



Encontro Internacional sobre Gestão
Empresarial e Meio Ambiente

ISSN: 2359-1048
Dezembro 2016

Fatores de Emissão Atmosférica e Análise de Significância aplicada na Gestão da Qualidade do Ar no campus do IPEN/CNEN-SP

CAMILA FERNANDA ROCHA TELES TANZILLO SANTOS
milatanzillo@hotmail.com

TATIANE BERNARDINO DE SEIXAS CARVALHO DA SILVA
tatianebscs@live.com

MARYCEL ELENA BARBOZA COTRIM
mecotrim@ipen.br

MARIA APARECIDA FAUSTINO PIRES
mapires@ipen.br

Fatores de Emissão Atmosférica e Análise de Significância aplicada na Gestão da Qualidade do Ar no campus do IPEN/CNEN-SP

Devido ao compromisso com a melhoria do meio ambiente, aliado às crescentes exigências dos órgãos ambientais, e a necessidade de identificar a contribuição de cada atividade/processo desenvolvido em institutos de pesquisas, quanto ao impacto destes à qualidade do ar, este trabalho tem a finalidade de desenvolver um modelo de inventário e aplicar uma metodologia de cálculo, que permita estimar a emissão de poluentes atmosféricos, decorrentes das atividades dos centros de pesquisa e desenvolvimento do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN/CNEN-SP). O estudo foi motivado pela ausência de metodologias de cálculo de emissões atmosféricas específicas para fontes fixas como capelas de exaustão. Para a elaboração dos cálculos foram adotados os fatores de emissão e a equação descrita na AP-42 da EPA- *Environmental Protection Agency*. Foram utilizadas como abordagens de cálculo de emissões: a) Mensuração direta (por meio do inventário de emissões atmosféricas); e b) Estimativa de emissões (utilizando estimativa da taxa de emissão calculada a partir do fator de emissão apropriado). Como produto final obteve-se um inventário de emissões atmosféricas de fontes fixas da instituição e estimou-se a emissão atmosférica do Centro de Química e Meio Ambiente (CQMA) a fim de estabelecer de forma efetiva o Programa de Monitoramento e Controle de Emissões Atmosféricas (PMEA – IPEN), servindo de base para outras instituições de Pesquisa, Desenvolvimento & Inovação.

Palavras-chave: Inventário, emissão de poluentes atmosféricos, AP-42, estimativa de emissões.

Atmospheric Emission Factors and Significance Analysis applied to the Air Quality Management in the IPEN / CNEN-SP Campus

Due to the commitment to improve the environment, combined with the increasing demands of environmental agencies, and the need to identify the contribution of each activity / process developed in research institutes, as well as the impact of these on the air quality, this work aims to develop an inventory model and apply a methodology of calculation for measuring the emission of atmospheric pollutants, arising from the activities of the research and development centers of the Nuclear and Energy Research Institute (IPEN / CNEN-SP). The study was motivated by the absence of atmospheric emission calculation methodologies specific to stationary sources, such as fume hoods. For preparation of the calculations, the emission factors and the equation described in the AP-42 EPA- Environmental Protection Agency were adopted. The emission calculation methods used were: a) Direct measurement (through the inventory of air emissions); and b) Emissions estimate (using the emission rate estimate calculated from the appropriate emission factor). As the final product, an inventory of atmospheric emissions from stationary sources of the institution was obtained and the atmospheric emission of the Chemistry and Environment Center (CQMA) was estimated in order to effectively establish the Program of Monitoring and Control of Atmospheric Emissions (PMEA - IPEN), providing the basis for other Research, Development & Innovation institutions.

Keywords: Inventory, Emission of atmospheric pollutants, AP-42, Emissions estimate.

1. INTRODUÇÃO

A habilidade da sociedade em causar danos significativos ao meio ambiente é um fenômeno diretamente influenciado pelo crescimento demográfico e tecnológico. O homem primitivo, vivendo em menor número e fazendo uso somente ao necessário à sobrevivência, não alterou significativamente o ambiente.

De acordo com Kemp (1994), a população total mudou muito pouco por milhares de anos e o domínio sobre o meio ambiente começou a se tornar um desafio à sobrevivência.

A poluição atmosférica, entretanto, não é um processo recente e de inteira responsabilidade do homem, tendo a própria natureza se encarregado, durante milhares de anos, de participar ativamente deste processo com o lançamento de gases e materiais particulados originários de atividades vulcânicas e tempestades, dentre algumas fontes naturais de poluentes. A atividade antrópica, por sua vez, acaba por intensificar a poluição do ar com o lançamento contínuo de grandes quantidades de substâncias poluentes Oliveira (1997).

Os poluentes se concentram na camada de ar mais próxima à superfície terrestre, a troposfera, zona onde ocorrem a maioria dos fenômenos atmosféricos e o aparecimento de problemas ambientais globais, como, chuva ácida e aquecimento global, porém, nessa mesma camada estão localizados gases de vital importância no equilíbrio térmico do planeta.

Enquanto não havia grandes avanços tecnológicos, a intervenção humana não representava ameaça à atmosfera, que acionava seus mecanismos naturais de controle para manter o equilíbrio térmico do planeta.

A maior contribuição da carga de poluentes nas grandes metrópoles está associada ao setor de transportes; em seguida, o setor industrial assume importante contribuição nas regiões mais desenvolvidas de um país quase sempre associadas à alta densidade demográfica (Pires, 2005).

Entre as influências antropogênicas, uma das mais importantes, relativa às alterações climáticas está à emissão de gases de efeito estufa e as mudanças no uso da terra, com destaque a urbanização e a agricultura (Kalnay & Cai, 2003).

A poluição do ar tornou-se um dos principais fatores que afetam a qualidade de vida da população causando sérios danos ao meio ambiente (Wang, 2010; Guarieiro e Guarieiro, 2013). Uma projeção das emissões consiste em estimativas da evolução das emissões de poluentes atmosféricos com base em um conjunto de hipóteses sobre mudanças nos parâmetros-chave. A Projeção das emissões pode auxiliar nas premissas a serem feitas sobre os futuros níveis de atividades, como produção industrial, consumo de combustíveis ou de materiais, bem como a forma como os fatores de emissão podem mudar ao longo do tempo, em respostas as mudanças tecnológicas, ou a introdução de regulamentação adicional (Uk Naei, 2016).

Atualmente no Brasil os poluentes atmosféricos padronizados são associados aos gases de efeito estufa (GEE): partículas totais em suspensão, fumaça, dióxido de enxofre (SO₂), partículas inaláveis, monóxido de carbono (CO), ozônio (O₃) e dióxido de nitrogênio (NO₂) (CONAMA, 2006; Lisboa e Kawano, 2007).

Durante muito tempo o desenvolvimento econômico decorrente da Revolução Industrial impediu que os problemas ambientais fossem levados em conta. Por ser uma atividade de alto impacto ambiental, surgiu uma crescente preocupação da sociedade e dos órgãos reguladores ambientais, devido ao elevado grau de risco à saúde das populações e de poluição ambiental. Antes da intensa fase regulatória mundial, as indústrias concentravam suas preocupações, excepcionalmente com a produção e os

lucros. Medidas para proteger o meio ambiente, neste período, eram imperceptíveis, o que levou, mais tarde, a danos ambientais irreversíveis.

Ações de controle foram tomadas mundialmente, tais como, redução da emissão de GEE; legislações mais restritivas, a exigência do licenciamento ambiental; o monitoramento ambiental do entorno dos complexos industriais; etc. O foco da emissão de gases de efeito estufa sempre aparece como relevante por ser considerado o principal vetor das mudanças climáticas, devendo cada setor incorporar a avaliação de seus riscos em suas atividades, desenvolvendo projetos com atuação coerente ao parâmetro de sustentabilidade.

Entre os instrumentos utilizados para o gerenciamento da qualidade ar está o inventário de emissões atmosféricas, que segundo o European Environment Agency - EEA (2013) permite o monitoramento das emissões, a avaliação de potenciais impactos ambientais e a verificação do cumprimento de normas e padrões estabelecidos.

Uma das ferramentas de tomada de decisão usada para representar processos químicos associados à poluição do ar e de impactos associados é a utilização de modelos atmosféricos. Essas simulações de cenários futuros necessitam de ser alimentadas de informações sobre as emissões. Inventários de emissões de poluentes atmosféricos representam a compilação de dados e informações que permitem a caracterização das fontes de poluição no tempo e no espaço (EPA, 2001). Inventários de emissão atmosférica de poluentes podem contribuir nos processos de gestão ambiental, podem prover informação de grande relevância para as agências ambientais, governantes e órgãos gestores da qualidade do ar (IPCC, 2013; EPA, 2000).

O Inventário de Emissões Atmosféricas é um instrumento de política de gestão ambiental no tocante aos efluentes atmosféricos no qual consta um conjunto de informações referente ao processo onde as emissões são geradas, aos tipos de poluentes gerados e aos possíveis sistemas de controle. Existe a necessidade de identificar as exigências legais pertinentes no âmbito federal (CONAMA 08/90 complementa a CONAMA 03/90) e estadual.

Os inventários de uma dada região ou determinado empreendimento são fundamentais para o desenvolvimento de estudos científicos em programas de monitoramento e análise da qualidade do ar. Como exemplo, podem auxiliar na medição dos impactos dos diversos setores (energia; transporte, agricultura, indústrias químicas) sobre a qualidade do ar e na saúde, de modo a auxiliar no desenvolvimento de políticas públicas (EPA, 2000; EPA, 2011; IPCC, 2013; Kawashima et al., 2015).

As finalidades mais comuns para o uso de inventário de emissões atmosféricas incluem estudos da qualidade do ar, desenvolvimento estratégico de controle, monitoramento e modelagem de dispersão de emissões e licenciamento de instalações (EPA, 1997). O Programa de Aperfeiçoamento Inventário de Emissões (EIIP-The Emission Inventory Improvement Program (EPA, 2001) tem como objetivo final fornecer um melhor custo-benefício com inventários confiáveis, melhorando a qualidade dos dados de emissões através da melhoria da qualidade de emissão de dados).

As Estimativas de Emissão são importantes para o desenvolvimento de estratégias, determinando a aplicabilidade e facilitando a elaboração programas de controle, determinando os efeitos das fontes e as estratégias apropriadas de mitigação. Dados da fonte que especificam de emissão são geralmente preferenciais para a estimativa da emissão, uma vez que é a melhor representação da emissão desta fonte. Entretanto, fontes individuais de uso não frequente e eventual podem não refletir a variabilidade das emissões no tempo. Assim o fator de emissão pode ser frequentemente

o melhor método para avaliar a estimativa das emissões, dentro de suas limitações (EPA, 2001).

Quanto ao Controle das Emissões de Fontes Fixas não há legislação específica em nível federal, estadual ou municipal, que fixe limites para emissão de poluentes para dutos de exaustão de ambientes ocupacionais; dutos de exaustão do ar circulante em estufas de secagem, exaustores analíticos, outras, existindo legislação somente para MP (material particulado), SO_x, NO_x, CO e CO_x. Apesar do Brasil não possuir, em nível Federal, obrigatoriedade na declaração das fontes e emissões atmosféricas, há um grande esforço das instituições, em nível Estadual, que têm promovido à execução do inventário de fontes fixas e móveis. No Brasil, o Ministério do Trabalho e Emprego (MTE, 1978) estabelece valores de exposição para ambientes de trabalho conforme a NR-15, anexos n° 11 e 13-A, no que se refere aos agentes químicos e atividades e operações insalubres.

Dentro desse contexto, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de estabelecer estratégias para a gestão da qualidade do ar em Institutos de ensino e pesquisa em operação, realizando um inventário das emissões atmosféricas de fontes fixas, para o cálculo das taxas de emissão utilizando o método de fatores de emissão.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Poluição do Ar

Como assinalou Pires (2005), o conceito de poluição atmosférica inclui atividades humana e/ou atividades natural que levam à deterioração da qualidade original da atmosfera.

Poluição atmosférica pode ser definida como a presença de substâncias estranhas na atmosfera, resultantes da atividade humana ou de processos naturais, em concentrações suficientes para interferir direta ou indiretamente na saúde, segurança e bem estar dos seres vivos (Pires, 2005; Cançado et al., 2006).

A Convenção da Comissão Econômica Europeia sobre a Poluição Atmosférica Transfronteiras, define o conceito de poluição atmosférica como a emissão de substâncias ou energia que resultem em efeitos deletérios de tal natureza que coloque em risco a saúde humana, prejudique os recursos biológicos, os ecossistemas e os bens materiais (UNECE, 1979).

De acordo com Gouveia, (1999), a poluição do ar é um problema para a grande proporção da população urbana mundial, cujas implicações na saúde têm sido até hoje subestimadas.

A Resolução CONAMA N° 3, de 28/06/1990, considera poluente atmosférico como:

“Qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e à flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade”.

De acordo com o regulamento da Lei 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente no Estado de São Paulo, considera-se poluente toda e qualquer forma de matéria ou energia lançada ou liberada nas águas, no ar e no solo:

“I) com intensidade, em quantidade e de concentração, em desacordo com os padrões de emissão estabelecidos neste

Regulamento e normas dele decorrentes; II) com características e condições de lançamento ou liberação, em desacordo com os padrões de condicionamento e projeto estabelecidos nas mesmas prescrições; III) por fontes de poluição com características de localização e utilização em desacordo com os referidos padrões de condicionamento e projeto; IV) com intensidade, em quantidade e de concentração ou com características que, direta ou indiretamente tornem ou possam tornar ultrapassáveis os padrões de qualidade do Meio Ambiente estabelecidos neste Regulamento e normas dele decorrentes; V) que, independente de estarem enquadrados nos incisos anteriores, tornem ou possam tornar as águas, o ar ou o solo impróprios, nocivos ou ofensivos à saúde, inconvenientes ao bem estar público; danosos aos materiais, à fauna e à flora; prejudiciais à segurança, ao uso e gozo da propriedade, bem como às atividades normais da comunidade”.

O problema da poluição do ar tem-se constituído numa das mais graves ameaças à qualidade de vida de seus habitantes. É um dos maiores problemas da atualidade, associada diretamente a efeitos negativos na saúde humana e o aumento contínuo das fontes poluidoras sem o devido controle tem cooperado na elevação de níveis de poluição atmosférica. A Organização Mundial de Saúde – OMS considera que os poluentes atmosféricos são um dos 10 produtos químicos de maior preocupação para a saúde pública. As evidências científicas dos efeitos associados à poluição do ar estão bem estabelecidas na literatura, mas não há limite para “efeito zero” para os contaminantes mais estudados (PM10, PM2.5, NO2, SO2 e O3). Estima-se que para cada aumento de 10 mg/m³ de PM10 há um aumento de 0,5% no risco de morte. Os padrões vigentes variam muito de país para país, e alguns não estabelecem limites para alguns parâmetros ou usam limites maiores do que os recomendados pelas diretrizes da OMS.

2.2. Fontes de Poluição

Um poluente pode ter diversas origens, nomeadas “fontes”. Essas fontes podem se constituir em emissões diretas na atmosfera e podem ser de origem natural ou antropogênica. Para Pires (2005), fonte de poluição é um conceito amplo que pode ser definido, como:

1. Um local do qual escapam substância poluentes (chaminés, dutos, descargas de ar, etc);
2. Processos e/ou equipamentos de produção (caldeiras, fornos, linhas de produção, câmaras de combustão, etc);
3. Uma área ou conjunto de pontos e/ou processos e equipamentos numa região específica, capazes de liberar matéria ou energia para a atmosfera, tornando-a poluída.

De acordo com o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (CONAMA n° 382, 2006; CONAMA n° 436, 2011). Fonte de emissão ou fonte é qualquer processo ou atividade que libera poluentes para a atmosfera.

Segundo a CETESB (2000) são consideradas fontes de poluição do ar todas as obras, atividades, instalações, empreendimentos, processos, dispositivos móveis ou imóveis ou meios de transportes, que direta ou indiretamente causem ou possam causar poluição ao meio ambiente.

As diversas fontes de poluição podem ser classificadas da seguinte forma:

- Fontes Estacionárias ou Fontes Fixas → queimadas, processos industriais, queima de combustível em padarias, lavanderias, etc.;
- Fontes Móveis → Todos os meios de transporte terrestre, aéreo e marítimo;
- Fontes Naturais → Todos os processos naturais de emissão que ocorreram/ocorrem durante os milhares de anos, como as atividades vulcânicas, tempestades, liberação de hidrocarbonetos pelas plantas, a ação eólica, etc.

2.3. Inventário de emissões atmosféricas

Os inventários de emissões atmosféricas apresentam inúmeras finalidades, incluindo a modelagem de dispersão das emissões, análise do ambiente, desenvolvimento de estratégia de controle e seleção de fontes para investigações de conformidades (EPA, 1995).

São instrumentos que possibilitam analisar a quantidade, natureza e localização das emissões que ocorrem numa determinada área durante um período de tempo, identificando os setores de atividades e os locais responsáveis pelas maiores emissões de poluentes para a atmosfera. Sendo fundamentais na avaliação e gestão da qualidade do ar, a nível nacional ou a nível regional (CCDR-LVT, 2006).

Além das estimativas de emissões, os inventários geralmente contêm também dados de apoio, por exemplo: os locais das fontes de emissão; medições das emissões, quando disponível; fatores de emissão, as taxas de capacidade de produção ou de atividade nos vários setores de origem; as condições de operação, métodos de medição ou estimativa, etc. (EEA, 2013).

Para atualizar as informações relativas às fontes fixas, em 2009 e 2010, a CETESB desenvolveu o Sistema de Inventário de Emissões de Fontes Estacionárias no Estado de São Paulo - SIEFEESP. Ferramenta que oferece uma ampla visão dessas emissões, auxiliando na implantação de programas de mitigação que promovam iniciativas de redução mais eficazes das emissões no Estado de São Paulo (CETESB, 2011).

Inventários de emissões constituem a base para a modelagem regional e análise da qualidade do ar, a fim de compreender melhor o mecanismo de formação e o transporte de poluentes. Sendo fundamental para o estudo da química atmosférica e desenvolvimento de políticas de controle de uma região (Li et al., 2011, Qiu et al., 2014).

Com o objetivo de estabelecer procedimentos padronizados para a elaboração de inventários de emissões, apresentando métodos preferenciais e alternativos para a estimativa das emissões, foi criado em 1993 “O Programa de Aperfeiçoamento de Inventário de Emissões – EIIP (*Emission Inventory Improvement Program*)”. O EIIP é um programa em conjunto com a EPA, que busca promover o desenvolvimento e a utilização de procedimentos padronizados para a coleta, cálculo, armazenamento, comunicação e compartilhamento de dados de emissões de ar (EPA, 1997).

A primeira etapa no planejamento de um inventário é definir seu escopo. Os poluentes relevantes, fontes emissoras, categorias de fonte e fronteiras geográficas precisam ser identificados antes do início da coleta de dados. Um plano de preparação de inventário deve especificar os procedimentos a serem usados para coletar, processar, analisar e relatar os dados de emissões (EPA, 1997; EPA, 2001).

O processo de elaboração do inventário deve abordar quais os métodos utilizados na estimativa das emissões. Os três principais métodos utilizados são: Testes de fonte; Balanço de materiais e Fatores de emissão (EPA, 2001).

3. METODOLOGIA

Neste item estão descritas as características da área de estudo bem como seus dados de maior relevância. Na sequência serão apresentadas as questões relacionadas ao tipo de fontes emissoras que abrangem o inventário e o procedimento de escolha dos setores inventariados. Em seguida é apresentada a descrição das atividades e ou processos e produtos químicos utilizados, a relação de poluentes inventariados e base de referência para os fatores de emissão assumidos nos cálculos.

3.1. Metodologia do Inventário

O domínio do inventário foi o Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN. O IPEN ocupa uma área de 524.000 metros quadrados (Figura 1) e está localizado no “campus” da Universidade de São Paulo.

O IPEN tem hoje uma destacada atuação em vários setores da atividade nuclear, entre elas, nas aplicações das radiações e na produção de radioisótopos/radiofármacos, em reatores nucleares, em materiais e no ciclo do combustível, em radioproteção e dosimetria, cujos resultados vêm proporcionando avanços significativos no domínio de tecnologias, na produção de materiais e na prestação de serviços de valor econômico e estratégico para o país, possibilitando estender os benefícios da energia nuclear a segmentos maiores de nossa população. O IPEN possui em seu organograma, uma superintendência, o conselho técnico administrativo e cinco diretorias que compõe as áreas administrativas. As áreas técnicas de P&D são formadas por 10 Centros (ou unidades) de pesquisa (www.ipen.br): CB – Centro de Biotecnologia; CCCH - Célula a Combustível e Hidrogênio; CCTM – Ciências dos Materiais; CEI- Ensino e Informação; CEN- Engenharia Nuclear; CLA – Laser e Aplicações; CQMA - Química e Meio Ambiente; CRPq- Reator de pesquisa e CTR – Tecnologia das Radiações.

A multidisciplinaridade das atividades do setor nuclear tem permitido ao IPEN, conduzir um amplo e variado programa de pesquisas e desenvolvimentos em outras áreas.

Dentre eles, o monitoramento das emissões atmosféricas não radioativas geradas no IPEN, este monitoramento é realizado pelas medições de material particulado e gases de efeito estufa na estação de monitoramento IPEN-USP da CETESB instalada dentro de seu campus, próximo a Portaria da Av. Lineu Prestes 2242. São monitorados os parâmetros MP25, NO, NO_x, NO₂, CO e O₃. A estação fixa automática denominada USP-IPEN, n° 31 é operada pela CETESB e esta on-line desde 01 de agosto de 2011 (Posição Geográfica 23° 33’ 59”S, 46° 44’ 14” O). O monitoramento pode ser acompanhado diariamente no site da CETESB http://sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/Ar/php/ar_dados_horarios.php.



Fonte: www.ipen.br

Figura 1: Vista Aérea do Instituto de Pesquisa Energéticas e Nucleares – IPEN

O estudo relativo ao inventário com a caracterização dos processos produtivos e respectivas operações unitárias e detalhamento e caracterização das fontes geradoras foi conduzido no Centro de Química e Meio Ambiente – CQMA, que ocupa uma área total de 7.259,6 m² de área construída. As instalações laboratoriais de processos químicos e caracterização analítica são compostas por 13 laboratórios, distribuídos em 8 prédios distintos.

3.2. Definição da abordagem Utilizada

A elaboração do inventário de emissões atmosféricas foi orientada pelas normas federais que tratam dos padrões de emissões atmosféricas para processos industriais: Resolução CONAMA 382/2006 e Resolução CONAMA 436/2011.

Além delas, também foram observadas normas específicas para o estado ou município de modo que possam conter informações relevantes para elaboração deste estudo. No Estado de São Paulo, por exemplo, a CETESB orienta através da Decisão de Diretoria N° 010/2010/P quanto à elaboração do inventário de fontes, do Programa de Monitoramento de Emissões Atmosféricas - PMEA, bem como dispõe sobre os limites de emissões atmosféricas para o estado de São Paulo.

3.3. Escopo das Atividades Inventariadas

O escopo das atividades inventariadas foi realizado por meio de um levantamento de dados de todos os centros do IPEN através de um questionário, tomando como base o anexo B da Decisão de Diretoria N° 010/2010/P. Na Tabela 1 são apresentados de forma resumida os parâmetros e frequência de monitoramento de emissões atmosféricas, para o estado de SP, definidos para a indústria química os quais foram observados no inventário.

Tabela 1: Parâmetros e frequência de monitoramento de emissões atmosféricas para o Estado de SP definidos para a indústria química.

Parâmetros e frequência de monitoramento de emissões atmosféricas para o estado de SP											
Indústria Química	MP	SOx	NOx	CO/CO2	ERT	Sub. Inorgânicas	F/HF	NH3	HC	VOC e VOCs	D&F
	*	*	*						*		

Fonte: adaptado da Decisão de Diretoria N° 010/2010/P

Frequência: (*)bienal.

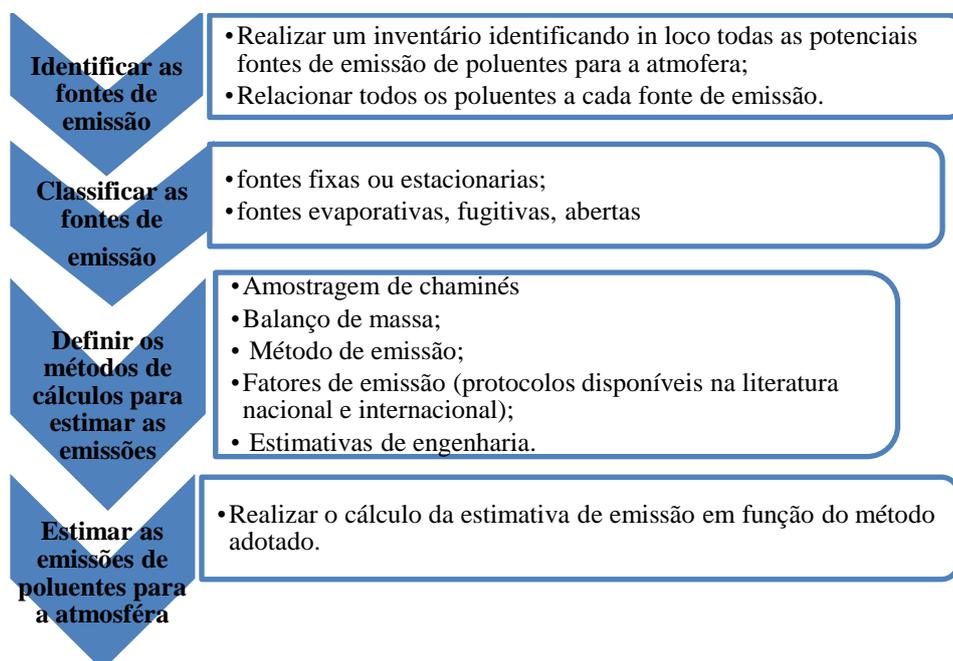
ERT: Enxofre Reduzido Total (ERT); D&F: Dioxinas e Furanos; VOC- Compostos orgânicos voláteis; VOCS – compostos orgânicos semivoláteis.

3.4. Metodologia de Cálculo

O cálculo da estimativa das emissões de poluentes para a atmosfera foi orientado por critérios técnicos e referências internacionais. O Quadro 1 apresenta uma descrição das etapas estabelecidas para a realização do inventário de emissões atmosféricas (CETESB, 2009).

Quanto às referências e critérios técnicos adotados no processo de inventário foram observadas as propriedades físicas e químicas, acrescida das informações necessárias aos cálculos para as emissões.

Foram utilizados os fatores de emissão específicos para estimativa de emissões geradas em cada atividade ou processo executado nas fontes fixas utilizando como referência o estabelecido pela Agência Ambiental Americana – EPA - AP42 – U.S. Environmental Protection Agency, AP42, Volume I, Fifth Edition, January 1995 e pela CETESB, 2009.



Quadro 1: Etapas estabelecidas para realização do inventário de emissões atmosféricas (adaptado de CETESB, 2009).

3.5. Fator de Emissão e Taxa de Emissão

Para realizar os cálculos das possíveis emissões provenientes das instalações do IPEN foi assumida a base de dados do Capítulo 8 - Inorgânica da Indústria Química da “Emissions Factors & AP 42, Compilation of Air Pollutant Emission Factors” disponível em <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/index.html>. Conforme a AP-42 (1995), em alguns casos, a operação é executada com um sistema fechado, o que permite pouca ou nenhuma emissão que escape para a atmosfera. As emissões que chegam à atmosfera da indústria química inorgânica em geral são gasosas e controladas por adsorção ou absorção. As estimativas de dados de emissões provenientes de processos químicos são escassas, por serem de uso não frequente e eventual, podendo não refletir a variabilidade das emissões no tempo. Desta forma, o fator de emissão tem sido frequentemente o melhor método para avaliar as estimativas das emissões atmosféricas, dentro de suas limitações.

Segundo a AP-42, o fator de emissão é um valor representativo que relaciona a quantidade de poluentes emitidos para a atmosfera com uma atividade potencialmente poluidora. Este fator é, usualmente, expresso em unidades de massa do poluente

dividido por unidade de massa, volume, distância ou duração da atividade emissora de poluentes. O fator de emissão facilita significativamente a estimativa das emissões provenientes de várias fontes de poluição do ar, por que são médias representativas de dados disponíveis de uma determinada instalação ao longo de um prazo de qualidade aceitável.

Para o cálculo das emissões com a utilização dos fatores são necessárias algumas informações básicas, como o processo da atividade, especificado pelo fator de emissão; o fator de emissão correspondente a fim de transformar a informação do processo da atividade em estimativa de emissão com controle ou sem controle; e a eficiência dos mecanismos de captura e controle das emissões, quando aplicável.

A seguir é descrita a equação geral a ser aplicada para determinação dos fatores de emissão é:

$$E = A * EF * \left(1 - \frac{ER}{100}\right)$$

Onde:

E = Taxa de Emissão;

A = Taxa de execução da atividade;

EF = Fator de emissão característico da atividade;

ER = Eficiência do equipamento de controle de poluição utilizado, %.

Para os fatores de emissão com controle, o termo $(1 - ER/100)$ já está incorporado, sendo a equação simplificada, representada como:

$$E = A * EF$$

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1. Levantamento de Dados

O inventário realizado teve como ano-base 2015, sendo os dados coletados entre os anos de 2013 e 2015. As áreas inventariadas no IPEN compreendem todas as unidades de pesquisa e desenvolvimento que geram resíduos e emissões atmosféricas. Esse inventário foi realizado com auxílio dos representantes ambientais de cada área de pesquisa do IPEN, bem como pelo gerente responsável. Os resultados foram obtidos a partir da consolidação de dados inseridos pelas áreas utilizando um sistema e planilha excel, seguindo o manual de orientações da CETESB, onde diz que na ausência de dados de amostragem de fontes fixas individuais, as emissões podem ser estimadas por meio do emprego de fatores de emissão ou de balanço de massa. No que se refere ao fator de emissão, a CETESB sugere que sejam utilizados os dados da EPA (AP 42).

A Tabela 2 apresenta, com base no organograma institucional e das atividades realizadas em cada unidade geradora (centros de pesquisas).

Tabela 2: Inventário por centros e processos produtivos, visando a identificação das fontes fixas de emissão atmosférica no IPEN.

Unidades Geradoras	DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS PRODUTIVOS						
	Materiais			Processo Químico	Nuclear	Farmacêutica	Petroquímica (Solventes)
	Metálicos	Cerâmicos	Polimérico				
CR				X	X	X	
CB							
CCCH							
CCTM	X	X	X				
CCN				X	X		
CEN							
CLA							
CQMA			X	X	X		X
CRPQ					X		
CTR			X	X	X		

Os dados foram tabulados (Tabela 3), sendo identificados por: Laboratório de cada Centro de Pesquisa gerador; descrição sucinta do processo produtivo sob ponto de vista de geração de poluentes atmosféricos; identificando se a atividade gera/libera estes poluentes atmosféricos; identificação das fontes fixas (capelas e coifas); identificação dos produtos químicos utilizados (HNO_3 , HCl , H_2SO_4 , H_3PO_4 , HF , H_3ClO_4 , $\text{NH}_3/\text{NH}_4\text{OH}$ e outros) e respectivo consumo (litros.mês^{-1}), com vistas à geração de poluentes atmosféricos (SO_x , NO_x , CO/CO_2 , VOC/VOCS , MP-10); identificação da existência de sistema de remoção e/ou controle de poluentes de emissões atmosféricas (filtros, lavadores, monitoramento).

Os dados fornecidos foram inseridos em um banco de dados e organizados, a fim de calcular a taxa de emissão de cada poluente.

Quanto aos equipamentos de controle da poluição (ECP) para executar este programa deverão ser classificados e fornecer informações como: tipo; característica (solução de lavagem, tipo de mangas, etc.); eficiência esperada e/ou garantida pelo fabricante; parâmetros operacionais do equipamento instalado (perda de carga, temperatura, etc.); tipo e a frequência da limpeza dos equipamentos de controle.

O IPEN possui sistemas de remoção e/ou controle de poluentes de emissões atmosféricas como lavadores de gases e filtros, são eles:

- Gerência de Rejeitos Radioativos: possui medidas preventivas e de controle para impedir a geração do poluentes atmosféricos quando se trata de manipulação de material nuclear e rejeitos radioativos, sendo: 02 sistemas de remoção de filtros HEPA para particulado e um sistema misto de filtros de HEPA e carvão ativado, sendo que todas possuem um sistema de monitoramento com detector portátil de radiação;
- Centro de Radiofarmácia: Sistemas com filtros HEPA semelhantes e detectores de radiação estão disponíveis e operacionais;
- Centro de Química e Meio Ambiente - Laboratório de Tecnologias Alternativas de Refino: possui 4 sistemas de lavadores específicos e um filtros metálicos ligados ao processo, sendo sistema de absorção de gás para H_2S - modelo LG 95-300-TUSV; Sistema de filtros metálicos com água ligados ao processo e controle de processo- com verificação de pH da solução do sistema de absorção;
- Centro de Tecnologia das Radiações - Laboratorio de Produção de Fontes para Radioterapia: possui uma capela de exaustão na qual esta ligado um sistema HEPA filtro com carvão ativo, sistema esse monitorado por detecção;
- Centro do Combustível Nuclear: possui instalado em seus processos 4 coifas com sistema de lavador de gases tipo Venturi e um sistema com filtro secundário, sendo realizado controle semestral por análise química de nitrato, pH, fluoreto, estanho e urânio.

O estudo relativo ao inventário com a caracterização dos processos produtivos e respectivas operações unitárias e detalhamento e caracterização das fontes geradoras foi conduzido no Centro de Química e Meio Ambiente – CQMA, que ocupa uma área total de $7.259,6 \text{ m}^2$ de área construída. As instalações laboratoriais de processos químicos e caracterização analítica são compostas por 13 laboratórios, distribuídos em 8 prédios distintos.

4.2. Metodologia do cálculo

As abordagens para a elaboração do cálculo de emissões foram realizadas por:

- Mensuração direta: levantamento da atividade, relação quantitativa, dos reagentes utilizados nas fontes fixas por meio do inventário de emissões atmosféricas.
- Propriedades físico-químicas: levantamento das características físico-químicas do produto utilizado. – Ex: densidade
- Estimativa de emissões: estimativa da taxa de emissão calculada a partir do fator de emissão apropriado.

Foi adotada a equação simplificada descrita na AP-42 (EPA,1995). A equação utilizada é a combinação das informações sobre as atividades, levantamento dos reagentes utilizados nas fontes fixas, com os fatores de emissão, que relaciona a quantidade de poluentes emitidos por atividades. Como resultado, temos a taxa de emissão que relaciona a quantidade de emissão de determinado poluente por tempo (Taxa de Emissão = Taxa de Atividade x Fator de emissão).

Na Tabela 4 estão apresentados as taxas de atividades dos laboratórios para cada reagente, de acordo com os resultados referentes ao inventário de reagentes químicos individualizado por laboratório do CQMA (LAQA - Laboratorio de análises química e ambiental; LNM – Laboratório de Nanomateriais; LPDT e LCQ – Laboratório de Caracterização Química).

Tabela 4: Inventário de reagentes por laboratório químico e taxa de atividade por mês.

Laboratório	Reagentes	Taxa de Atividade [L.mês⁻¹]
LAQA	HNO ₃	6,55
	HCl	1,23
	H ₂ SO ₄	3,24
	HF	0,21
LNM	HNO ₃	1,5
	HCl	1,5
	H ₂ SO ₄	-
	HF	-
LPDT	HNO ₃	2
	HCl	1
	H ₂ SO ₄	-
	HF	1
LCQ	HNO ₃	5,41
	HCl	4,8
	H ₂ SO ₄	1,5
	HF	0,12

Vale ressaltar que os dados coletados foram extrapolados ou superestimados, assumindo que todo o reagente utilizado fosse convertido em emissão gasosa. Como os laboratórios do IPEN se destinam basicamente P&D nas áreas nuclear e meio ambiente, portanto a sua atividade, quantidade de um determinado produto referente a um dado período de tempo, não equivale à 8h por dia nos 5 dias da semana.

Os cálculos foram adotados em unidade de massa, para isto, utilizou-se a propriedade físico-química, densidade de cada reagente para transformar a taxa da atividade de [L.mês⁻¹] para [g.mês⁻¹]. A Tabela 5 apresenta os ácidos e suas respectivas densidades adotadas foram:

Tabela 5: Descrição e densidade dos reagentes inventariados.

Reagente	Densidade [g.(cm ³) ⁻¹ em 20 °C]
Ácido Nítrico 65% PA	1,39
Ácido Clorídrico 37% PA	1,19
Ácido Sulfúrico 95 – 97% PA	1,84
Ácido Fluorídrico 48% PA	1,16

Fonte: <http://www.merckmillipore.com/BR/pt/product/>

Os fatores de emissão adotados estavam na unidade de [lb.ton de ácido produzido⁻¹], foram transformados em [kg.kg de ácido utilizado⁻¹], sabendo que 1 lb são 0,453592 kg. Os fatores de emissão utilizados estão apresentados na Tabela 6:

Tabela 6: Fatores de emissão descritos na AP-42.

Reagente	Fator de emissão [lb.ton de ácido produzido ⁻¹]
HNO ₃	57
HCl	1,8
H ₂ SO ₄	70
HF	25

Fonte: adaptado de AP- 42 - www.epa.gov/ttn/chief/ap42/index.html

Para calcular as emissões de NO_x, SO_x, Cl⁻ e F⁻ para a atmosfera tomou-se como base estes dados e cálculos apresentados. A Tabela 7 apresenta as taxas de emissão dos poluentes emitidos para cada laboratório do CQMA.

Tabela 7: Taxa de Emissão dos poluentes emitidos no CQMA.

Laboratório	Poluentes emitidos	Taxa de Emissão Mensal [kg.kg de ácido utilizado ⁻¹]
LAQA	NO _x	0,2354
	SO _x	0,1893
	Cl ⁻	0,0012
	F ⁻	0,0027
LNM	NO _x	0,0539
	SO _x	-
	Cl ⁻	0,0015
	F ⁻	-
LPDT	NO _x	0,0719
	SO _x	-
	Cl ⁻	0,0010
	F ⁻	0,0128
LCQ	NO _x	0,1725
	SO _x	-
	Cl ⁻	0,0015
	F ⁻	0,0077

5. CONCLUSÕES

A metodologia de cálculo de emissões atmosféricas apresentada neste trabalho é uma metodologia baseada nos critérios da Agência de Proteção Ambiental – EPA descritos na “Emissions Factors & AP 42, Compilation of Air Pollutant Emission

Factors”, que aplicada de acordo com as especificidades do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares.

Essa metodologia possibilitará o diagnóstico das emissões dos Centros de pesquisas, desenvolvimento e inovação do IPEN e a identificação dos processos com emissões mais significativas, podendo ser utilizada em outros institutos de pesquisas. A partir deste procedimento será possível dar início a revisão e otimização de todos os processos existentes com o objetivo de identificar possíveis medidas mitigadoras para redução das emissões atmosféricas.

Os padrões de emissão existentes estão restritos às fontes de combustão externa que utilizam óleo combustível e óleo diesel, não havendo referência a fontes com emissões em centros de pesquisas voltados para desenvolvimento e inovação.

Desse modo, esse trabalho pretende contribuir para a implementação da gestão das emissões atmosféricas de fontes estacionárias nos laboratórios dos centros de pesquisas do IPEN, contribuindo para o Programa de Monitoramento Atmosférico PMA-IPEN.

6. REFERÊNCIAS

BRASIL. Lei Estadual nº 997 de 31 de maio de 1976. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/>> Acessado em 19/03/2015.

Ministério do Trabalho e Emprego - MTE. NR 15 – Atividades e Operações. Brasília:1978. Disponível em: <<http://trabalho.gov.br/seguranca-e-saude-no-trabalho/normatizacao/normas-regulamentadoras/norma-regulamentadora-n-15-atividades-e-operacoes-insalubres>>. Acesso em: 17/03/2015.

Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA. Resolução CONAMA nº 03 de 28 de junho de 1990. Disponível em <<http://www.mma.gov.br>>. Acessado em 18/02/2015.

Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA. Resolução CONAMA nº 08 de 06 de dezembro de 1990. Disponível em <<http://www.mma.gov.br>>. Acessado em 18/02/2015.

Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA. Resolução CONAMA nº 382, de 26 de dezembro de 2006. Disponível em <<http://www.mma.gov.br>>. Acessado em 18/02/2015.

Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA. Resolução CONAMA nº 436, de 26 de dezembro de 2011. Disponível em <<http://www.mma.gov.br>>. Acessado em 18/02/2015.

CANÇADO, J; BRAGA, A; PEREIRA, L; ARBEX, M; SALDIVA, P; SANTOS, U. 2006. Repercussões Clínicas da Exposição à Poluição Atmosférica. Trabalho realizado no Laboratório de Poluição Atmosférica do Departamento de Patologia da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo - FMUSP - São Paulo (SP) Brasil.

CCDR-LVT - Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo. Inventário de Emissões Atmosféricas da Região de Lisboa e Vale Do Tejo 2000-2001. 1ª ed., Lisboa, 2006.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Inventário de Emissões das Fontes Estacionárias do Estado de São Paulo - Manual de Preenchimento. São Paulo, 2009.

Decisão de Diretoria nº 010/2010/P, de 12 de janeiro de 2010. Disponível em <http://www.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/11/2013/11/DD_010_DO.pdf>. Acessado em 15/03/2015.

Inventário de emissões antrópicas de gases de efeito estufa diretos e indiretos do Estado de São Paulo, São Paulo, 2ªed., 2011.

Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo 2000. Série Relatórios, São Paulo 2000.

EEA - European Environment Agency. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2013. Technical guidance to prepare national emission inventories. N° 12, 2013. Disponível em: <<http://www.eea.europa.eu>> Acessado em: 18/03/2015.

EPA - Environmental Protection Agency. Compilation of Air Pollutant Emission Factors, AP-42, Fifth Edition, Introduction, January, 1995.

Introduction to the Emission Inventory Improvement Program. Emission Inventory Improvement Program - Technical Report Series, v.1, julho, 1997.

Compilation of Air Pollutant Emission Factors. Volume I: Stationary Point and Area Sources. Chapter 3: Stationary Internal Combustion Sources. 5th Edition, USEPA, 2000.

Introduction to Stationary Point Source Emission Inventory Development. Emission Inventory Improvement Program - Technical Report Series, v.2, capítulo 1 maio, 2001.

Emission Inventory Improvement Program. Volume II: Introduction to the Stationary Point Source Emission Inventory Development. USEPA, 2011.

GOUVEIA, N. Saúde e Meio Ambiente nas cidades: Os desafios da saúde ambiental. São Paulo. 1999.

GUARIEIRO, L.L.N.; GUARIEIRO, A.L.N. Vehicles emissions: What will change with the use of biofuel? In: FANG, Z. (Ed.). Biofuels – Economy, Environment and Sustainability, 2013.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policymakers. In: Stocker, T.F., Qin, D. 2013.

LISBOA, H. M.; KAWANO, M. Controle da Poluição Atmosférica – Monitoramento de Poluentes Atmosféricos. Montreal, 2007.

LI, L., CHEN, C.H., FU, J.S., HUANG, C., STREETS, D.G., HUANG, H.Y., ZHANG, G.F., WANG, Y.J., JANG, C.J., WANG, H.L., CHEN, Y.R., FU, J.M.,. Air quality and emissions in the Yangtze River Delta, China. Atmos. Chem. Phys, v.11, pp 1621-1639, 2011.

KALNAY, E.; MING CAI, M., 2003. Impact of urbanization and land-use change on climate. Nature 423, 528-531.

KAWASHIMA, A.B.; MORAIS, M.V.B. de, MARTINS, L.D.; URBINA, V.; RAFEE, S.A. A.; CAPUCIM, M.N.; MARTINS, J.A. Journal of Geoscience and Environment Protection, 2015, 3, 72-76, 2015.

KEMP, D. D. Global Environment Issues - A Climatological Approach. 2 ed. USA, Routledge, 1994.

OLIVEIRA, J.L.F. Poluição Atmosférica e o Transporte Rodoviário: Perspectivas de Uso do Gás Natural na Frota de Ônibus Urbanos da Cidade do Rio de Janeiro. Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 1997.

PIRES, D. Inventário de Emissões Atmosféricas de Fontes Estacionárias e sua Contribuição para a poluição do ar na região metropolitana do Rio de Janeiro. 188 f. Tese (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2005.

UNECE - United Nations Economic Commission for Europe. 1979 Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution. 1997. Disponível em: < <http://www.unece.org>> Acessado em: 18/03/2015.

QIU, P., TIAN H., ZHU, C., LIU, K., GAO, J., ZHOU, J. An elaborate high resolution emission inventory of primary air pollutants for the Central Plain Urban Agglomeration of China. Atmospheric Environment , v.86, pp 93-101, 2014.

UK NAEI, National Atmospheric Emissions Inventory; AQPI Summary Report – Emissions of Air Quality Pollutants – 1990-2014. 2016.

WANG, Y. The analysis of the impacts of energy consumption on environment and public health in China. *Energy*, v. 35, n. 11, p. 4473-4479, 2010.