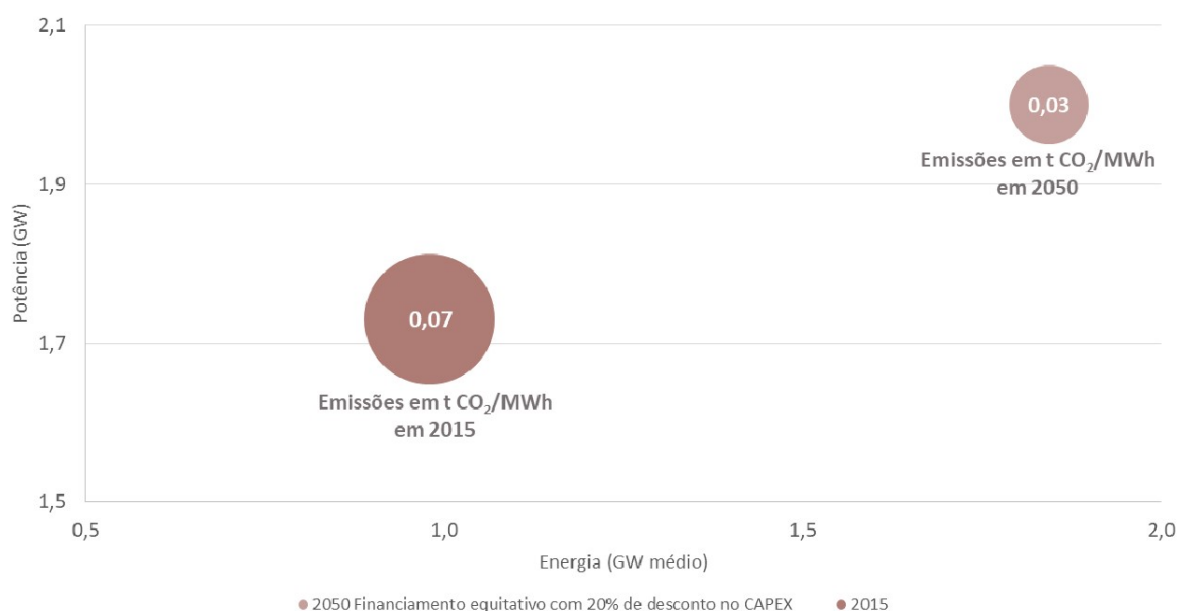
O setor tem evoluído significativamente na redução das emissões de poluentes atmosféricos. O desenvolvimento das tecnologias limpas do carvão (*clean coal technologies*), a utilização de ferramentas de modelagem de dispersão atmosférica e a instalação de equipamentos de abatimento e monitoramento têm sido importante para atender as exigências legais e minimizar os impactos na qualidade do ar. Entretanto, no país, ainda são necessárias medidas adicionais para controle e redução das emissões de mercúrio de modo a atender Convenção de Minamata, promulgada pelo Decreto nº 9.470/2018. A questão vem sendo tratada por um grupo de trabalho permanente com o objetivo de acompanhar e implementar as medidas necessárias.

## Exercícios Quantitativos

Os exercícios qualitativos relacionados às perspectivas de expansão das usinas termelétricas a carvão mineral nacional centraram-se na questão de se o teto de sua oferta no Brasil foi atingido, para além do programa de modernização do parque termelétrico a carvão mineral nacional.

Conforme análise do GT Interministerial do Carvão Mineral nacional, as medidas propositivas para a modernização do parque termelétrico a carvão mineral devem estar baseadas, entre outros, na ausência de ônus para o Estado ou de novos subsídios ou extensão do já existentes. Nesse sentido, as simulações apontam para dois fundamentos para maior competitividade das UTEs a carvão mineral: condições de financiamento equivalentes aos das demais fontes e perspectiva de valores de CAPEX pelo menos 20% menores do que os considerados (US\$2.100/kW). Quando essas 2 condições estão presentes, a participação das UTEs a carvão mineral nacional atinge 1% da geração total em 2050, mantidas as demais premissas de evolução de custos das demais fontes.

Importante destacar que nos casos simulados, a intensidade de emissão de carbono por conta do parque termelétrico a carvão mineral nacional em 2050 reduz de maneira significativa em relação ao ano base do estudo (de 0,07 tCO<sub>2</sub>/MWh em 2015 para 0,03 tCO<sub>2</sub>/MWh em 2050), com maior geração média de energia (1,6 GW médios em 2050 contra 1 GW médio em 2015, conforme a Figura 55).



**Figura 55 - Intensidade de emissão de carbono do setor elétrico e expansão da geração termelétrica a carvão nacional no caso em que há restrição à expansão de UHEs com interferência em áreas protegidas.**

### Recomendações

1. *Promover maior articulação com instituições federais e locais para endereçar a questão socioeconômica do descomissionamento com efeitos locais significativos.*  
É essencial debater e criar soluções para a necessidade de diversificação das atividades econômicas das regiões hoje dependentes economicamente da mineração e da geração de energia elétrica. A instauração de outras atividades relevantes, que possam vir da produção de carvão para outros usos além da geração de energia elétrica, ou decorrentes de outras vocações econômicas regionais, garante a manutenção do desenvolvimento local independentemente do setor elétrico. É necessário que os tomadores de decisão em conjunto com a sociedade civil (população local, empregadores e investidores) compartilhem responsabilidades que deem garantias ao desenvolvimento social sustentável nas regiões onde pode ocorrer a redução ou perda de atividades ligadas ao carvão mineral. Essa integração permitirá valorizar as vocações e potenciais locais. É necessário criar mecanismos que condicionem e monitorem a transição no curto, médio e longo prazos.
2. *Promover as medidas do Programa de Modernização que estejam no rol das atribuições do MME e articular as que estejam fora da sua alçada com autoridades competentes.*  
Os esforços do MME devem estar concentrados em medidas do Programa de Modernização que estejam dentro do rol das suas atribuições (por exemplo, estabelecer a diretriz para a adoção de tecnologias ambientalmente apropriadas na atividade de mineração) e articular com demais autoridades competentes aquelas medidas que estejam além da sua alçada institucional (por exemplo, garantir que não haja ônus para o Estado ou consumidores por meio de subsídios à fonte).
3. *Definir as regras de segurança e operacionalização para captura e sequestro de CO<sub>2</sub> ou possível adoção de mecanismos de compensação de emissões de CO<sub>2</sub>.*  
O processo de captura e sequestro de CO<sub>2</sub> (e outros gases) com utilização de estruturas geológicas requer, além do desenvolvimento tecnológico e viabilidade econômica, um desenho regulatório e de fiscalização apropriado para lidar com a operacionalização do processo e com questões de segurança do armazenamento e riscos socioambientais, por tipo de reservatório (de campos depletados ou de aquíferos e cavernas de sal), o que requererá interação com diversas instituições governamentais que lidam com o tema. Paralelamente, sugere-se a discussão

para definição de possíveis mecanismos de compensação de emissões como medida alternativa à captura do carbono.

4. *Articular com o respectivo grupo de trabalho permanente e definir, implementar e monitorar medidas de controle das emissões de mercúrio em conformidade com a Convenção de Minamata.*

No curto prazo, recomenda-se articular com o grupo de trabalho permanente da Convenção de Minamata o desenvolvimento de plano de ação para definição e implementação medidas de controle das emissões de mercúrio para usinas existentes e futuras. Em seguida, é importante definir mecanismos para monitorar a sua implementação e efetividade no longo prazo.

Mapa do Caminho - Energia Termelétrica a Carvão Mineral

| Desafios                                                                                                                   | Recomendações                                                                                                                                                                              |             |             |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|
|                                                                                                                            | 2020 - 2030                                                                                                                                                                                | 2030 - 2040 | 2040 - 2050 |
| <i>Descomissionamento e efeitos sobre economia local</i>                                                                   | <i>Promover maior articulação com instituições federais e locais para endereçar a questão socioeconômica do descomissionamento com efeitos locais significativos</i>                       |             |             |
| <i>Implantar tempestivamente as medidas relativas ao Programa de Modernização do parque termelétrico a carvão natural.</i> | <i>Promover as medidas do Programa de Modernização que estejam no rol das atribuições do MME e articular as que estejam fora da sua alçada com autoridades competentes.</i>                |             |             |
| <i>Formular regramento de segurança para captura e sequestro de CO<sub>2</sub>.</i>                                        | <i>Definir regras de segurança e operacionalização para captura e sequestro de CO<sub>2</sub>.</i>                                                                                         |             |             |
| <i>Reduzir da emissão de poluentes atmosféricos</i>                                                                        | <i>Articular com o respectivo grupo de trabalho permanente e definir, implementar e monitorar medidas de controle das emissões de mercúrio em conformidade com a Convenção de Minamata</i> |             |             |