



**Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima
Secretaria Nacional de Meio Ambiente Urbano, Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental
Departamento de Qualidade Ambiental
Coordenação-Geral de Segurança Química**

Considerações sobre os métodos de estimativas de emissões

1. Introdução

Existem diversas abordagens para estimar as emissões de poluentes provenientes de fontes pontuais, como instalações industriais. Essas abordagens variam desde avaliações relativamente simples até modelos empíricos mais sofisticados.

Entre as técnicas de estimativa mais amplamente reconhecidas e utilizadas internacionalmente destacam-se:

- Monitoramento ou medição direta;
- Balanço de massa;
- Fatores de emissão;
- Estimativas ou cálculos de engenharia.

Nem todos os métodos de estimativa são igualmente aplicáveis a todos os poluentes, tipos de fontes ou escalas espaciais e temporais de reporte. Para determinadas emissões associadas a fontes específicas pode não haver metodologias amplamente documentadas ou consolidadas. Por outro lado, para poluentes mais comuns e processos amplamente estudados, existem normalmente diversas alternativas metodológicas disponíveis.

A seleção da metodologia mais adequada para estimar ou calcular uma emissão requer a adequada caracterização das liberações ou transferências de poluentes que serão objeto de reporte.

Entre os principais aspectos a serem considerados destacam-se:

- O tipo de poluente;
- O meio receptor da liberação (ar, água ou solo);
- O tipo de fonte emissora;
- A escala espacial adotada para o reporte;
- A escala temporal adotada para a coleta e reporte dos dados.



Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima
Secretaria Nacional de Meio Ambiente Urbano, Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental
Departamento de Qualidade Ambiental
Coordenação-Geral de Segurança Química

A experiência internacional demonstra que os sistemas de Registro de Emissões e Transferência de Poluentes (RETP) são estruturados para admitir diferentes metodologias de quantificação, não se restringindo à realização de análises laboratoriais ou medições diretas.

Nesse contexto, merece destaque o fato de que muitos dos participantes que participaram da consulta pública referente à minuta de resolução Conama sobre o RETP manifestaram preocupação quanto à capacidade analítica laboratorial disponível no Brasil para suportar as quantificações exigidas pelo sistema. Contudo, a implementação de programas RETP em diferentes países evidencia que a medição direta constitui apenas uma das alternativas disponíveis para estimativa das emissões, coexistindo com diversas outras metodologias amplamente aceitas e utilizadas.

Antes da aplicação de qualquer método de estimativa, seja por órgãos governamentais ou pelos próprios empreendimentos responsáveis pelo reporte, é fundamental compreender claramente quais emissões são objeto de interesse e quais são os objetivos da quantificação. Sem essa definição prévia, existe o risco de selecionar metodologias inadequadas para a finalidade pretendida ou de obter resultados menos precisos, menos completos ou menos representativos do que aqueles que poderiam ser alcançados por meio de uma abordagem mais apropriada.

Antes da aplicação de qualquer uma dessas metodologias, seja por órgãos governamentais ou por instalações industriais, é fundamental compreender claramente quais tipos de emissões ou transferências de poluentes se pretende quantificar e quais são os objetivos da estimativa. Essa definição prévia é essencial para orientar a escolha do método mais adequado às características da informação que se deseja obter.

Na ausência desse entendimento, aumenta-se significativamente o risco de adoção de técnicas incompatíveis com a finalidade pretendida ou com as características da fonte emissora analisada. Como consequência, as estimativas produzidas podem apresentar menor grau de precisão, representatividade ou completude, comprometendo a qualidade das informações reportadas e sua utilidade para fins de gestão ambiental e transparência pública.

Em linhas gerais, a quantificação das emissões envolve as seguintes etapas:



Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima
Secretaria Nacional de Meio Ambiente Urbano, Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental
Departamento de Qualidade Ambiental
Coordenação-Geral de Segurança Química

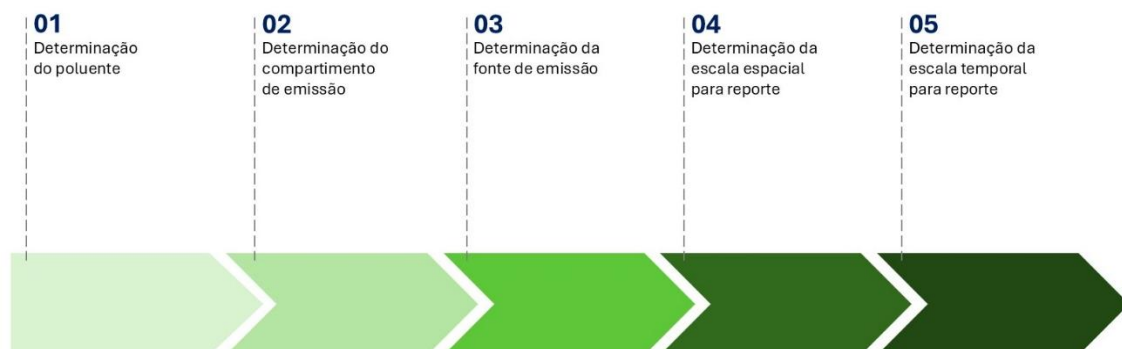


Imagem 1. Fluxograma para seleção de uma metodologia de quantificação de emissões. Fonte: adaptado do guia da OCDE.

Há literatura técnica dedicada à estimativa de emissões e transferências de poluentes. Países e regiões com programas RETP já consolidados, como Canadá, Austrália e os Estados-Membros da União Europeia, além da própria Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), disponibilizam documentos orientativos contendo metodologias, exemplos de cálculo e boas práticas para apoiar os declarantes.

2. Compartimentos ambientais

Os poluentes abrangidos pelos PRTRs geralmente provêm de uma de duas origens: aqueles que são componentes integrantes de um processo e aqueles formados como subprodutos do processo.

No primeiro caso, é possível calcular a quantidade do poluente associada a um determinado processo. No caso dos subprodutos, contudo, a quantidade da substância gerada só pode ser estimada dentro de uma faixa de valores.

Embora os métodos de estimativa de emissões busquem levar em conta as variáveis associadas a essas emissões, nem sempre é possível elaborar uma ferramenta de estimativa de emissões (RET) que preveja com exatidão as taxas de emissão de poluentes.



Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima
Secretaria Nacional de Meio Ambiente Urbano, Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental
Departamento de Qualidade Ambiental
Coordenação-Geral de Segurança Química

2.1 Emissões para o ar

As maiores emissões de poluentes atmosféricos geralmente estão associadas a processos de combustão destinados à geração de energia e calor, bem como a setores como a extração de petróleo e gás e a produção de alumina e alumínio.

Nesses casos, a estimativa das emissões é frequentemente realizada por meio de fatores de emissão, metodologia amplamente reconhecida e utilizada internacionalmente por sua confiabilidade e possibilidade de aplicação a diferentes instalações e combinações de combustíveis.

2.2 Emissões para a água

A poluição hídrica pode ter origem em diversas fontes pontuais, como os efluentes gerados por instalações industriais e estações de tratamento de esgoto. Como a água desempenha funções essenciais nos processos produtivos, incluindo seu uso como solvente, reagente, agente de limpeza, meio de controle de emissões atmosféricas, geração de vapor e resfriamento de equipamentos e produtos, seu consumo costuma ser rigorosamente controlado pelas instalações industriais.

Durante sua utilização, a água incorpora diferentes contaminantes, sendo posteriormente conduzida por sistemas de coleta até redes de esgoto ou unidades de tratamento. Em razão dessas características, as descargas de efluentes industriais normalmente apresentam condições favoráveis para a quantificação das cargas poluidoras, seja por meio de monitoramento direto, seja por métodos indiretos baseados em parâmetros operacionais, como vazão, temperatura e pressão, que podem fornecer estimativas confiáveis das liberações de poluentes para o meio hídrico.

2.3 Emissões para o solo

Os resíduos destinados à disposição em solo podem ser classificados de diversas formas, incluindo resíduos perigosos e não perigosos, bem como resíduos sólidos e líquidos. Enquanto os resíduos não perigosos geralmente correspondem a resíduos urbanos encaminhados para aterros ou incineração, os resíduos perigosos são frequentemente gerados por processos industriais e atividades comerciais, podendo se apresentar tanto na forma sólida, como escórias, cinzas e lodos, quanto na forma



Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima
Secretaria Nacional de Meio Ambiente Urbano, Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental
Departamento de Qualidade Ambiental
Coordenação-Geral de Segurança Química

líquida, como óleos contaminados, soluções concentradas de processos industriais e resíduos oriundos de sistemas de controle de poluição.

Como sua destinação normalmente está associada a sistemas de licenciamento, controle de transporte e disposição final ou registros de movimentação e tratamento, as informações sobre os tipos e quantidades geradas costumam ser obtidas por meio de monitoramento direto e sistemas permanentes de controle e rastreamento.

3. Métodos de quantificação

3.1 Monitoramento direto

O monitoramento direto ocorre quando as liberações de uma substância química são medidas diretamente, seja de forma contínua ou periódica.

Caso existam procedimentos de controle de qualidade e os dados de monitoramento sejam representativos das condições operacionais, espera-se que o monitoramento forneça os dados de liberação mais confiáveis e precisos possíveis.

O monitoramento direto das emissões apresenta algumas limitações que devem ser consideradas na seleção da metodologia de quantificação: em geral, sua implementação pode envolver custos significativos relacionados à capacitação de pessoal, aquisição e manutenção de equipamentos especializados, além dos procedimentos de operação, calibração e registro dos dados obtidos.

Dentre os métodos de monitoramento direto, existem três subcategorias importantes no contexto do RETP:

Monitoramento preditivo de emissões	Testes na fonte	Monitoramento contínuo de emissões
O monitoramento preditivo de emissões baseia-se na relação entre as emissões de um poluente e parâmetros operacionais do processo, como consumo de combustível, produção de vapor ou temperatura de operação. Após a determinação dessa correlação por meio de testes iniciais, as emissões podem ser estimadas	Os testes em fonte consistem na coleta de amostras das emissões ou efluentes para determinar a concentração de uma ou mais substâncias de interesse. A partir desses resultados e da vazão do fluxo analisado, é possível estimar a quantidade de poluentes emitida ao longo do tempo. No caso das emissões atmosféricas, as	Os sistemas de monitoramento contínuo de emissões registram as emissões de forma ininterrupta ao longo do tempo, permitindo um acompanhamento detalhado das liberações de poluentes. Essa abordagem é especialmente utilizada para poluentes atmosféricos como dióxido de enxofre, óxidos de nitrogênio e



Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima
Secretaria Nacional de Meio Ambiente Urbano, Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental
Departamento de Qualidade Ambiental
Coordenação-Geral de Segurança Química

continuamente a partir dos dados operacionais da instalação. Trata-se de uma abordagem que combina características do monitoramento contínuo, dos fatores de emissão e dos testes de emissão em fontes específicas.	amostras são geralmente coletadas diretamente em dutos ou chaminés, enquanto, para efluentes líquidos, são utilizadas amostras pontuais ou compostas representativas do fluxo. Trata-se de uma metodologia amplamente utilizada para caracterizar emissões específicas e subsidiar outras formas de estimativa.	monóxido de carbono. No entanto, os custos e a complexidade associados à sua implantação e operação frequentemente limitam sua aplicação, tornando o monitoramento contínuo inviável para certas situações.
---	---	---

Nem todas as emissões podem ser medidas diretamente, seja pela indisponibilidade de tecnologias adequadas, seja pela inviabilidade técnica ou econômica de sua aplicação em determinadas situações.

3.2 Balanço de massa

Trata-se da forma conceitual mais simples de um modelo de técnica de estimativa de liberação, embora, na prática, seja frequentemente o mais complexo de desenvolver.

O balanço de massa é uma metodologia baseada no princípio da conservação da matéria, segundo o qual a quantidade de uma substância que entra em um sistema deve corresponder à quantidade que sai, é transformada ou permanece acumulada no processo.

A partir do conhecimento das entradas, saídas e transformações de uma substância em uma instalação, processo ou equipamento, é possível estimar as emissões associadas. Essa abordagem é especialmente útil quando a maior parte dos fluxos pode ser quantificada de forma confiável ou quando se busca uma estimativa preliminar das emissões com base em informações operacionais disponíveis.

3.3 Fatores de emissão



Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima
Secretaria Nacional de Meio Ambiente Urbano, Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental
Departamento de Qualidade Ambiental
Coordenação-Geral de Segurança Química

Os fatores de emissão são coeficientes utilizados para estimar emissões a partir de dados de atividade, como consumo de combustível, taxa de produção ou outros parâmetros operacionais. Essa metodologia é particularmente adequada quando existe uma relação direta e bem estabelecida entre a atividade realizada e a quantidade de poluentes emitida, sendo amplamente empregada para a estimativa de emissões atmosféricas.

Os fatores de emissão podem ser obtidos de referências técnicas publicadas, de testes realizados nas próprias instalações ou de informações fornecidas pelos fabricantes dos equipamentos. Quando disponíveis para determinado processo, constituem uma ferramenta prática, de rápida aplicação e capaz de fornecer estimativas confiáveis. Além disso, podem ser utilizados para estimar emissões de substâncias cuja medição direta seja difícil ou inviável, com base no conhecimento das características do processo produtivo.

As equações básicas de estimativa de emissão que utilizam um fator de emissão são:

$$E_x = A \times EF$$

$$\text{Emissões controladas} = \text{Emissões não controladas} \times \frac{(100 - \text{eficiência de controle})}{100}$$

Em que

- ✓ E_x = Estimativa de emissão da substância x (kg ou outra unidade de massa)
- ✓ A = Nível de atividade ou vazão do processo
- ✓ EF = Fator de emissão

Embora exista uma ampla variedade de fatores de emissão publicados, esses fatores não estão disponíveis para todos os processos e substâncias. Na ausência de fatores específicos, é comum a utilização de referências desenvolvidas para processos ou compostos semelhantes, especialmente quando não há dados suficientes para aplicação de métodos como o balanço de massa.

Quando adequadamente selecionados, os fatores de emissão constituem uma ferramenta prática e amplamente utilizada para a estimativa de emissões. Além de servirem como método principal de cálculo, frequentemente são empregados para



Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima
Secretaria Nacional de Meio Ambiente Urbano, Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental
Departamento de Qualidade Ambiental
Coordenação-Geral de Segurança Química

verificar a consistência dos resultados obtidos por outras metodologias. Recomenda-se, contudo, que sejam utilizados fatores atualizados, representativos das condições operacionais da instalação e compatíveis com o processo analisado.

A principal limitação dessa abordagem decorre do fato de que instalações industriais podem apresentar características operacionais, tecnologias e condições de operação distintas daquelas consideradas no desenvolvimento dos fatores de emissão. Por essa razão, a aplicação de um mesmo fator a fontes significativamente diferentes pode introduzir incertezas nas estimativas. Esse aspecto merece atenção especial em análises comparativas entre países ou regiões, onde processos pertencentes ao mesmo setor industrial podem apresentar configurações e desempenhos ambientais distintos.

Cabe destacar ainda que existem diferentes níveis de detalhamento metodológico para o cálculo das emissões, frequentemente denominados tiers. Em geral, quanto maior o nível metodológico empregado, maior tende a ser a especificidade dos dados utilizados e a precisão das estimativas obtidas.

3.4 Cálculos de engenharia

Em muitos casos, as estimativas de engenharia representam a alternativa mais adequada para a quantificação de emissões, especialmente quando outras metodologias não são viáveis. Essa abordagem baseia-se no conhecimento dos processos produtivos, das características dos equipamentos e dos princípios físicos e químicos envolvidos, permitindo a obtenção de estimativas de forma relativamente rápida e com baixo custo.

As estimativas de engenharia podem ser realizadas, por exemplo, com base nas especificações de equipamentos de controle ambiental, como sua eficiência de remoção de poluentes, ou por meio da aplicação de propriedades físicas e químicas das substâncias para calcular concentrações e emissões. Tais métodos são frequentemente empregados para estimar emissões de difícil medição direta, incluindo perdas por evaporação, resíduos remanescentes em recipientes e liberações associadas a sistemas de tratamento.

Embora amplamente utilizadas, essas metodologias apresentam limitações. Como os cálculos são baseados em modelos, parâmetros operacionais e premissas teóricas, existe o risco de não contemplar todas as fontes de emissão relevantes ou de aplicar modelos desenvolvidos para condições distintas daquelas observadas na



Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima
Secretaria Nacional de Meio Ambiente Urbano, Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental
Departamento de Qualidade Ambiental
Coordenação-Geral de Segurança Química

instalação avaliada. Além disso, sua aplicação pode demandar informações técnicas específicas que nem sempre estão prontamente disponíveis.

3.5 Escolha dos métodos de quantificação

A OCDE lista algumas regras gerais para a seleção da melhor técnica de estimativa de emissões e transferências (RET), quais sejam:

- A medição funciona bem em condições operacionais estáveis, para fluxos que não apresentam grandes variações na vazão e na concentração química.
- A contabilização de materiais e o balanço de massa são mais adequados para instalações e processos com altas proporções entre emissões e consumo, bem como para grandes volumes de emissões.
- Os fatores de emissão são eficazes para quantidades relativamente pequenas de emissões, especialmente emissões fugitivas para a atmosfera que não seriam captadas pela contabilização de materiais.
- O cálculo de engenharia é a melhor opção para estimar perdas em tanques e emissões provenientes de equipamentos de controle de poluição, sobretudo quando a medição é difícil de realizar.

De forma resumida, o relatório da OCDE traz o seguinte:

Tabela 2 - Aplicação de técnicas de estimativa de emissões. Fonte: OCDE.

Método de estimativa	Poluentes	Tipos de fonte	Escala espacial	Escala temporal
Monitoramento contínuo ou paramétrico	As técnicas existentes tendem a se concentrar em classes de poluentes, com uma tendência crescente de abranger poluentes mais específicos.	Geralmente limitado a fontes pontuais.	Geralmente aplicado em nível de processo ou para um ponto de liberação específico.	Aplicável a todas as escalas. Intervalos de tempo mais curtos traduzem-se em custos mais elevados.
Fatores de emissão específicos para substâncias químicas	As técnicas existentes tendem a se concentrar em classes de poluentes, com uma tendência crescente de abranger poluentes mais específicos.	Uma ampla gama de fontes pontuais e difusas nos meios aéreo e aquático tem sido abordada. Prosseguem os esforços para ampliar as bases de dados atuais.	Aplicável a todas as escalas. As necessidades de dados de atividade e os custos de coleta de dados aumentam com o aumento da resolução espacial.	Depende do intervalo de tempo dos dados de atividade específicos do processo.



Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima
Secretaria Nacional de Meio Ambiente Urbano, Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental
Departamento de Qualidade Ambiental
Coordenação-Geral de Segurança Química

Método de estimativa	Poluentes	Tipos de fonte	Escala espacial	Escala temporal
Balanço de massa	Bem adequado para produtos químicos individuais, caso a química do processo seja conhecida.	Amplamente utilizado para fontes difusas. Pode ser facilmente aplicado a fontes pontuais.	Para fontes difusas, não é adequado para alta resolução espacial.	Mais preciso para intervalos de tempo mais longos.
Cálculos de engenharia	Bem adequado para poluentes específicos, caso as características do processo sejam bem conhecidas.	Geralmente aplicável a fontes pontuais.	Geralmente aplicado em nível de processo ou para um ponto de liberação específico.	Aplicável a intervalos de tempo mais curtos ou pode ser aplicado em intervalos de tempo mais longos.

3.6 Experiência internacional

Inclusive, o guia da OCDE possui, em seu anexo A, um levantamento de métodos de estimativa para o RETP – (concepção e formato), traz o seguinte questionamento para os países que já implementaram o RETP: “Qual metodologia é utilizada para obter dados categorizados como: dados medidos, dados calculados e dados estimados? Por favor, classifique-os do mais utilizado para o menos utilizado e forneça quaisquer informações adicionais.”. Algumas das respostas obtidas foram traduzidas e compiladas a seguir:

Tabela 3 – Uso das metodologias de estimativa de emissões

País	Ranking
Canadá	1. Estimado 2. Calculado 3. Medido
Chile	1. Dados estimados 2. Dados calculados 3. Dados medidos
Colombia	1. Dados medidos 2. Dados calculados



Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima
Secretaria Nacional de Meio Ambiente Urbano, Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental
Departamento de Qualidade Ambiental
Coordenação-Geral de Segurança Química

País	Ranking
	3. Dados estimados
Agência Europeia do Meio Ambiente	1. Dados medidos 2. Dados calculados 3. Dados estimados Informações adicionais: Com base em todos os registros recebidos nos últimos 3 anos disponíveis (2021, 2020, 2019). M=45%, C=44%, E=11%. Historicamente (2007-2021) = C=47%, M=44%, E=10%.
Alemanha	1. Dados medidos 2. Dados calculados 3. Dados estimados Informações adicionais: No entanto, as medições nem sempre estão disponíveis ou são viáveis e, por vezes, não são sequer mais precisas do que os cálculos; portanto, é importante optar pelo método que ofereça os melhores resultados.
Espanha	1. Dados medidos 2. Dados calculados 3. Dados estimados Informações adicionais: Não existe uma hierarquia obrigatória para a utilização de uma ou outra metodologia. A escolha depende de diversos fatores/considerações, principalmente no que diz respeito à legislação. De modo geral, as "medições" são mais utilizadas para emissões na água, embora não para todos os poluentes. Os cálculos de poluentes atmosféricos são mais frequentes, mas, da mesma forma, não se aplicam a todos os poluentes e setores industriais. Para os poluentes ou setores industriais que não possuem legislação específica ou requisitos obrigatórios, exige-se a utilização da melhor informação disponível. Em todos os casos, deve-se fornecer não apenas a informação geral sobre a metodologia (M, C ou E), mas também informar a norma internacional e/ou a técnica de análise química utilizada para a obtenção dos dados. Além disso, quando apropriado, devem ser



Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima
Secretaria Nacional de Meio Ambiente Urbano, Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental
Departamento de Qualidade Ambiental
Coordenação-Geral de Segurança Química

País	Ranking
	apresentados os fatores de emissão, o balanço de massa e todas as informações utilizadas nos métodos de cálculo ou estimativa.
Japão	1. N/A 2. N/A 3. N/A Informações adicionais: As metodologias mencionadas acima estão disponíveis para cada operador econômico. O governo japonês não exige que os operadores econômicos apresentem essas metodologias ao reportarem seus dados; portanto, não é possível elaborar um ranking.
Coreia do Sul	1. Dados estimados 2. Dados calculados 3. Dados medidos
Estados Unidos	1. Dados estimados 2. Dados calculados 3. Dados medidos

4. Exemplos práticos

Durante a consulta pública, foram recorrentes as solicitações de exemplos práticos que demonstrassem como as emissões seriam quantificadas no âmbito do RETP.

Conforme discutido ao longo deste documento, não existe uma abordagem única aplicável a todas as situações, sendo a seleção do método de quantificação realizada caso a caso, levando em consideração fatores como o tipo de poluente, o processo produtivo, a disponibilidade de dados, as características operacionais da instalação e o objetivo do levantamento.

Ainda assim, com o propósito de ilustrar a aplicação prática das metodologias internacionalmente reconhecidas, são apresentados a seguir alguns exemplos extraídos e adaptados de guias técnicos utilizados por programas de RETP já consolidados.



Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima
Secretaria Nacional de Meio Ambiente Urbano, Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental
Departamento de Qualidade Ambiental
Coordenação-Geral de Segurança Química

4.1 Exemplo 1 - Estimativa de limites da Categoria 2 para múltiplos combustíveis e resíduos

Este exemplo foi inserido para demonstrar que, ainda que se determine limites mínimos de reporte, a empresa deve fazer os cálculos internos para determinar se precisa ou não de fato reportar informações no RETP.

Para este exemplo, foi utilizado o guia do RETP Australiano.

Lá, se o seu estabelecimento queima mais de um tipo de combustível ou resíduo, é necessário converter os combustíveis e/ou resíduos em unidades de massa. Os diferentes combustíveis e/ou resíduos podem, então, ser somados e comparados com os limites das Categorias 2a e 2b, isto é:

Tabela 4 - Limites mínimos de combustível e/ou resíduos incinerados para o enquadramento nas Categorias 2a e 2b

Tipo de combustível/resíduo	Categoria 2a (limite mínimo)	Categoria 2b (limite mínimo)	Fator de conversão
Petróleo	541.000 litros por ano de referência, OU 1.350 litros em qualquer hora durante o ano de referência	2.710.000 litros por ano de relatório	0.739 kg/L
Combustível sólido (ex: carvão ou lenha)	400 toneladas por ano de referência, OU 1 tonelada em qualquer hora durante o ano de referência	2.000 toneladas por ano de relatório	Não obrigatório
Explosivos (ex: ANFO)	400 toneladas por ano de referência, OU 1 tonelada em qualquer hora durante o ano de referência	2.000 toneladas por ano de relatório	Não obrigatório
Resíduos sólidos, líquidos ou gasosos	400 toneladas por ano de referência, OU 1 tonelada em qualquer hora durante o ano de referência	2.000 toneladas por ano de relatório	Não obrigatório

Descrição do problema: Uma fábrica de pequeno porte produz caminhões especializados e, de acordo com as notas fiscais, consumiu as seguintes quantidades de gás natural, diesel e GLP durante o ano de referência:

- 17.500.000 MJ de gás natural queimados nas caldeiras e em um oxidador térmico (pós-combustor);
- 18 quilolitros (kL) de diesel utilizados por pás-carregadeiras nas instalações; e
- 15 kL de GLP utilizados por empilhadeiras.

30 toneladas (t) de resíduos de solventes foram queimadas no oxidador térmico.



Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima
Secretaria Nacional de Meio Ambiente Urbano, Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental
Departamento de Qualidade Ambiental
Coordenação-Geral de Segurança Química

Para determinar se esta fábrica atingiu algum dos limites das Categorias 2a ou 2b durante o ano de referência, é necessário determinar o peso combinado dos diversos combustíveis e resíduos queimados no local.

➤ **Etapa 1:** Determinar o peso do gás natural queimado

Dados conhecidos: a) 17.500.000 MJ/ano de gás natural queimado; e

b) o poder calorífico do gás natural é 0,0225 kg/MJ (Tabela 4)

Converta a quantidade anual de gás natural de energia (MJ/ano) para massa (t/ano):

$$= \frac{\text{Energia utilizada} \left(\frac{\text{MJ}}{\text{ano}} \right) \times \text{valor calorífico} \left(\frac{\text{kg}}{\text{MJ}} \right)}{\text{fator de conversão para toneladas} \left(\frac{\text{kg}}{\text{t}} \right)}$$

$$= \frac{17.500.000 \left(\frac{\text{MJ}}{\text{ano}} \right) \times 0,0225 \left(\frac{\text{kg}}{\text{MJ}} \right)}{1.000 \left(\frac{\text{kg}}{\text{t}} \right)}$$

= 394 t/ano de gás natural queimado no período de referência.

➤ **Passo 2:** Determinar a massa de óleo destilado (diesel) consumido

Dados conhecidos: a) 18 kL/ano de diesel consumido, e

b) a massa específica do diesel automotivo é 0,836 kg/L (Tabela 1).

Converter o volume de diesel consumido no ano de referência (kL/ano) para massa (t/ano):

$$= \frac{\text{volume} \left(\frac{\text{kL}}{\text{ano}} \right) \times \text{densidade relativa} \left(\frac{\text{kg}}{\text{L}} \right) \times \text{fator de conversão do kilolitro} \left(\frac{\text{L}}{\text{kL}} \right)}{\text{fator de conversão para toneladas} \left(\frac{\text{kg}}{\text{t}} \right)}$$

$$= \frac{18 \left(\frac{\text{kL}}{\text{ano}} \right) \times 0,836 \left(\frac{\text{kg}}{\text{L}} \right) \times 1.000 \left(\frac{\text{L}}{\text{kL}} \right)}{1.000 \left(\frac{\text{kg}}{\text{t}} \right)}$$

= 15 t/ano de consumo de diesel no período de referência.



Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima
Secretaria Nacional de Meio Ambiente Urbano, Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental
Departamento de Qualidade Ambiental
Coordenação-Geral de Segurança Química

➤ **Passo 3:** Determinar a massa de GLP consumido

Dados conhecidos: a) 15 kL/ano de GLP consumido, e

b) a massa específica do GLP é 0,51 kg/L (Tabela 1).

Converter o volume de GLP consumido no ano de referência (kL/ano) para massa (t/ano):

$$= \frac{\text{volume} \left(\frac{\text{kL}}{\text{ano}} \right) \times \text{densidade relativa} \left(\frac{\text{kg}}{\text{L}} \right) \times \text{fator de conversão do kilolitro} \left(\frac{\text{L}}{\text{kL}} \right)}{\text{fator de conversão para toneladas} \left(\frac{\text{kg}}{\text{t}} \right)}$$

$$= \frac{15 \left(\frac{\text{kL}}{\text{ano}} \right) \times 0,51 \left(\frac{\text{kg}}{\text{L}} \right) \times 1.000 \left(\frac{\text{L}}{\text{kL}} \right)}{1.000 \left(\frac{\text{kg}}{\text{t}} \right)}$$

= 8 t/ano de GLP queimado no ano de referência.

➤ **Passo 4:** Determinar o peso combinado (CW) de todos os combustíveis e resíduos queimados

CW = gás natural (t/ano) + diesel (t/ano) + GLP (t/ano) + solventes residuais (t/ano)

$$= 394 \text{ t/ano} + 15 \text{ t/ano} + 8 \text{ t/ano} + 30 \text{ t/ano}$$

= 447 t/ano de combustíveis e resíduos queimados no ano de referência.

Visto que mais de 400 t de combustíveis e resíduos foram queimados durante o período de referência, esta instalação industrial deve declarar todas as substâncias da Categoria 2a.

* Uma lista completa das substâncias da Categoria 2a pode ser encontrada na Tabela 1 do Apêndice A ([aqui](#)).

4.2 Exemplo 2 – Cálculo de emissões utilizando testes na fonte, limites de quantificação e fatores de equivalência tóxica



Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima
Secretaria Nacional de Meio Ambiente Urbano, Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental
Departamento de Qualidade Ambiental
Coordenação-Geral de Segurança Química

Exemplo extraído do guia canadense. Semelhante ao que ocorre no RETP Australiano, a empresa precisa fazer uma análise interna para entender se precisa ou não reportar os dados no RETP.

Para melhor entendimento da situação, considerar pg TEQ/m^3 = picogramas de equivalente tóxico por metro cúbico

Descrição do problema: Nesta instalação, 200 toneladas de resíduos não perigosos foram incineradas durante o ano, com uma taxa de alimentação de resíduos de 100 kg/h. A vazão na chaminé era de $1,2 \text{ m}^3/\text{s}$. A instalação dispõe de dados de monitoramento da chaminé para dioxinas/furanos.

As concentrações medidas de dioxinas/furanos nos gases da chaminé foram:

- 4.0 ng/m^3 de 1,2,3,4,7,8-hexachlorodibenzo-p-dioxin
- 7.0 ng/m^3 de 1,2,3,4,7,8-hexachlorodibenzofuran
- 10.0 ng/m^3 de 1,2,3,6,7,8-hexachlorodibenzofuran

A instalação produziu 20 toneladas de cinzas de incineração no ano, as quais foram enviadas para fora do local para disposição em aterro sanitário. A instalação registrou uma concentração média de dioxinas/furanos de:

- 2.5 mg/ton de cinzas de 1,2,3,4,7,8-hexachlorodibenzo-p-dioxin
- 4.6 mg/ton de cinzas de 1,2,3,4,7,8-hexachlorodibenzofuran
- 8.1 mg/ton de cinzas de 1,2,3,6,7,8-hexachlorodibenzofuran

➤ **Passo 1:** Determinar se a concentração equivalente medida de emissões de dioxinas/furanos para a atmosfera foi superior ao Limite de Quantificação (LoQ) de 32 pg TEQ/m^3

$$\begin{aligned} &= (4,0 \text{ ng/m}^3 \times 0,1 \text{ TEF} + 7,0 \text{ ng/m}^3 \times 0,1 \text{ TEF} + 10,0 \text{ ng/m}^3 \times 0,1 \text{ TEF}) \times (1.000 \text{ pg/1 ng}) \\ &= 2.100 \text{ pg TEQ/m}^3 \end{aligned}$$

Esta instalação é obrigada a reportar as emissões atmosféricas dos congêneres individuais, uma vez que a concentração medida de 2.100 pg TEQ/m^3 foi superior ao LoQ de 32 pg TEQ/m^3 .



Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima
Secretaria Nacional de Meio Ambiente Urbano, Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental
Departamento de Qualidade Ambiental
Coordenação-Geral de Segurança Química

➤ **Passo 2:** Calcular as horas de operação

$$\begin{aligned} &= (200 \text{ toneladas de resíduos/ano}) \times (\text{h}/100 \text{ kg de resíduos}) \times (1.000 \text{ kg/tonelada}) \\ &= 2.000 \text{ horas/ano} \end{aligned}$$

➤ **Passo 3:** Calcular a quantidade de congêneres de dioxinas/furanos emitidos para a atmosfera; por exemplo, 1,2,3,4,7,8-hexaclorodibenzo-p-dioxina

$$\begin{aligned} &= (\text{concentração medida}) \times (\text{vazão}) \times (\text{horas de operação/ano}) \\ &= (4,0 \text{ ng/m}^3) \times (1,2 \text{ m}^3/\text{s}) \times (3.600 \text{ s/h}) \times (2.000 \text{ h/ano}) \times (1 \text{ g}/10^9 \text{ ng}) \\ &= 0,034560 \text{ g/ano} \end{aligned}$$

➤ **Passo 4:** Determinar se a concentração medida de dioxinas/furanos nas cinzas de incineração foi superior ao LoQ de 9 pg TEQ/g de cinza.

$$\begin{aligned} &= (2,5 \text{ mg/tonelada de cinzas} \times 0,1 \text{ TEF} + 4,6 \text{ mg/tonelada de cinzas} \times 0,1 \text{ TEF} + 8,1 \\ &\text{mg/tonelada de cinzas} \times 0,1 \text{ TEF}) \times (1 \text{ g}/1.000 \text{ mg}) \times (10^{12} \text{ pg/g}) \times (1 \text{ tonelada}/10^6 \text{ g}) \\ &= 1.520 \text{ pg TEQ/g de cinzas} \end{aligned}$$

A concentração medida de 1.520 pg TEQ/g de cinzas foi superior ao LoQ para dioxinas/furanos em cinzas, que é de 9 pg TEQ/g de cinzas; portanto, a quantidade de cada congênere individual nas cinzas enviadas para disposição externa deve ser relatada em gramas.

➤ **Passo 5:** Calcular a quantidade de congêneres de dioxinas/furanos contidos nas cinzas de incineração enviadas para disposição externa

$$\begin{aligned} &= (\text{cinzas produzidas}) \times (\text{concentração do congênere nas cinzas}) \\ &= (20 \text{ toneladas de cinzas/ano}) \times (2,5 \text{ mg/tonelada de cinzas}) \times (1 \text{ g}/1.000 \text{ mg}) \\ &= 0,050000 \text{ g/ano} \end{aligned}$$

4.3 Exemplo 3 – Cálculo de engenharia

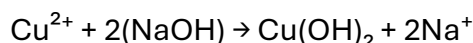
Este método de estimativa, também extraído do guia canadense, baseia-se em propriedades físico-químicas (por exemplo, pressão de vapor) da substância e em relações matemáticas (por exemplo, a lei dos gases ideais).



Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima
Secretaria Nacional de Meio Ambiente Urbano, Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental
Departamento de Qualidade Ambiental
Coordenação-Geral de Segurança Química

Descrição do problema: Neste exemplo, a água de enxágue proveniente de uma unidade de cobreação é tratada separadamente dos demais efluentes do processo. Adiciona-se hidróxido de sódio para precipitar o cobre (Cu) presente no efluente. O precipitado formado nessa reação é removido na forma de lodo da unidade central de clarificação da instalação. Registros de compras e de estoque indicam que 0,9 tonelada de hidróxido de sódio foi utilizada para a precipitação de cobre no ano passado. A quantidade de cobre precipitada corresponde à quantidade de cobre liberada por essa fonte como resíduo sólido.

- Passo 1: Para cada mol de cobre (Cu) presente na água de enxágue, devem ser adicionados dois mols de hidróxido de sódio (NaOH) para precipitar o cobre, de acordo com a seguinte reação:



A literatura científica indica que essa reação se completa em um pH de 7,7. O hidróxido de sódio é adicionado até que se mantenha um pH de 8 na mistura reacional, para garantir a precipitação completa. Sabe-se também que:

- Massa molar do Cu = 63,5 toneladas/tonelada-mol;
- Massa molar do NaOH = 40 toneladas/tonelada-mol.

- Passo 2: Calcular a quantidade de cobre liberada no lodo do tratamento de efluentes: 2 toneladas-mol de NaOH reagem com 1 tonelada-mol de Cu. A razão mássica entre NaOH e Cu é calculada da seguinte forma:

$$\begin{aligned} &= (40 \text{ toneladas de NaOH/tonelada-mol de NaOH}) \times 2 \text{ toneladas-mol de NaOH} : 1 \\ &\quad \text{tonelada-mol de Cu} \times (63,5 \text{ toneladas de Cu/tonelada-mol de Cu}) \\ &= 80 \text{ toneladas de NaOH} : 63,5 \text{ toneladas de Cu.} \end{aligned}$$

Utilizando as proporções acima, pode-se derivar a seguinte equação:

$$(80 \text{ toneladas de NaOH} / 0,9 \text{ tonelada de NaOH}) = (63,5 \text{ toneladas de Cu} / A), \text{ em que}$$

A = quantidade de cobre liberada no efluente.

$$A = (0,9 \times 63,5 \text{ toneladas de Cu}) / 80; A = 0,71 \text{ tonelada de Cu.}$$



Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima
Secretaria Nacional de Meio Ambiente Urbano, Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental
Departamento de Qualidade Ambiental
Coordenação-Geral de Segurança Química

O método de estimativa é válido apenas se o NaOH reagir exclusivamente com o Cu presente no efluente e se a reação for completa.

4.4 Exemplo 4 - Cálculo de emissões utilizando monitoramento contínuo de emissões

Este exemplo foi extraído do guia canadense e ilustra uma forma de estimar as emissões de uma caldeira a óleo que apresenta os dados de monitoramento contínuo de emissões.

*para melhor compreensão do problema, adota-se ppmvd = partes por milhão em volume, base seca

Descrição do problema: trata-se de uma caldeira a óleo cujos dados de monitoramento contínuo (CEM) de emissões foram tabelados a seguir:

Tabela 5 – Dados de monitoramento contínuo

Período	O ₂ (%V)	Taxa de consumo de combustível, Q _{combustível} (10 ³ kg/h)	Vazão dos gases da chaminé, Q _{chaminé} (dRm ³ /min)	Concentração medida, C (ppmvd)			Taxa de emissão calculada, CER (kg/h)		
				SO ₂	NO _x	CO	SO ₂	NO _x	CO
1:00	1,5	15,4	3.576	799	175	20.2	461	73	5
1:10	1,7	16,9	3.855	830	186	23.9	500	81	6
1:20	1,4	15,3	3.433	755	155	29.9	445	66	5
1:30	1,6	16,0	3.720	821	175	20.5	480	74	5
1:40	1,5	16,5	3.760	814	164	29.5	529	77	6
1:50	1,5	16,3	3.754	825	158	29.5	529	73	8

A seguinte equação é utilizada para calcular as emissões a partir das concentrações medidas:

Em que,

CER_x = taxa de emissão calculada do contaminante "x", kg/h

C_x = concentração do contaminante "x", ppmvd

MW_x = massa molar do contaminante "x", g/g-mol



Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima
Secretaria Nacional de Meio Ambiente Urbano, Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental
Departamento de Qualidade Ambiental
Coordenação-Geral de Segurança Química

$$MW_{SO_2} = 64$$

$$MW_{NO_x} = 46 \text{ (como MWNO}_2\text{)}$$

$$MW_{CO} = 28$$

$Q_{\text{chaminé}}$ = vazão volumétrica dos gases de exaustão em base seca nas condições de referência (101,325 kPa e 25 °C), dRm³/min

V = volume ocupado por 1 mol de gás ideal nas condições de referência (24,45 litros/g-mol)

Com isso, as emissões médias de SO₂ para o período de 1 hora do CEM

4.5 Exemplo 5 - Cálculo de liberações utilizando fatores de emissão

Este exemplo foi extraído do guia canadense e ilustra uma forma de estimar as emissões através de fatores de emissão. Importante notar que, nesta situação, foi utilizado o fator disponibilizado pela base de dados do [WebFIRE](#), que pertence à Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA).

Descrição do problema: Uma instalação opera um forno de cimento e a produção do processo totalizou 2.500.000 toneladas de clínquer durante o ano. A instalação utiliza os fatores de emissão fornecidos no banco de dados WebFIRE para calcular as quantidades de HAPs individuais que foram produzidos incidentalmente e liberados, descartados ou transferidos para reciclagem. Para uma produção de 2.500.000 toneladas de clínquer, as quantidades de HAPs individuais liberados para a atmosfera são apresentadas na Tabela 6.

Sabendo que as equações básicas de estimativa de emissão que utilizam um fator de emissão são:

$$E_x = A \times EF$$

$$\text{Emissões controladas} = \text{Emissões não controladas} \times \frac{(100 - \text{eficiência de controle})}{100}$$



Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima
Secretaria Nacional de Meio Ambiente Urbano, Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental
Departamento de Qualidade Ambiental
Coordenação-Geral de Segurança Química

- ✓ E_x = Estimativa de emissão da substância x (kg ou outra unidade de massa)
- ✓ $A = 2.500.000$ toneladas de clínquer
- ✓ EF = Fator de emissão (Tabela 6)

Teríamos, por exemplo,

$$E_{\text{Fluoranteno}} = 2,42 \times 2.500.000$$

$$E_{\text{Fluoranteno}} = 6.050.000 \text{ mg}$$

Tabela 6 – Exemplos com fatores de emissão

HPAs individuais na “Parte 2”, para os quais existe um fator de emissão	Fator de emissão (mg de HPAs/tonelada de clínquer produzido)	Quantidade	
		mg	kg
Fluoranteno	2,42	6.050.000	6,05
Fenantreno	16,9	42.250.000	42,25
Pireno	1,46	3.650.000	3,65
Total			51,95

5. Conclusões

A análise da experiência internacional apresentada ao longo deste documento demonstra que os sistemas de RETP admitem uma ampla variedade de metodologias para a quantificação de emissões e transferências de poluentes. A escolha do método mais adequado depende das características da substância, do processo produtivo, da disponibilidade de informações, não havendo uma solução única aplicável a todas as situações.

Embora métodos baseados em medições diretas possam, em determinadas circunstâncias, proporcionar maior precisão e representar com mais fidelidade as condições específicas de operação de uma instalação, as demais metodologias também são tecnicamente válidas e amplamente aceitas para fins de reporte. Em muitos casos, inclusive, constituem os principais instrumentos utilizados pelos declarantes para estimar suas emissões.

Nesse contexto, é importante destacar que a minuta de resolução do RETP não estabelece qualquer hierarquização entre os métodos de quantificação admitidos, tampouco impõe a realização obrigatória de análises laboratoriais ou monitoramentos diretos para todas as substâncias sujeitas ao reporte; na verdade, a proposta normativa



Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima
Secretaria Nacional de Meio Ambiente Urbano, Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental
Departamento de Qualidade Ambiental
Coordenação-Geral de Segurança Química

busca justamente permitir a utilização de diferentes metodologias reconhecidas, de acordo com a realidade operacional de cada atividade e a disponibilidade de dados existentes.

Dessa forma, ficam esclarecidas as preocupações manifestadas durante a consulta pública quanto à eventual insuficiência da capacidade analítica laboratorial das empresas ou do país como requisito para a implementação do RETP. Como demonstrado, a operacionalização de sistemas dessa natureza em diversas jurisdições não depende exclusivamente de medições diretas, mas da utilização criteriosa de métodos de estimativa tecnicamente reconhecidos e compatíveis com cada situação concreta.

Adicionalmente, cabe ressaltar que a proposta de implementação do RETP prevê, em sua fase inicial, o reporte de substâncias que já são objeto de regulamentação ambiental e que, em muitos casos, já demandam procedimentos de monitoramento e controle por parte dos empreendimentos.

Nesse sentido, eventual necessidade de medições adicionais tende a ser reduzida ou inexistente.

Ou seja, a implementação do RETP não representa a criação de uma nova demanda generalizada por expansão da capacidade laboratorial, mas sim a organização e sistematização de informações ambientais que já são produzidas no contexto da gestão ambiental das atividades reguladas.



Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima
Secretaria Nacional de Meio Ambiente Urbano, Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental
Departamento de Qualidade Ambiental
Coordenação-Geral de Segurança Química

6. Referências bibliográficas

AUSTRALIA. Department of the Environment. *National Pollutant Inventory Guide*. Version 6.1. Canberra: Commonwealth of Australia, September 2015. ISBN 8 642 54690 8. Disponível em: < <https://www.dcceew.gov.au/sites/default/files/documents/npi-guide-version-6.1-september-2015.pdf>>. Acesso em: 25 ago. 2026.

OECD (2024), Resource Compendium of PRTR Release Estimation Techniques, Part 1: Summary of Point Source Techniques – Third edition, OECD Series on Prevention and Control of Pollutant Releases, OECD Publishing, Paris. Disponível em: <https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2024/11/resource-compendium-of-prtr-release-estimation-techniques-part-1-summary-of-point-source-techniques-third-edition_8a563c4a/3ac5cedb-en.pdf> Acesso em: 25 ago. 2026.

CANADA. Environment and Climate Change Canada. Guide for Reporting to the National Pollutant Release Inventory: 2025–2027. Gatineau: Environment and Climate Change Canada, 2025. Cat. No. En81-1E-PDF. ISSN 1480-6622. Disponível em: < https://publications.gc.ca/collections/collection_2026/eccc/En81-1-2025-eng.pdf> .Acesso em: 25 ago. 2026.

CHILE. Ministerio del Medio Ambiente. Guía metodológica para la estimación de emisiones provenientes de fuentes puntuales. Santiago: Ministerio del Medio Ambiente, 2019. ISBN 978-956-7204-86-1. Disponível em: <<https://retc.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2020/01/GUIA-METODOLOGICA-PARA-LA-ESTIMACION-DE-EMISIONES-PROVENIENTES-DE-FUENTES-PUNTUALES.pdf>> . Acesso em: 25 ago. 2026.

CANADA. Environment and Climate Change Canada. Tools for calculating and reporting emissions. Ottawa: Government of Canada, 2026. Disponível em: <<https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/national-pollutant-release-inventory/report/tools-calculating-emissions.html#n9>>. Acesso em: 25 ago. 2026.

WebFire (EPA). Disponível em: < <https://cfpub.epa.gov/webfire/>>. Acesso em: 25 ago. 2026.



Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima
Secretaria Nacional de Meio Ambiente Urbano, Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental
Departamento de Qualidade Ambiental
Coordenação-Geral de Segurança Química