



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

AS EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS EM EMPREENDIMENTOS
DE INCINERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DO ESTADO DE MINAS
GERAIS: ANÁLISE CRÍTICA DO ATENDIMENTO AOS PADRÕES LEGAIS

IARA LEMOS NASCIMENTO ROSSO

Belo Horizonte

2016

IARA LEMOS NASCIMENTO ROSSO

AS EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS EM EMPREENDIMENTOS
DE INCINERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DO ESTADO DE MINAS
GERAIS: ANÁLISE CRÍTICA DO ATENDIMENTO AOS PADRÕES LEGAIS

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Centro Federal de
Educação Tecnológica de Minas Gerais
como requisito parcial para obtenção do
título de Engenheiro Ambiental e
Sanitarista.

Orientadora: Prof.^a D^{ra} Adriana Alves Pereira Wilken

Belo Horizonte

2016

ROSSO, Iara Lemos Nascimento

S---

As emissões de poluentes atmosféricos em empreendimentos de incineração de resíduos sólidos do estado de Minas Gerais: ANÁLISE CRÍTICA DO ATENDIMENTO AOS PADRÕES LEGAIS / Iara Lemos Nascimento Rosso – Registro: 2016

--f.; -- cm

Orientadora: Prof^a D^{ra} Adriana Alves Pereira Wilken.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2016

1. Poluição atmosférica. 2. Incineração 3. Resíduos sólidos. I. Rosso, Iara Lemos Nascimento. II. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. III. As emissões de poluentes atmosféricos em empreendimentos de incineração de resíduos sólidos do estado de Minas Gerais: análise crítica do atendimento aos padrões legais.

IARA LEMOS NASCIMENTO ROSSO

AS EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS EM EMPREENDIMENTOS
DE INCINERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DO ESTADO DE MINAS
GERAIS: ANÁLISE CRÍTICA DO ATENDIMENTO AOS PADRÕES LEGAIS

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Centro Federal de
Educação Tecnológica de Minas Gerais
como requisito parcial para obtenção do
título de Engenheiro Ambiental e
Sanitarista.

Data de aprovação: ___/___/ 2016

Banca examinadora:

_____ Data: ___/___/___
Profª D^{ra} Adriana Alves Pereira Wilken – CEFET-MG - Orientadora

_____ Data: ___/___/___
Profª D^{ra} Patrícia Sueli de Rezende – CEFET-MG

_____ Data: ___/___/___
MSc. Alice Libânia Santana Dias – Fundação Estadual de Meio Ambiente
(FEAM)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, pelo suporte durante toda a minha jornada no CEFET e por serem sempre a imagem de força e superação na qual eu inspiro minha vida.

À professora Adriana, pela dedicação e paciência na escrita desse trabalho e por exigir sempre o melhor de mim.

À FEAM, por me proporcionar aprendizado profissional e também suporte técnico para realização desse trabalho, em especial aos integrantes da Gerencia de Resíduos Especiais, Alice, Ana, Luiza, Omar, Karina, Cíntia e Arthur, por fazerem do ambiente de trabalho um local de acolhimento e respeito mútuo.

À todos os amigos que fiz no CEFET, por me dar apoio e incentivo nos momentos difíceis e por comemorarem sinceramente minhas vitórias.

À Marcilene, pelo bom humor imbatível.

Ano passado eu morri, mas esse
ano eu não morro.

Belchior – Sujeito de Sorte

RESUMO

ROSSO, I. L. N. As emissões de poluentes atmosféricos em empreendimentos de incineração de resíduos sólidos do estado de Minas Gerais: análise crítica do atendimento aos padrões legais. (2016). 93f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica e Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

Os resíduos sólidos podem ser considerados a expressão mais visível e concreta da poluição ambiental, ocupando um importante papel na estrutura de saneamento de uma comunidade. Para resíduos sólidos perigosos ou industriais, a incineração é especialmente indicada como tratamento. O aspecto ambiental mais importante relacionado ao processo de incineração de resíduos sólidos é a emissão de poluentes atmosféricos. Nesse contexto, o presente estudo objetiva aumentar o conhecimento a respeito das emissões de poluentes atmosféricos das empresas incineradoras de resíduos sólidos do estado de Minas Gerais de modo a fomentar uma discussão sobre a necessidade de uma legislação estadual específica sobre o tema. Para tanto, propôs-se a realização da contraposição entre o que é atualmente emitido, o que é legalmente admissível a nível nacional e o que é considerado legalmente admissível em outros entes federativos e na Europa. Constatou-se que a maioria dos empreendimentos de incineração não atende aos limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos estabelecidos na legislação nacional (Resolução CONAMA nº 316/2002). Além disso, nenhum empreendimentos analisados atende a legislação estadual que possui limites de emissão de poluentes mais restritivos que a nacional nem os limites estabelecidos na Diretiva Europeia 2010/75/EU. Dessa forma, pode-se inferir que, antes da exigência de limites ambientais mais restritivos, o estado de Minas Gerais necessita primeiramente garantir que as empresas de incineração de resíduos sólidos em seu território atendam aos requisitos da Resolução CONAMA nº 316/2002.

Palavras-Chave: Incineração. Resíduos Sólidos. Poluição Atmosférica. Minas Gerais.

ABSTRACT

ROSSO, I. L. N. Emissions of air pollutants in solid waste incineration enterprises in the state of Minas Gerais: critical analysis of complies of legislation standards. (2016). 93f. Monograph (Graduate) - Department of Environmental Science and Technology, Federal Center of Technological Education and Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

Solid waste can be considered the most visible and concrete expression of environmental pollution, playing an important role in the sanitation structure of a community. For hazardous or industrial solid wastes, incineration is especially indicated as treatment. The most important environmental aspect related to the solid waste incineration process is the emission of atmospheric pollutants. In this context, the present study aims to increase the knowledge about the emissions of air pollutants from solid waste incinerators in the state of Minas Gerais, in order to encourage discussion about the need for specific state legislation on the subject. In order to do so, it was proposed to carry out the contraposition between what is currently issued, which is legally admissible at national level and what is considered legally admissible in other federative entities and in Europe. Thus it was found that most incineration plants can not comply with national legislation standards (CONAMA Resolution n^o. 316/2002). In addition, none of the enterprise studied complies with more restrictive state legislation standards than the national and the European Directive 2010/75 / EU. In this way, it can be inferred that, prior to the requirement of more restrictive environmental limits, the state of Minas Gerais needs first to ensure that the incineration plants in its territory comply with the guidelines established by CONAMA Resolution No. 316/2002.

Keywords: Incineration. Solid Waste. Atmospheric Pollution. Minas Gerais.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos resíduos sólidos de acordo com sua origem, estabelecida pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010).	20
Tabela 2- Classificação dos resíduos sólidos de acordo com sua periculosidade, estabelecida pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei Nº 12.305/2010).	21
Tabela 3 - Classificação dos resíduos sólidos de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas.....	22
Tabela 4 - Classificação dos resíduos sólidos urbanos de acordo com a origem segundo a Agência Nacional de Vigilância Sanitária	22
Tabela 5 - Classificação dos resíduos de fontes especiais segundo a Agência Nacional de Vigilância Sanitária	23
Tabela 6 - Classificação dos resíduos de serviço de saúde de acordo com a Resolução da Diretoria Colegiada- RDC/ANVISA Nº 306/2004	24
Tabela 7 - Fatores de equivalência de toxicidade (FTEQ) para dioxinas e furanos definidos pela da Resolução CONAMA nº 316/2002	46
Tabela 8 – Informações sobre empreendimentos de incineração de resíduos sólidos do estado de Minas Gerais com licença de operação válida em 2016.	49
Tabela 9 - Limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos de acordo com as legislações brasileiras (todos os valores corrigidos a 7% de O ₂ em base seca).	54

Tabela 10 - Limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos segundo a Diretiva Europeia 2010/75/EU (todos os valores corrigidos a 7% de O ₂ em base seca).	59
Tabela 11 – Resultados das concentrações de poluentes nas emissões atmosféricas da empresa A de incineração de resíduos, localizada no município de Simão Pereira, Minas Gerais.....	62
Tabela 12 - Resultados das concentrações de poluentes nas emissões atmosféricas da empresa B de incineração de resíduos, localizada no município de Conselheiro Lafaiete, Minas Gerais.	64
Tabela 13 - Resultados das concentrações de poluentes nas emissões atmosféricas da empresa C de incineração de resíduos, localizada no município de Contagem, Minas Gerais.	66
Tabela 14 - Resultados das concentrações de poluentes nas emissões atmosféricas da empresa D de incineração de resíduos, localizada no município de Lavras, Minas Gerais	68
Tabela 15 - Resultados das concentrações de poluentes nas emissões atmosféricas da empresa E de incineração de resíduos, localizada no município de Ubá, Minas Gerais.....	70
Tabela 16 - Resultados das concentrações de poluentes nas emissões atmosféricas da empresa F de incineração de resíduos, localizada no município de Montes Claros, Minas Gerais	72
Tabela 17 - Resultados das concentrações de poluentes nas emissões atmosféricas da empresa G de incineração de resíduos, localizada no município de Uberlândia, Minas Gerais.....	74

Tabela 18 - Resultados das concentrações de poluentes nas emissões atmosféricas da empresa H de incineração de resíduos, localizada no município de Contagem, Minas Gerais	76
Tabela 19 - Resumo das falhas encontradas nos relatórios de automonitoramento das emissões de poluentes atmosféricos das empresas de incineração de resíduos sólidos de Minas Gerais, denominadas A, B, C, D, E, F, G e H.....	78
Tabela 20 - Comparação dos dados de automonitoramento dos empreendimentos de incineração de resíduos sólidos de Minas Gerais com os limites máximos de emissões de poluentes atmosféricos estabelecidos na Norma Técnica CETESB E15.011/1997	80
Tabela 21 - Resumo das falhas encontradas nos relatórios de automonitoramento das empresas de incineração de resíduos sólidos de Minas Gerais em relação aos limites máximos de emissões de poluentes atmosféricos estabelecidos na Norma Técnica CETESB E15.011/1997.....	83
Tabela 22 - Comparação dos dados de automonitoramento dos empreendimentos de incineração de resíduos sólidos de Minas Gerais com os limites máximos de emissões de poluentes atmosféricos estabelecidos na Diretiva Europeia 2010/75/EU	85
Tabela 23 - Resumo das falhas encontradas nos relatórios de automonitoramento das empresas de incineração de resíduos sólidos de Minas Gerais em relação aos limites máximos de emissões de poluentes atmosféricos estabelecidos na Diretiva Europeia 2010/75/EU	88

LISTA DE FIGURAS

Figura 1–Representação esquemática de um incinerador de resíduos sólidos	29
Figura 2 - Incinerador de injeção líquida	31
Figura 3 - Incinerador de câmaras fixas	32
Figura 4 - Incinerador de leitos fluidizados	33
Figura 5 - Forno rotativo	34
Figura 6 - Estrutura molecular das dioxinas e dos furanos	37

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	17
2.1	Objetivo Geral	17
2.2	Objetivos Específicos	17
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
3.1	A questão dos resíduos sólidos no Brasil.....	18
3.1.1	<i>A classificação brasileira dos resíduos sólidos</i>	18
3.1.2	<i>A importância da destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos</i>	26
3.2	A incineração de resíduos sólidos	28
3.3	Principais poluentes atmosféricos gerados no processo de combustão	35
3.4	Controle da poluição atmosférica	38
3.4.1	<i>Resfriador tipo Quench</i>	39
3.4.2	<i>Filtros de manga</i>	39
3.4.3	<i>Precipitadores eletrostáticos</i>	40
3.4.4	<i>Lavadores de gases</i>	40
3.5	Padrões de emissão de poluentes atmosféricos	41
3.6	A Resolução CONAMA nº 316 de 2002	42
4	METODOLOGIA	47
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	51

5.1	Normas e legislações sobre incineração de resíduos sólidos	51
5.1.1	<i>A Diretiva Europeia para incineração de resíduos sólidos.....</i>	<i>57</i>
5.2	Automonitoramento das emissões de poluentes atmosféricos dos empreendimentos de incineração de resíduos sólidos de Minas Gerais	60
5.3	Comparação dos resultados apresentados pelos empreendimentos de incineração do estado de MG com o exigido por outras normas/legislações	79
6	CONCLUSÕES	90
7	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	91

1 INTRODUÇÃO

Os resíduos sólidos podem ser considerados a expressão mais visível e concreta da poluição ambiental, ocupando um importante papel na estrutura de saneamento de uma comunidade. Assim, o correto manejo desses resíduos possui reflexos nos aspectos relacionados à saúde pública e conservação do meio ambiente (BARROS, 2012).

O tratamento de resíduos sólidos pode ser realizado por meio de diversas tecnologias. Para resíduos sólidos perigosos ou industriais, a incineração é especialmente indicada (BARROS, 2012). A incineração de resíduos consiste basicamente em uma oxidação térmica, com temperaturas do processo variando de 800 a 1300 °C. Nessas temperaturas e com o excesso de oxigênio, é possível formar uma atmosfera fortemente oxidante, onde ocorre a destruição térmica dos resíduos, com a consequente redução de volume e de toxicidade do material incinerado (ABNT NBR 10.004, 2004).

O aspecto ambiental mais importante relacionado ao processo de incineração de resíduos sólidos é a emissão de poluentes atmosféricos. Os principais poluentes emitidos são monóxido de carbono (CO), material particulado (MP), óxidos de nitrogênio (NOx) e óxidos de enxofre (SOx). Além disto, as emissões atmosféricas desses processos podem conter gases ácidos, metais pesados e dioxinas e furanos (HENRIQUES, 2004). Os equipamentos de controle da poluição (ECPs), associados a um controle operacional minucioso, são responsáveis pela redução dessa poluição (BARROS, 2012).

Os padrões de emissão são os limites máximos de emissão de poluentes que podem ser lançados na atmosfera por fontes potencialmente poluidoras (LISBOA E KAWANO, 2007). Atualmente, a principal legislação válida para todo o território nacional é a Resolução CONAMA n° 316/2002, que dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos, incluindo a incineração, estabelecendo limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos (BRASIL, 2002). Uma das principais legislações ambientais internacionais que dispõe sobre o controle das emissões atmosféricas industriais é a Diretiva Europeia 2010/75/EU (UNIÃO EUROPEIA, 2010).

O órgão ambiental competente possui a responsabilidade de emitir a licença ambiental de operação dos empreendimentos com potencial de geração de impactos negativos ao meio ambiente (BRASIL, 1997). No estado de Minas Gerais, todos os empreendimentos que realizam a incineração de resíduos sólidos devem ser licenciados e enviar regularmente relatórios de automonitoramento das concentrações de poluentes em suas emissões atmosféricas ao órgão ambiental, comprovando a eficácia de seus controles ambientais (MINAS GERAIS, 2004). Apesar da existência desses dados de emissões de poluentes atmosféricos, contidos nos relatórios de automonitoramento desses empreendimentos, ainda não foram reportados na literatura estudos que analisem o atendimento dessas emissões aos padrões legais, de modo a verificar se o que está sendo emitido é considerado seguro ao meio ambiente e à saúde pública.

Sendo assim, a proposta deste trabalho é buscar diagnosticar a atual situação das emissões de poluentes atmosféricos do setor de incineração de resíduos sólidos no estado de Minas Gerais, através da contraposição entre o que é atualmente emitido, o que é legalmente admissível a nível nacional e o que é considerado legalmente admissível em outros entes federativos e na Europa.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Aumentar o conhecimento a respeito das emissões de poluentes atmosféricos das empresas incineradoras de resíduos sólidos do estado de Minas Gerais de modo a fomentar a discussão sobre a necessidade de uma legislação estadual específica sobre o tema.

2.2 Objetivos Específicos

- Identificar legislações nacionais, estaduais e internacionais que estabelecem limites máximos de emissões de poluentes atmosféricos em atividades de incineração de resíduos;
- Analisar os limites máximos permitidos de emissões de poluentes atmosféricos das normas e legislações identificadas e selecionar aquelas que apresentam padrões legais mais restritivos;
- Verificar o atendimento aos limites máximos permitidos de emissões de poluentes atmosféricos descritos nas legislações selecionadas por empreendimentos que realizam incineração de resíduos sólidos no estado de Minas Gerais.
- Discutir o atual estado do setor de incineração em Minas Gerais frente às normas e legislações selecionadas.
- Avaliar a necessidade de elaboração de uma legislação específica sobre esse tema incineração de resíduos sólidos para o estado de Minas Gerais.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 A questão dos resíduos sólidos no Brasil

3.1.1 *A classificação brasileira dos resíduos sólidos*

Os termos lixo, dejetos ou resíduo, são utilizados popularmente de forma indistinta para caracterizar materiais ou produtos cujos proprietários descartaram. Porém, o termo “resíduo” se distingue dos outros por significar um recurso que tem valor, enquanto os outros contêm a ideia de algo a ser descartado diretamente. Esse valor (que pode ser tanto em termos de matéria ou de energia) deve ser aproveitado antes que haja a disposição final, através do correto manejo do recurso. Para auxiliar o aproveitamento adequado, a agrupação dos resíduos em diversas ordens é uma abstração que auxilia na gestão e gerenciamento desses recursos, distribuindo as responsabilidades das autoridades quanto à sua regulação e controle, além de orientar os geradores sobre a maneira de prevenir e minimizar os riscos associados à sua manipulação (Barros, 2012).

No Brasil, a principal legislação sobre o tema é a lei nº 12.305 de 2010, que instituiu a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) (BRASIL, 2010). Sobre essa lei, Araújo (2011) destaca que ela possui “a grande vantagem de reunir inúmeros dispositivos legais que estavam anteriormente esparsos em instrumentos normativos diversos, de uma forma orgânica e coerente”, além de estabelecer os marcos balizadores para a gestão dos resíduos sólidos. Nessa lei, a definição para resíduo sólido é abrangente e destaca principalmente a destinação final:

Resíduos sólidos: Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (Artigo 3º, parágrafo XVI).

A definição do termo "rejeito" pela PNRS, por sua vez, aplica-se aos resíduos que não apresentam mais nenhum valor, destacando a importância da aplicação de processo tecnológico antes de um material ou produto ser considerado rejeito (BRASIL, 2010):

Rejeitos: resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada (Artigo 3º, parágrafo XV).

É importante esclarecer que, segundo a PNRS, o termo "destinação final" inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação, o aproveitamento energético e a disposição final. A "disposição final ambientalmente adequada" é definida como a distribuição ordenada de rejeitos em aterros (BRASIL, 2010).

A PNRS, em seu artigo 13, apresenta a classificação dos resíduos sólidos de acordo com a origem (Tabela 1) e de acordo com a periculosidade (Tabela 2).

Tabela 1 - Classificação dos resíduos sólidos de acordo com sua origem, estabelecida pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010).

Classificação	Descrição
Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)	Originários de atividades domésticas em residências urbanas e originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana.
Resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços	Os gerados nessas atividades
Resíduos dos serviços públicos de saneamento básico	Os gerados nessas atividades
Resíduos industriais	Os gerados nos processos produtivos e instalações industriais
Resíduos de Serviços de Saúde (RSS)	Os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama) e do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS).
Resíduos da Construção Civil (RCC)	Os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis.
Resíduos agrossilvopastoris	Os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades.
Resíduos de serviços de transportes	Os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira.
Resíduos de mineração	Os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios.

Fonte: Brasil (2010)

Tabela 2- Classificação dos resíduos sólidos de acordo com sua periculosidade, estabelecida pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei N° 12.305/2010).

Classificação	Descrição
Resíduos perigosos	Aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica.
Resíduos não perigosos	Aqueles não enquadrados como “perigosos”

Fonte: Brasil (2010)

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), responsável pela elaboração das Normas Brasileiras, publicou uma norma referente aos resíduos sólidos que é anterior à PNRS, onde o termo resíduo sólido é definido como (ABNT NBR 10.004, 2004):

Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

Da mesma forma que a PNRS, a NBR nº10.004 de 2004 classifica os resíduos sólidos de acordo com suas características, como periculosidade ou capacidade de reagir com outras substâncias (Tabela 3).

Tabela 3 - Classificação dos resíduos sólidos de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Classificação	Descrição
Classe I	Perigosos: são resíduos que apresentam uma ou mais características, como: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade.
Classe II A	Não inertes (Não perigosos): são aqueles resíduos que não se enquadram nas classificações nem de Classe I – Perigosos, nem de Classe II B – Inertes. Podem apresentar propriedades como: biodegradabilidade, combustividade ou solubilidade em água.
Classe II B	Inertes (Não perigosos): são resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

Fonte: ABNT NBR 10.004 (2004)

A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) classifica os resíduos sólidos urbanos (RSU) de acordo com a atividade geradora (Tabela 4) e também classifica os resíduos sólidos provenientes de fontes especiais (Tabela 5) (ANVISA, 2006).

Tabela 4 - Classificação dos resíduos sólidos urbanos de acordo com a origem segundo a Agência Nacional de Vigilância Sanitária

Classificação	Descrição
Doméstico ou residencial	Oriundos de residências. São orgânicos (restos de alimento), jornais, revistas, embalagens vazias, frascos de vidros, papel e absorventes higiênicos, fraldas descartáveis, preservativos, curativos, embalagens contendo tintas, solventes, pigmentos, vernizes, pesticidas, óleos lubrificantes, fluido de freio, medicamentos; pilhas, bateria, lâmpadas incandescentes e fluorescentes etc.
Comercial	Oriundos de supermercados, bancos, lojas, bares, restaurantes etc. Seus componentes variam de acordo com a atividade desenvolvida, mas, de modo geral, se assemelham qualitativamente aos resíduos domésticos.
Público	Originados da limpeza de vias públicas (inclui varrição e capina), praças, praias, galerias, córregos, terrenos baldios, feiras livres, animais... São podas e resíduos difusos (descartados pela população): entulho, papéis, embalagens gerais, alimentos, cadáveres, fraldas etc.

Fonte: ANVISA (2006)

Tabela 5 - Classificação dos resíduos de fontes especiais segundo a Agência Nacional de Vigilância Sanitária

Classificação	Descrição
Industrial	Indústrias metalúrgica, elétrica, química, de papel e celulose, têxtil etc.
Construção Civil	Construção, reformas, reparos, demolições, preparação e escavação de terrenos.
Radioativos	Serviços de saúde, instituições de pesquisa, laboratórios e usinas nucleares.
Portos, aeroportos e terminais rodoferroviários.	Resíduos gerados em terminais de transporte (navios, aviões, ônibus e trens).
Agrícola	Gerado na área rural - agricultura.
Saúde	Qualquer atividade de natureza médico-assistencial humana ou animal - clínicas odontológicas, veterinárias, farmácias, centros de pesquisa - farmacologia e saúde, medicamentos vencidos, necrotérios, funerárias, medicina legal e barreiras sanitárias.

Fonte: ANVISA (2006)

Existe ainda uma classificação específica para os denominados resíduos de serviço de saúde (RSS). Com vistas a preservar a saúde pública e a qualidade do meio ambiente, a ANVISA publicou a Resolução da Diretoria Colegiada – RDC/ANVISA Nº 306 de 2004, onde os resíduos oriundos de todos os serviços relacionados com o atendimento à saúde humana ou animal são classificados como o exposto na Tabela 6 **Tabela 6** (ANVISA, 2004).

Tabela 6 - Classificação dos resíduos de serviço de saúde de acordo com a Resolução da Diretoria Colegiada- RDC/ANVISA Nº 306/2004

Continua...

Classificação		Descrição
Grupo A	Subgrupo A1	Culturas e estoques de microrganismos; resíduos de fabricação de produtos biológicos, exceto os hemoderivados; meios de cultura e instrumentais utilizados para transferência, inoculação ou mistura de culturas; resíduos de laboratórios de manipulação genética. Resíduos resultantes de atividades de vacinação com microrganismos vivos ou atenuados, incluindo frascos de vacinas com expiração do prazo de validade, com conteúdo inutilizado, vazios ou com restos do produto, agulhas e seringas. Resíduos resultantes da atenção à saúde de indivíduos ou animais, com suspeita ou certeza de contaminação biológica por agentes Classe de Risco 4, microrganismos com relevância epidemiológica e risco de disseminação ou causador de doença emergente que se torne epidemiologicamente importante ou cujo mecanismo de transmissão seja desconhecido. Bolsas transfusionais contendo sangue ou hemocomponentes rejeitadas por contaminação ou por má conservação, ou com prazo de validade vencido, e aquelas oriundas de coleta incompleta; sobras de amostras de laboratório contendo sangue ou líquidos corpóreos, recipientes e materiais resultantes do processo de assistência à saúde, contendo sangue ou líquidos corpóreos na forma livre.
	Subgrupo A2	Carcças, peças anatômicas, vísceras e outros resíduos provenientes de animais submetidos a processos de experimentação com inoculação de microrganismos, bem como suas forrações, e os cadáveres de animais suspeitos de serem portadores de microrganismos de relevância epidemiológica e com risco de disseminação, que foram submetidos ou não a estudo anátomo-patológico ou confirmação diagnóstica.
	Subgrupo A3	Peças anatômicas (membros) do ser humano; produto de fecundação sem sinais vitais, com peso menor que 500 gramas ou estatura menor que 25 centímetros ou idade gestacional menor que 20 semanas, que não tenham valor científico ou legal e não tenha havido requisição pelo paciente ou seus familiares.
	Subgrupo A4	Kits de linhas arteriais, endovenosas e dialisadores; filtros de ar e gases aspirados de área contaminada; membrana filtrante de equipamento médico-hospitalar e de pesquisa, entre outros similares; sobras de amostras de laboratório e seus recipientes contendo fezes, urina e secreções, provenientes de pacientes que não contenham e nem sejam suspeitos de conter agentes Classe de Risco 4, e nem apresentem relevância epidemiológica e risco de disseminação, ou microrganismo causador de doença emergente que se torne epidemiologicamente importante ou cujo mecanismo de transmissão seja desconhecido ou com suspeita de contaminação com príons; tecido adiposo proveniente de lipoaspiração, lipoescultura ou outro procedimento de cirurgia plástica que gere este tipo de resíduo; recipientes e materiais resultantes do processo de assistência à saúde, que não contenham sangue ou líquidos corpóreos na forma livre; peças anatômicas (órgãos e tecidos) e outros resíduos provenientes de procedimentos cirúrgicos ou de estudos anátomo-patológicos ou de confirmação diagnóstica; carcaças, peças anatômicas, vísceras e outros resíduos provenientes de animais não submetidos a processos de experimentação com inoculação de microrganismos, bem como suas forrações; cadáveres de animais provenientes de serviços de assistência; Bolsas transfusionais vazias ou com volume residual pós transfusão.
	Subgrupo A5	Órgãos, tecidos, fluidos orgânicos, materiais perfurocortantes ou escarificantes e demais materiais resultantes da atenção à saúde de indivíduos ou animais, com suspeita ou certeza de contaminação com príons. Devem sempre ser encaminhados a sistema de incineração, de acordo com o definido na RDC ANVISA Nº 305/2002 e RDC ANVISA Nº 306/2004.

Continuação...

Classificação	Descrição
Grupo B	Resíduos químicos. As características dos riscos destas substâncias são as contidas na Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos - FISPQ, conforme NBR 14725 da ABNT e Decreto/PR 2657/98.
Grupo C	Os rejeitos radioativos devem ser segregados de acordo com a natureza física do material e do radionuclídeo presente, e o tempo necessário para atingir o limite de eliminação, em conformidade com a norma NE - 6.05 da CNEN. Os rejeitos radioativos não podem ser considerados resíduos até que seja decorrido o tempo de decaimento necessário ao atingimento do limite de eliminação.
Grupo D	Resíduos comuns, que não apresentam risco biológico, químico ou radioativo. Podem ser considerados semelhantes ao resíduo doméstico, além de apresentar potencial para reciclagem.
Grupo E	Materiais perfurocortantes ou escarificantes, com possível contaminação de agentes biológicos, químicos ou radioativos, que devido às suas características, podem apresentar risco de contaminação e infecção.

Fonte: ANVISA (2004)

As formas de agrupamento dos resíduos em classes são abrangentes e incluem uma ampla gama de materiais. As classificações apresentadas neste trabalho para os resíduos foram feitas com objetivos diferentes. A PNRS, por visar ser uma legislação ampla que propõe os marcos balizadores do manejo dos resíduos sólidos no Brasil (ARAÚJO, 2011), elenca os resíduos de uma forma geral, destacando principalmente sua origem. Já a NBR nº 10.004/2004 classifica os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente. Por fim, a ANVISA é uma agência reguladora federal que visa “proteger e promover a saúde da população garantindo a segurança sanitária de produtos e serviços” e, por essa razão, se dedica principalmente aos RSS, cujo manejo é especialmente relevante para esse órgão (ANVISA, [2016]). Independentemente da agrupação dos resíduos, sua classificação auxilia na gestão e gerenciamento desses recursos, garantindo que estes tenham uma destinação ambientalmente adequada à sua natureza (BARROS, 2012).

3.1.2 *A importância da destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos*

Os resíduos sólidos podem ser considerados a expressão mais visível e concreta da poluição ambiental, ocupando um importante papel na estrutura de saneamento de uma comunidade. Assim, o correto manejo desses resíduos possui reflexos nos aspectos relacionados à saúde pública. Além disso, devem ser considerados os possíveis impactos negativos que a disposição ambientalmente inadequada desses resíduos pode causar no solo, na atmosfera, na vegetação e nos recursos hídricos (MORGADO, *et al.*, 2006). A disposição final inadequada de resíduos sólidos também desempenha um papel na transmissão de doenças provocadas por macro e microrganismos, que vivem nos resíduos ou são atraídos por eles (BARROS, 2012).

De acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) (IBGE, 2002), 72% dos municípios brasileiros que possuem serviços de limpeza urbana e coleta de lixo dispõem seus resíduos em lixões, pois não possuem a infraestrutura necessária para garantir a segurança da operação da

instalação de disposição final de resíduos, nem tampouco a proteção do meio ambiente contra os possíveis impactos advindos da atividade. Apesar dessa deficiência, a PNSB concluiu que há uma nítida tendência de melhoria do setor, evidenciando o avanço da correta destinação de resíduos sólidos no Brasil (IBGE, 2002).

De acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), a geração total de RSU no Brasil em 2014 foi de aproximadamente 78,6 milhões de toneladas, sendo que 90,6% desses resíduos foram coletados de forma adequada (ABRELPE, 2014). Porém, apenas 58,4% desses resíduos tiveram a destinação final ambientalmente adequada, totalizando 29.659.170 toneladas no ano que foram encaminhados para lixões ou aterros controlados. Com relação à destinação dos RSS, 44,5% destes são encaminhados para incineração, 21,9% para autoclave, 2,5% para micro-ondas e o restante (31,1%) são dispostos em aterros, valas sépticas ou lixões (ABRELPE, 2014).

Anualmente, o Brasil gera cerca de 97.665.438 toneladas de RSI, sendo que 3.786.391 desse total são classificados como resíduos perigosos. O estado de Minas Gerais, por sua vez, produz 14.165.194 toneladas/ano de RSI, com 828.183 toneladas definidas como resíduo perigoso (SINIR, 2011).

Visando garantir que a destinação final dos resíduos sólidos ocorra da forma mais eficiente possível, a PNRS define a ordem de prioridade de ações para a gestão e gerenciamento desses resíduos: “não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos” (BRASIL, 2010).

O tratamento de resíduos sólidos pode ser realizado por meio de diversas tecnologias. As principais são a reciclagem da fração aproveitável dos resíduos, a compostagem da fração orgânica, a disposição final em aterros sanitários e o tratamento térmico com possível aproveitamento energético (SCHALCH *et al*, 2002).

As principais tecnologias atualmente disponíveis para o tratamento térmico de resíduos sólidos são a gaseificação, a pirólise, o plasma e a incineração. A gaseificação consiste, basicamente, no processo de reação da matéria orgânica com o vapor para produzir hidrogênio e monóxido de carbono. Essa tecnologia então converte uma matéria-prima sólida ou líquida em gás por

meio da oxidação parcial, sob a aplicação de calor. A pirólise é a degradação térmica de material orgânico em uma atmosfera deficiente em oxigênio, produzindo subprodutos líquidos, gasosos e sólidos. A tecnologia de plasma trata-se de um processo térmico drástico de não-incineração, que usa temperaturas extremamente altas em um ambiente carente de oxigênio para gerar a decomposição de resíduos em moléculas muito simples. A incineração é a combustão controlada dos resíduos, visando à disposição final do material remanescente (BARROS, 2012).

3.2 A incineração de resíduos sólidos

A incineração é um processo de redução acentuada do peso (até 70%) e do volume (até 90%) dos resíduos sólidos através da combustão controlada com monitoramento permanente. É indicada para resíduos sólidos perigosos, industriais ou para casos em que as distâncias de transporte dos resíduos dos locais de produção até os de tratamento ou disposição final são muito grandes (BARROS, 2012). Pacheco *et al* (2003) destaca que a prioridade nos sistemas de incineração de resíduos não é a conservação de energia e nem tão pouco a reciclagem de materiais. O foco principal é a eliminação de resíduos perigosos que podem causar danos ao meio ambiente ou à saúde das populações, caso não sejam gerenciados corretamente.

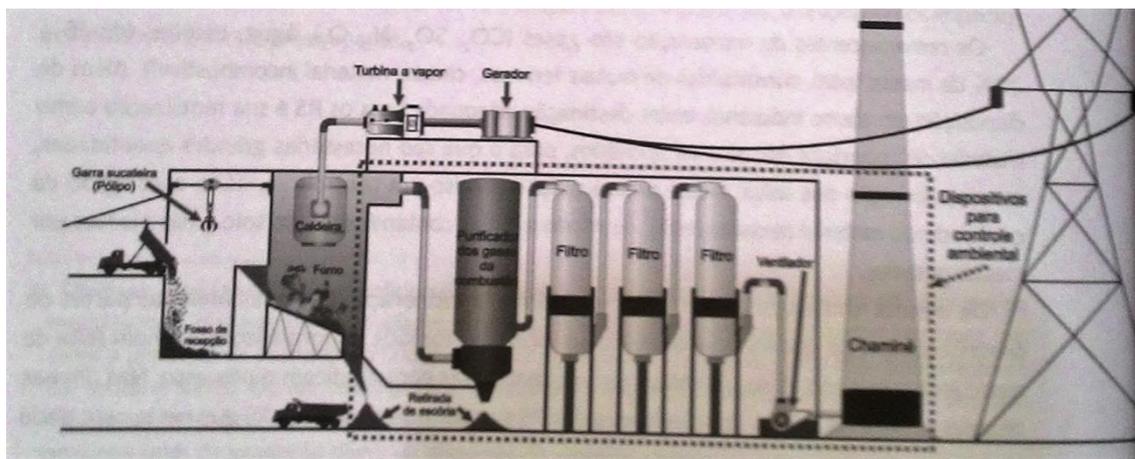
A incineração consiste basicamente em uma oxidação térmica, com temperaturas do processo variando de 800 a 1300 °C. Nessas temperaturas e com o excesso de oxigênio, é possível formar uma atmosfera fortemente oxidante, onde ocorre a destruição térmica dos resíduos, com a consequente redução de volume e de toxicidade do material incinerado. A incineração está associada à eliminação de contaminantes altamente persistentes, tóxicos e inflamáveis, incluindo solventes e óleos não passíveis de recuperação, defensivos agrícolas e produtos farmacêuticos (ABNT NBR 10.004, 2004).

Os incineradores são equipamentos que apresentam espaços confinados e isolados termicamente com materiais que resistem às temperaturas de operação (refratários), com aberturas destinadas à alimentação da carga de resíduos e descarga das cinzas, e dotados de

queimadores para aquecimento das câmaras, suporte da queima e pós-combustão (COSTA, 2007).

Os sistemas de incineração, de uma forma geral, podem ser divididos em quatro subsistemas: preparação e alimentação do resíduo, câmaras de combustão, sistema de controle de poluentes atmosféricos e manuseio dos resíduos (DEMPSEY, 1999 *apud* COSTA, 2007). A Figura 1 mostra uma representação esquemática desses subsistemas. A preparação do resíduo usualmente consiste na fragmentação do resíduo e na secagem. A alimentação do resíduo pode ser de modo manual ou mecanizado (com o auxílio de caminhões e garras sucateiras). Nas câmaras de combustão ocorre a incineração dos materiais e, caso haja aproveitamento energético, a caldeira instalada utiliza o vapor emitido no processo para gerar energia elétrica. Em seguida, os dispositivos para controle ambiental tratam os gases gerados na etapa anterior, buscando o atendimento aos padrões de emissão definidos pela legislação ambiental vigente. Por fim, o manuseio dos resíduos do processo, que são as escórias e cinzas, consiste na coleta e encaminhamento desse material para uma destinação final ambientalmente adequada, geralmente a disposição final em aterros industriais (BARROS, 2012).

Figura 1–Representação esquemática de um incinerador de resíduos sólidos



Fonte: BARROS (2012).

É importante ressaltar que, independente do tipo de tecnologia utilizada, para o adequado processo de combustão é necessário o controle de três fatores: tempo, temperatura e turbulência. O fator tempo considera o período

necessário para que as reações químicas se completem. O fator turbulência proporciona a mistura entre as frações combustíveis com o comburente. O fator temperatura é importante para garantir condições necessárias para que a combustão ocorra, mantendo a energia necessária para a ocorrência das reações exotérmicas. A temperatura e o tempo são parâmetros interdependentes, ou seja, quanto maior a temperatura na câmara, menor é o tempo de residência dentro dessa para que haja a incineração de todos os componentes do resíduo. A adequação desses fatores é responsável por garantir que o processo está operando de forma eficiente e também minimiza a geração de poluentes atmosféricos (COSTA, 2007).

O cálculo do tempo médio de residência dos resíduos nas câmaras de combustão deve pode ser calculado considerando-se o fluxo ideal (chamado “*plugflow*”), ou seja, com a velocidade constante em todas as seções transversais da câmara e sem ocorrer variações de temperatura ou composição, nem misturas no eixo longitudinal (BRUNNER, 1993 *apud* COSTA, 2007).

Dependendo a composição dos resíduos a serem incinerados, pode ser necessário o uso de um combustível auxiliar. Este tem a função de manter a temperatura dentro dos níveis desejáveis. O combustível mais utilizado é o gás liquefeito de petróleo (GLP) (BRITO, 2013).

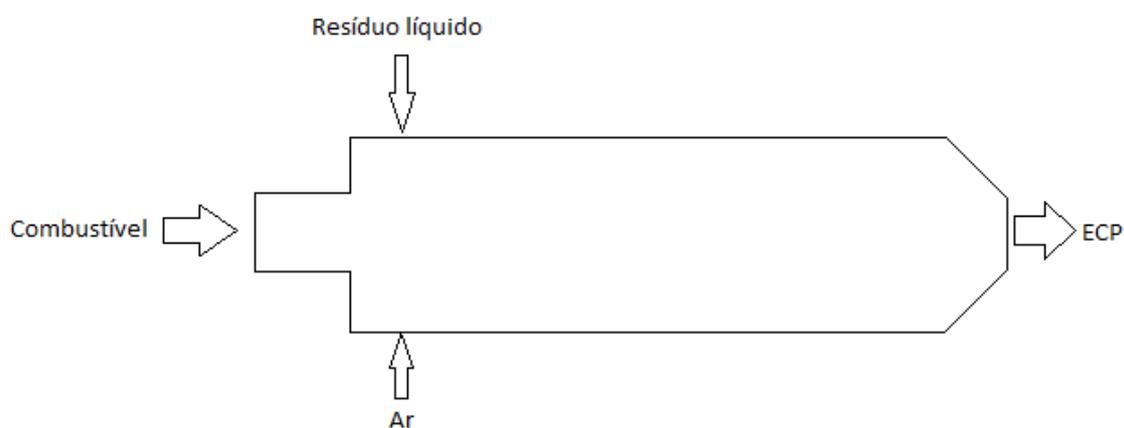
Os incineradores podem operar em regime estático (batelada) ou dinâmico (contínuo). O regime estático é utilizado por processos mais simples, que utilizam queimador de óleo ou gás e apresentam uma grande variação nas condições de operação. Por esse motivo, eles tendem a ser menos utilizados em situações em que o processo é realizado em grande escala ou em locais que exijam controle ambiental mais eficiente (BARROS, 2012).

Existem diversos tipos de câmaras de combustão que podem ser utilizadas em incineradores de resíduos. No entanto, os quatro projetos mais comuns são a injeção líquida, a câmara fixa, o leito fluidizado e os fornos rotativos (BOTURA, 2005). A quantidade de resíduo a ser incinerado, o poder calorífico do material combustível e demais parâmetros de combustão determinam o tipo de tecnologia a ser adotada (SAFFER, 2011).

Incineradores de injeção líquida (Figura 2) são assim denominados por serem normalmente utilizados para resíduos líquidos que podem ser

bombeados. Consistem em cilindros simples com revestimento refratário (horizontal ou vertical) equipados com um ou mais queimadores (dispositivos responsáveis pela ignição). Os resíduos são injetados, atomizados em pequenas gotículas e queimados em suspensão. A atomização pode ser obtida com o uso de ar/vapor em baixa ou alta pressão e por meios mecânicos que utilizam orifícios especialmente projetados (DEMPSEY, 1999 *apud* DIP, 2004).

Figura 2 - Incinerador de injeção líquida

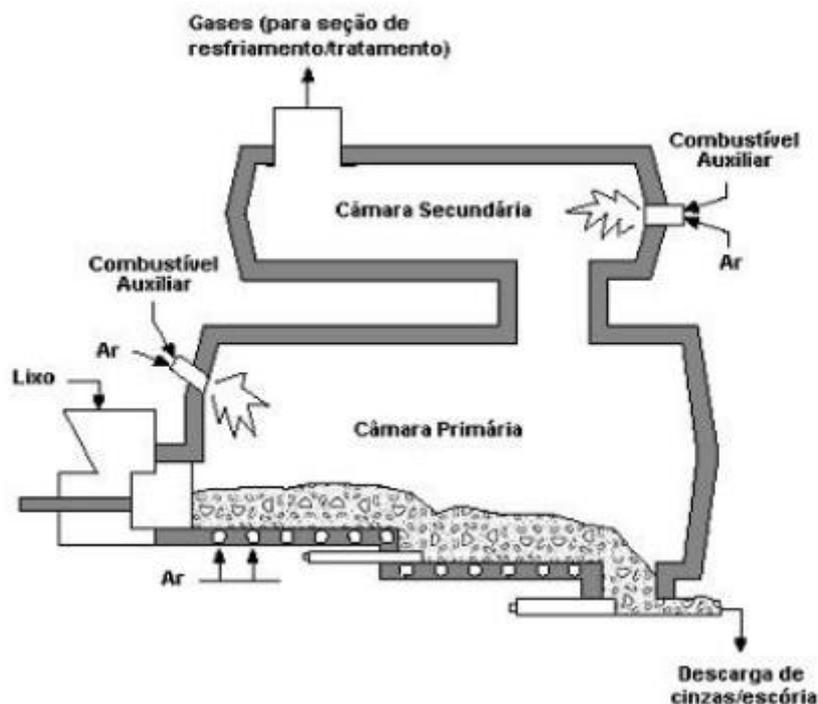


Fonte: DEMPSEY (1999) *apud* DIP (2004) (adaptado pelo autor)

Incineradores de câmaras fixas (Figura 3), também denominados pirolíticos, ar controlados ou pobres em ar, realizam o processo em duas etapas. Na primeira etapa, o resíduo é bombeado ou empurrado para dentro de uma câmara primária e queimado com cerca de 50 a 80% do ar estequiométrico requerido e uma temperatura que varia tipicamente entre 500°C e 900°C. Essa condição evita a formação de gradientes elevados de temperatura, evita a volatilização de grandes quantidades de metais (como cádmio, cromo e mercúrio) e minimiza a formação de óxidos nitrosos, pois estes últimos surgem apenas sob temperaturas mais elevadas. Nessa etapa há a evaporação da maior parte da fração volátil do resíduo. Os gases resultantes, que consistem principalmente em hidrocarbonetos e monóxido de carbono, são então queimados no segundo estágio ou câmara secundária, onde ar adicional é injetado para completar a combustão. A temperatura nesse momento varia normalmente entre 750°C e 1250°C. A atmosfera altamente oxidante faz com que os diversos gases gerados na câmara anterior, em sua maioria, sejam oxidados a CO₂ e H₂O. O tempo de residência recomendável para a primeira

câmara é de 30 minutos e para a segunda, 2 a 3 segundos (ARANDA, 2001 *apud* HENRIQUES, 2004).

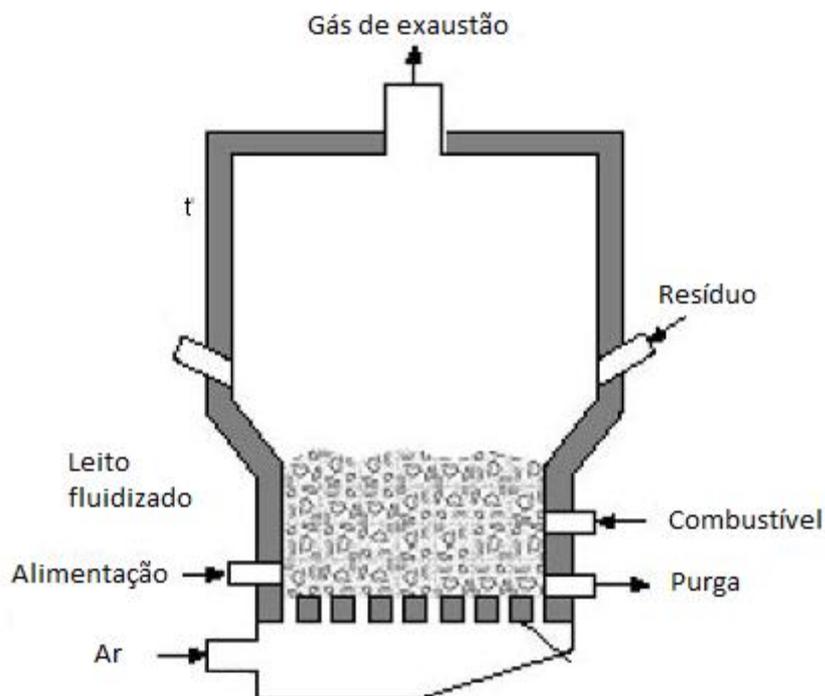
Figura 3 - Incinerador de câmaras fixas



Fonte: ARANDA (2001) *apud* HENRIQUES (2004)

Os incineradores tipo leitos fluidizados (Figura 4) têm sido tradicionalmente aplicados em indústrias químicas como uma operação unitária e para queimar lodos gerados por plantas de tratamento de esgotos. Consistem em um vaso de combustão simples revestido de refratários, parcialmente cheios com areia, alumina, carbonato de cálcio ou outro material semelhante. O ar de combustão é suprido através de um distribuidor que se localiza na base do combustor, a uma taxa suficiente para fluidizar (leito borbulhante) ou carrear o material do leito (leito circulante). Para o caso de leito circulante, devido às velocidades de ar maiores, os sólidos são soprados para cima, separados em ciclones e depois retornam para a câmara de combustão. As temperaturas são mantidas na faixa de 760 a 870°C, com um excesso de ar de 25 a 150% (DEMPSEY, 1999 *apud* DIP, 2004).

Figura 4 - Incinerador de leitos fluidizados

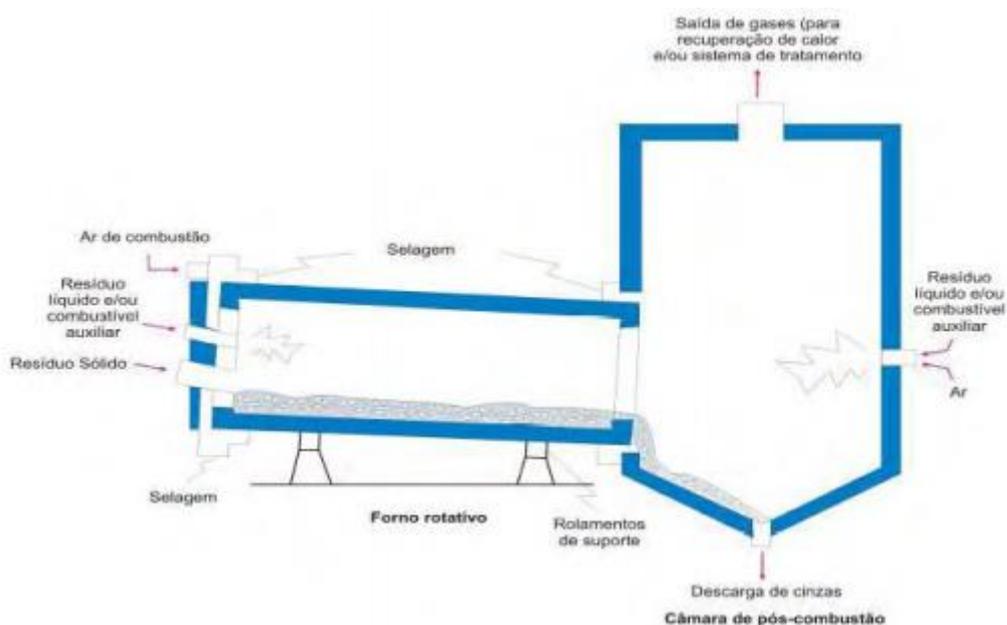


Fonte: ARANDA (2001) *apud* HENRIQUES (2004)

Por fim, os incineradores de forno rotativo (Figura 5) são a opção mais versátil, pois podem ser usados para a incineração de resíduos sólidos, lamas e resíduos em contêineres, bem como líquidos. O forno rotativo consiste em um cilindro horizontal revestido internamente com refratários, montado com uma pequena inclinação. A rotação do forno tem duas funções: transportar o resíduo através do forno e homogeneizar o material a ser queimado. A inclinação garante que o resíduo se moverá ao longo do forno. O controle do tempo de residência é feito pela velocidade rotacional do forno ou então pela inclusão de barreiras internas, que retardam o movimento do resíduo. Essa movimentação pode ser tanto co-corrente quanto em contracorrente em relação ao fluxo de gás. A temperatura de saída é em torno de 1000°C. O equipamento pós-queimador é necessário para completar as reações de combustão da fase gasosa, o qual é ligado diretamente à extremidade de descarga do forno e opera com temperaturas acima de 1200°C e tempo de residência superior a 1 segundo. Tanto o forno como o pós-queimador são equipados com sistema de queima auxiliar para elevar e manter a temperatura de operação desejada. A queima de resíduos líquidos no pós-queimador é

utilizada como uma forma de controle da temperatura. Os pós-queimadores podem ser alinhados vertical ou horizontalmente e suas funções básicas têm os mesmos princípios do incinerador de injeção líquida (DIAS *et al.*, 2009; DEMPSEY, 1999 *apud* DIP, 2004).

Figura 5 - Forno rotativo



Fonte: BRITO (2013)

Como vantagem do tratamento por incineração destaca-se a alta eficiência de destruição, além da redução do volume dos resíduos (cerca de 80 a 95%). Apesar disso, esta tecnologia também é uma fonte potencial de impactos ambientais. Dentre estes impactos, destacam-se aqueles advindos das emissões de poluentes atmosféricos gerados nos processos de combustão. Ocorre também a geração de cinzas e escórias, que requerem uma disposição final ambientalmente adequada. Dependendo dos sistemas de controle das emissões atmosféricas, efluentes líquidos também podem ser gerados em um sistema de incineração, que na maioria das vezes requerem tratamento para redução das cargas poluidoras antes de sua disposição final no meio ambiente (MOL, 2011; ANVISA, 2006).

3.3 Principais poluentes atmosféricos gerados no processo de combustão

O aspecto ambiental mais importante relacionado ao processo de incineração de resíduos sólidos é a emissão de poluentes atmosféricos. Os principais poluentes emitidos são o monóxido de carbono (CO), material particulado (MP), óxidos de nitrogênio (NO_x) e óxidos de enxofre (SO_x). Além disto, as emissões atmosféricas desses processos podem conter gases ácidos, metais pesados e dioxinas e furanos (HENRIQUES, 2004). Segundo a Organização Mundial da Saúde (2002), 2,4 milhões de mortes a cada ano são devido a efeitos diretos da poluição do ar.

O material particulado (MP) é a denominação atribuída às partículas de material sólido e líquido capazes de permanecer em suspensão (OMS, 2005). A Organização Mundial de Saúde (2005) destaca as diferentes granulometrias que o MP pode possuir, relacionando-as com sua capacidade de causar danos à saúde humana. As mais danosas são as definidas como MP₁₀ e MP_{2,5}, que correspondem às que possuem diâmetro aerodinâmico¹ de até 10µm e 2,5µm, respectivamente, porém não existem limiares de exposição ao MP abaixo dos quais não ocorram efeitos adversos, como agravamento de doenças pulmonares.

Apesar de ser um constituinte natural da atmosfera, o monóxido de carbono (CO) é considerado um poluente quando presente em concentrações acima das naturalmente encontradas, devido à sua toxicidade. Além disso, é um dos gases agravadores do efeito estufa, devendo suas emissões serem controladas (MANAHAN, 2010). No tratamento térmico de resíduos sólidos, a emissão de CO indica que está ocorrendo uma combustão incompleta e, por esta razão, a planta não está operando otimamente (HENRIQUES, 2004).

Os óxidos de nitrogênio e enxofre são gases tipicamente produzidos em sistemas de combustão de combustíveis sólidos e sua concentração depende das características do resíduo utilizado (HENRIQUES, 2004). O óxido nítrico (NO) e o dióxido de nitrogênio (NO₂) são os óxidos de nitrogênio mais

¹ Diâmetro aerodinâmico é definido como o diâmetro de uma esfera de densidade unitária (1 g/cm³) que tem a mesma velocidade terminal de queda no ar como a partícula em consideração.

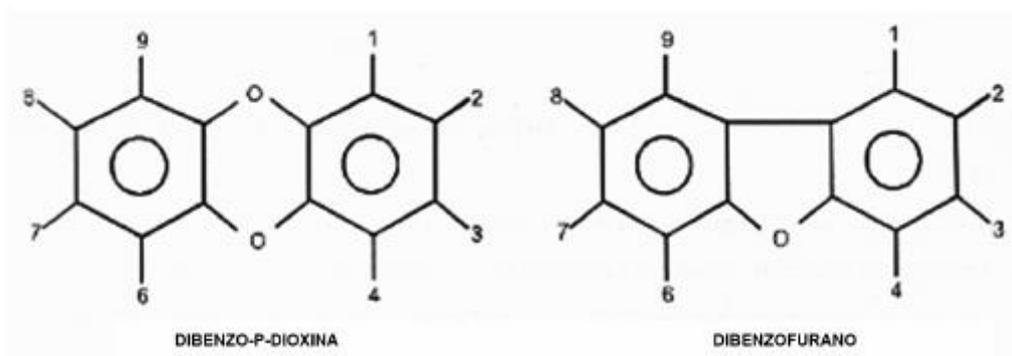
formados em processos de combustão. Causam problemas respiratórios em indivíduos saudáveis, aumentando o risco de doenças respiratórias principalmente em crianças e idosos. O óxido de enxofre mais formado durante a combustão é o dióxido de enxofre (SO_2). Devido à sua ação irritante, pode provocar rinite, laringite e faringite. Em altas concentrações, pode produzir edema pulmonar (GUIMARÃES, 2012). Além dos efeitos à saúde humana, esses gases produzem efeitos danosos à fauna e à flora, além de causar perturbações na dinâmica atmosférica (MANAHAN, 2010).

Os gases ácidos são majoritariamente o ácido clorídrico (HCl) e o fluorídrico (HF). Estes são produzidos quando se utiliza resíduos contendo compostos de flúor ou cloro, como plásticos. Com alto grau de exposição, estes compostos podem ter efeitos danosos à saúde humana (HENRIQUES, 2004).

Os principais metais pesados que podem ser emitidos em processos de incineração de resíduos são o cádmio, mercúrio, chumbo, arsênio, berílio e cromo. Grande parte destes compostos se concentra nas escórias e nas cinzas, na forma de óxidos. Qualquer quantidade de emissão destes é importante, devido aos possíveis efeitos nocivos à saúde, como carcinogênese, e devido à sua persistência no meio ambiente (HENRIQUES, 2004).

As dioxinas e furanos são um sub-produto da manipulação, a altas temperaturas, de matéria orgânica contendo cloro (COUTINHO, 2003). As dioxinas são denominações genéricas de uma classe de compostos aromáticos tricíclicos, onde dois anéis benzênicos ligados a átomos de cloro são interligados por dois átomos de oxigênio. Os furanos são estruturas semelhantes, onde dois anéis benzênicos com seus átomos de cloro são ligados por apenas um átomo de oxigênio (Figura 6).

Figura 6 - Estrutura molecular das dioxinas e dos furanos



Fonte: USEPA (1997) apud COSTA (2007)

As combinações dos átomos de cloro nas posições disponíveis nos anéis benzênicos possibilitam a formação de 75 compostos diferentes para as dioxinas e 135 compostos para os furanos, os quais apresentam uma grande diversidade de isômeros e diferentes graus de toxicidade (COSTA, 2007). Existem 7 compostos de dioxinas e 10 de furanos que, devido à localização do cloro nas posições do anel benzênico, são considerados especialmente tóxicos, ocorrendo graus diferentes de toxicidade dentre essas 17 espécies. Para facilitar a interpretação de resultados analíticos, e com a finalidade de agregar os possíveis efeitos toxicológicos dessas misturas de compostos, foram desenvolvidos fatores de toxicidade equivalente (TEFs). Os TEFs comparam a toxicidade de cada composto relativamente ao de maior toxicidade, o 2,3,7,8-tetraclorodibenzendi-p-dioxina (TCDD). Ao TCDD foi atribuído o TEF de valor 1. Assim, é possível calcular um valor para atoxicidade global, ao multiplicar a concentração de cada composto pelo correspondente valor de TEF, obtendo-se a concentração equivalente em TCDD. Posteriormente, a soma das toxicidades equivalentes resulta o valor de concentração equivalente total (TEQ), comumente utilizado para a definição dos limites máximos de emissão desses poluentes (COUTINHO, 2003).

A formação de dioxinas e furanos ocorre, em sistemas de tratamento térmico de resíduos, nas regiões onde o tráfego de produtos completos e incompletos da combustão estiver submetido à faixa de temperatura entre

250°C e 430°C, na presença de compostos clorados. Assim, a manutenção das temperaturas adequadas nas câmaras de combustão e o rápido resfriamento dos gases de pós-combustão auxilia na drástica redução da formação desse tipo de poluente (COSTA, 2007).

Segundo Barros (2012), as dioxinas e furanos são formados em incineradores de resíduos devido a diversos fatores, sendo eles:

- A combustão incompleta de resíduos orgânicos, na câmara de combustão, acarreta a formação de fragmentos de compostos orgânicos e esses podem atuar como precursores orgânicos para as moléculas de dioxinas e furanos.
- Os componentes do resíduo constituem uma fonte de cloro e de metais, que incorporados às cinzas volantes, são transportados para uma zona com temperatura mais baixa, entre 250°C e 400°C, a denominada zona de pós-combustão do sistema de incineração.
- Os precursores orgânicos adsorvem na superfície das cinzas volantes na zona de pós-combustão e após uma complexa série de reações catalisadas pelos metais (principalmente o cobre) levam à formação de dioxinas e furanos.

A destruição desses poluentes está associada a temperaturas entre 900°C e 1200°C e ao tempo de residência dos gases na câmara de tratamento. O tempo de residência necessário para destruir essas substâncias e a temperatura de combustão são inversamente proporcionais. Quanto maior a temperatura, menor o tempo de residência. O tempo de residência adequado é em torno de 1s (acima de 1000°C) e 2s (em 850°C). O nível de oxigênio em excesso deve ser de 3-6% v/v (BARROS, 2012).

3.4 Controle da poluição atmosférica

Um processo só pode ser considerado incineração se houverem procedimentos e mecanismos de controle da poluição, pois do contrário se trata de uma mera queima. Os equipamentos de controle da poluição (ECPs),

associados a um controle operacional minucioso são responsáveis pela redução da poluição gerada em plantas de incineração (BARROS, 2012). Após a etapa de combustão, a corrente gasosa deve ser direcionada para os ECPs, como lavadores de gases, ciclones e filtros manga, a fim de atender aos limites de emissões de poluentes atmosféricos estabelecidos nas legislações (COSTA, 2007; CHIRICO, 1996).

Os ECPs são selecionados em função das características físico-químicas dos poluentes, dos mecanismos de controle envolvidos na operação e da utilização ou não de água para o controle, visto que há equipamentos que operam a seco e a úmido. Para a escolha do melhor equipamento a ser empregado para o controle da poluição deve-se levar em consideração aspectos como o tipo e natureza do poluente a ser tratado, a vazão do efluente, condições locais, eficiência de retenção dos poluentes desejada, além da forma de destinação final do poluente coletado. Também é importante considerar os aspectos econômicos, em relação aos custos para instalação, operação e manutenção do equipamento, principalmente porque os ECPs encarecem o tratamento, além de ocuparem grandes áreas. Os ECPs mais comuns em plantas de incineração de resíduos são os lavadores de gases, filtros de mangas e precipitadores eletrostáticos (FERNANDES, 2003; BARROS, 2012).

3.4.1 *Resfriador tipo Quench*

Para o controle da poluição do ar, a etapa de resfriamento rápido (*quenching*) é a primeira, após os gases saírem da câmara de combustão. É muito importante para minimização da formação de dioxinas e furanos na zona de pós-combustão dos gases. Além disso, essa etapa reduz o volume dos gases que são encaminhados para tratamento ulterior, antes do lançamento na atmosfera (COSTA, 2007).

3.4.2 *Filtros de manga*

Os filtros de manga são constituídos de tecidos capazes de reter partículas existentes no fluxo gasoso, por meio da passagem do gás entre seus

poros. Fatores como a velocidade do gás, características das partículas e características do tecido determinam o grau de eficiência de retenção dos filtros de manga (GUILHERME, 2000). As partículas de pó formam uma torta de porosidade maior, menor ou igual à da manga (tecido poroso), sendo, em geral, essa torta a responsável pela filtração (DIP, 2004).

Estes equipamentos são considerados altamente eficientes por terem a capacidade de reter até 99% das partículas com diâmetros superiores a 1 μm . Além disso, apresentam fácil manutenção e operação, sendo praticamente insensíveis caso haja variações nas condições do fluxo gasoso. Contudo, a vida útil dos equipamentos é limitada a temperaturas altas e o uso destes filtros não é viável para fluxo de gases contendo materiais higroscópicos, teor de umidade elevado e substâncias pegajosas (FEAM, 2012).

3.4.3 *Precipitadores eletrostáticos*

Precipitadores eletrostáticos removem o material particulado de uma corrente gasosa através da criação de um alto diferencial de voltagem entre eletrodos. Quando o gás com partículas passa entre os eletrodos, as moléculas ficam ionizadas. Estas são então atraídas para o prato de carga oposta e removidas enquanto o gás prossegue (DIP, 2004).

O precipitador eletrostático apresenta eficiência da ordem de 99,9% e possui uma vida útil de 20 anos. Além disso, o equipamento opera com elevadas vazões e concentrações e apresenta uma baixa perda de carga. Entretanto, sua instalação demanda grandes áreas e sua utilização não é adequada para casos que apresentam oscilações na corrente de gás, como taxas de fluxo, temperatura e composição (FERNANDES, 2003).

3.4.4 *Lavadores de gases*

A lavagem de gases é um processo de remoção de um ou mais componentes numa mistura gasosa. Envolve o contato do poluente gasoso com um líquido (sistemas úmidos) ou com um sólido (sistemas secos) ou com

as partículas resultantes da evaporação da água de uma solução (sistemas semi-secos) (DIP, 2004).

Os lavadores mais utilizados são os do tipo úmido. Após o contato com o gás, as partículas do líquido (geralmente água) carregam as partículas para um sistema de tratamento de efluentes líquidos. Os lavadores apresentam como vantagens a possibilidade de tratar fluxos gasosos com partículas aderentes, umidade e elevadas temperaturas, com alta eficiência de retenção. A forma de contato partícula/líquido absorvente classifica esses equipamentos. Assim, eles podem ser do tipo câmara de *spray* gravitacional, ciclones de *spray*, dinâmicos úmidos, de impactação de orifício ou auto-induzidos, Venturi e torre de enchimento. O lavador tipo Venturi está entre os mais utilizados, devido aos seus altos níveis de eficiência, além de requerer espaço reduzido e ser de fácil operação. Neste equipamento, o líquido é atomizado em gotículas para reter e carrear os poluentes (FERNANDES, 2003).

3.5 Padrões de emissão de poluentes atmosféricos

Os padrões de emissão são os limites máximos de emissão que podem ser lançados na atmosfera por fontes potencialmente poluidoras. Usualmente, o padrão é expresso por concentração gravimétrica (mg/Nm³) e se refere às condições padrão de 1013 mbar, 0 °C e base seca. Caso a condição referencial de oxigênio seja definida, a Equação 1 abaixo demonstra como pode ser feita a correção da concentração medida do poluente para essa condição referencial (LISBOA E KAWANO, 2007):

$$C_R = \frac{21 - O_R}{21 - O_M} * C_m \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

C_R : concentração corrigida para condições referenciais em mg/Nm³

O_R : concentração referencial de oxigênio em % por volume

O_M : concentração medida de oxigênio em % por volume

C_M : concentração medida em mg/Nm³ por volume

No Brasil, a definição dos limites de emissões atmosféricas é feita pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), por intermédio de Resoluções. Para os limites das emissões industriais, há a importante participação dos órgãos estaduais de meio ambiente na edição dessas resoluções, tendo em vista seu papel preponderante no licenciamento e na fiscalização destas atividades e o conhecimento empírico que detém da realidade de seus territórios. Além disso, participam também ativamente das discussões os representantes da indústria brasileira, dos governos municipais e da sociedade civil (LISBOA e KAWANO, 2007).

3.6 A Resolução CONAMA nº 316 de 2002

A Resolução CONAMA nº 316/2002 dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos, incluindo a incineração. Essa resolução objetiva disciplinar esses processos, estabelecendo procedimentos operacionais e limites de emissão de poluentes, além de critérios de desempenho, controle, tratamento e disposição final de efluentes (BRASIL, 2002).

A Resolução CONAMA nº 316/2002 foi estabelecida a partir do entendimento de que os sistemas de tratamento térmico de resíduos são fontes potenciais de risco ambiental e de emissão de poluentes perigosos, podendo constituir agressão à saúde e ao meio ambiente se não forem corretamente instalados, operados e mantidos. Além disso, foi considerado o fato de que a definição de: “limites máximos de emissão, para poluentes a serem lançados na atmosfera, nas águas e no solo, por sistemas de tratamento térmico, contribui na implementação do Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras”, conforme a Resolução CONAMA nº 237/1997 (BRASIL, 2002; BRASIL, 1997).

A Resolução CONAMA nº 316/2002 destaca, no Art. 26, quais são os estudos técnicos que devem ser apresentados ao órgão ambiental no momento do licenciamento:

- Projetos Básico e de Detalhamento;
- Estudo e Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) ou outro estudo, definido pelo órgão ambiental competente;
- Análise de Risco;
- Plano do Teste de Queima;
- Plano de Contingência;
- Plano de Emergência.

Ainda do Art. 16 da referida resolução, é definido como responsabilidade do órgão ambiental competente o estabelecimento da periodicidade dos testes para verificação do atendimento aos limites de emissão de poluentes, bem como das demais condicionantes da Licença de Operação (LO). No Art. 32 é destacado que essa verificação deve ser registrada dentro de um sistema de automonitoramento, capaz de manter o registro dos efluentes discriminados nas condicionantes da LO (BRASIL, 2002).

Especificamente para os efluentes atmosféricos, o Art. 29 da Resolução CONAMA nº 316/2002 diz que a primeira verificação do cumprimento aos limites máximos de emissão deve ser realizada em plena capacidade de operação e deve necessariamente preceder à expedição da LO. Essa verificação é feita através do teste de queima e a realização deste é obrigatória por ocasião do licenciamento, renovação de licença, além de toda e qualquer modificação das condições operacionais (BRASIL, 2002). O teste de queima é definido como:

Conjunto de medições realizadas na unidade operando com a alimentação de resíduos, para avaliar a compatibilidade das condições operacionais do sistema de tratamento térmico, com vistas ao atendimento aos limites de emissões definidos na presente Resolução e com as exigências técnicas fixadas pelo órgão ambiental competente (artigo 33).

No Art. 37 da Resolução CONAMA nº 316/2002 é descrito o que, no mínimo, deve conter o sistema de monitoramento e o controle dos efluentes gasosos:

- Equipamentos que reduzam a emissão de poluentes, de modo a garantir o atendimento aos limites máximos de emissão fixados;
- Disponibilidade de acesso ao ponto de descarga, que permita a verificação periódica dos limites de emissão fixados nesta Resolução;
- Sistema de monitoramento contínuo com registro para teores de oxigênio (O₂) e de monóxido de carbono (CO), no mínimo, além de outros parâmetros definidos pelo órgão ambiental competente;
- Análise bianual das emissões dos poluentes orgânicos persistentes e de funcionamento dos sistemas de intertravamento.

Por fim, no Art. 38 são definidos os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos, sendo que todos os parâmetros medidos devem ser corrigidos pelo teor de oxigênio, na mistura de gases de combustão, do ponto de descarga, para sete por cento em base seca:

I - Material particulado (MP) total: setenta miligramas por normal metro cúbico;

II - Substâncias inorgânicas na forma particulada, agrupadas em conjunto como:

a) Classe 1: vinte e oito centésimos de miligrama por normal metro cúbico incluindo:

1. cádmio e seus compostos, medidos como cádmio (Cd);
2. mercúrio e seus compostos, medidos como mercúrio (Hg);
3. tálio e seus compostos, medidos como tálio (Tl);

b) Classe 2: um miligrama e quatro décimos por normal metro cúbico incluindo:

1. arsênio e seus compostos, medidos como arsênio (As);
2. cobalto e seus compostos, medidos como cobalto (Co);
3. níquel e seus compostos, medidos como níquel (Ni);
4. telúrio e seus compostos, medidos como telúrio (Te);
5. selênio e seus compostos, medidos como selênio (Se);

- c) Classe 3: sete miligramas por normal metro cúbico incluindo:
1. antimônio e seus compostos, medidos como antimônio (Sb);
 2. chumbo e seus compostos, medidos como chumbo (Pb);
 3. cromo e seus compostos, medidos como cromo (Cr);
 4. cianetos facilmente solúveis, medidos como Cianetos (CN);
 5. cobre e seus compostos, medidos como cobre (Cu);
 6. estanho e seus compostos medidos como estanho (Sn);
 7. fluoretos facilmente solúveis, medidos como flúor (F);
 8. manganês e seus compostos, medidos como manganês (Mn);
 9. platina e seus compostos, medidos como platina (Pt);
 10. paládio e seus compostos, medidos como paládio (Pd);
 11. ródio e seus compostos medidos como ródio (Rh);
 12. vanádio e seus compostos, medidos como vanádio (V).

III - Gases:

1. óxidos de enxofre: duzentos e oitenta miligramas por normal metro cúbico, medidos como dióxido de enxofre;
2. óxidos de nitrogênio: quinhentos e sessenta miligramas por normal metro cúbico, medidos como dióxido de nitrogênio;
3. monóxido de carbono: cem partes por milhão por normal metro cúbico;
4. compostos clorados inorgânicos: oitenta miligramas por normal metro cúbico, até 1,8kg/h, medidos como cloreto de hidrogênio;
5. compostos fluorados inorgânicos: cinco miligramas por normal metro cúbico, medidos como fluoreto de hidrogênio.
6. Dioxinas e Furanos: dibenzo-p-dioxinas e dibenzo-p-furanos, expressos em TEQ (total de toxicidade equivalente) da 2,3,7,8 TCDD (tetracloro-dibenzo-para-dioxina): 0,50 ng/Nm³.

Os fatores de equivalência de toxicidade (FTEQ) definidos pela da Resolução CONAMA nº 316/2002 estão descritos na Tabela 7.

Tabela 7 - Fatores de equivalência de toxicidade (FTEQ) para dioxinas e furanos definidos pela da Resolução CONAMA nº 316/2002

Dioxinas	FTEQ	Furanos	FTEQ
mono-, di-, e tri-CDDs (mono-, di- e tri-cloro-dibenzo-p-dioxinas)	0	Mono-, di-, tri-CDFs (mono-, di- e tri-cloros-dibenzofuranos)	0
2,3,7,8 - TCDD (tetracloro-dibenzo-p-dioxina)	1	2,3,7,8 - TCDF (tetracloro-dibenzofurano)	0,1
outros TCDDs (tetracloros-dibenzo-p-dioxinas)	0	outros TCDFs (tetracloros-dibenzofuranos)	0
1,2,3,7,8 - PeCDD (pentacloro-dibenzo-p-dioxina)	0,5	1,2,3,7,8 - PeCDF (pentacloro-dibenzofurano)	0,05
outros PeCDDs (pentacloros-dibenzo-p-dioxinas)	0	2,3,4,7,8 - PeCDF (pentacloro-dibenzofurano)	0,5
1,2,3,4,7,8 - HxCDD (hexacloro-dibenzo-p-dioxina)	0,1	outros PeCDDs (pentacloros-dibenzofuranos)	0
1,2,3,6,7,8 - HxCDD (hexacloro-dibenzo-p-dioxina)	0,1	1,2,3,4,7,8 - HxCDF (hexacloro-dibenzofurano)	0,1
1,2,3,7,8,9 - HxCDD (hexacloro-dibenzo-p-dioxina)	0,1	1,2,3,6,7,8 - HxCDF (hexacloro-dibenzofurano)	0,1
outros HxCDDs (hexacloros-dibenzo-p-dioxinas)	0	1,2,3,7,8,9 - HxCDF (hexacloro-dibenzofurano)	0,1
1,2,3,4,6,7,8 - HpCDD (heptacloro-dibenzo-p-dioxina)	0,01	2,3,4,6,7,8 - HxCDF (hexacloro-dibenzofurano)	0,1
outros HpCDDs (heptacloros-dibenzo-p-dioxinas)	0	outros HxCDDs (hexacloros-dibenzofuranos)	0
OCDD (octacloro-dibenzo-p-dioxina)		1,2,3,4,6,7,8 - HpCDF (heptacloro-dibenzofurano)	0,01
-	-	1,2,3,4,7,8,9 - HpCDF (heptacloro-dibenzofurano)	0,01
-	-	outros HpCDFs (heptacloros-dibenzofuranos)	0
-	-	OCDF (octacloro-dibenzofurano)	0,001

Fonte: BRASIL (2002, anexo I)

4 METODOLOGIA

Para a realização do presente trabalho, primeiramente foi realizada uma pesquisa bibliográfica a respeito das normas e legislações nacionais, estaduais e internacionais existentes sobre o tema incineração de resíduos sólidos, focando naquelas que apresentam padrões de emissão de poluentes atmosféricos.

Em seguida foi feita a comparação dos limites máximos permitidos de emissões de poluentes atmosféricos em processos de incineração estabelecidos nas normas e legislações selecionadas, para identificar aquelas que apresentam limites mais restritivos.

Foi realizado um levantamento junto à Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) dos empreendimentos de incineração de resíduos sólidos localizados no estado de Minas Gerais. O critério utilizado para seleção dos empreendimentos analisados foi a existência de licença de operação válida no ano de 2016, inscrita no código F-05-13-4 (incineração de resíduos) da Deliberação Normativa COPAM 74/2004 (MINAS GERAIS, 2004). A seleção foi realizada através de uma consulta *online* ao Sistema Integrado de Informação do Estado de Minas Gerais (<<http://www.siam.mg.gov.br>>), onde foram identificados 12 empreendimentos de incineração de resíduos sólidos no estado de Minas Gerais que atendem ao critério.

Nas licenças de operação das empresas incineradoras de resíduos sólidos do estado de Minas Gerais é solicitado como condicionante a apresentação periódica de relatórios de automonitoramento das emissões de poluentes atmosféricos e o atendimento aos padrões estabelecidos na Resolução CONAMA nº 316/2002 (BRASIL, 2002).

A coleta de dados de automonitoramento das emissões de poluentes atmosféricos das empresas incineradoras foi realizada através da consulta aos processos de licenciamento ambiental dos empreendimentos identificados junto às Superintendências Regionais de Meio Ambiente (SUPRAMs) do Estado de Minas Gerais, que são os órgãos responsáveis pelo licenciamento no âmbito estadual. A Tabela 8 mostra as principais características desses empreendimentos. Foi possível coletar informações a respeito de 8 empreendimentos denominados A, B, C, D, E, F, G e H na Tabela 8.

Foi realizada uma análise do atendimento aos padrões máximos de emissão de poluentes atmosféricos estabelecidos pelas normas e legislações estudadas pelas empresas incineradoras de resíduos sólidos selecionadas, através da confrontação com os dados de automonitoramento obtidos nos processos de licenciamento ambiental. Por fim, foi discutida a necessidade de elaboração de uma legislação específica sobre esse tema para o estado de Minas Gerais.

Tabela 8 – Informações sobre empreendimentos de incineração de resíduos sólidos do estado de Minas Gerais com licença de operação válida em 2016. *Continua...*

Empreendimento	Município	Tipo de licença ¹	Tipo de Resíduo recebido	Capacidade instalada (hora)	Capacidade instalada (dia)	Frequência de envio ²	Tipo de forno	ECPs
A	Simão Pereira	REVLO	RI ³ : Classe I, IIA e IIB RSS ⁴ : A, B, D e E	1 ton/h	9 ton/dia	Trimestral	Forno rotativo com duas câmaras	Lavador de gases Venturi + filtro de carvão ativado + filtro eletrostático + filtro de abate de particulados
B	Conselheiro Lafaiete	REVLO	RSS: A, B, D e RI: I; IIA e IIB	0,06 ton/h	4 ton/dia	Semestral	Incinerador de câmaras fixas	Resfriador <i>Quench</i> + lavador Venturi + lavador decantador
C	Contagem	LOC	RSS: A, B, D e E	0,15 ton/h	3,6 ton/dia	Trimestral: parâmetros da CONAMA 316/2002, exceto dioxinas e furanos Anual: Dioxinas e Furanos	Incinerador de câmaras fixas	Resfriador <i>Quench</i> + lavador de gases
D	Lavras	REVLO	RI RSS (A, B, D e E)	0,48 ton/h	7,7 ton/dia	Anual	Incinerador de câmaras fixas	Ciclone + lavador de gases

Continuação...

Empreendimento	Município	Tipo de licença ¹	Tipo de Resíduo recebido	Capacidade instalada	Capacidade instalada (dia)	Frequência de envio ²	Tipo de forno	ECPs
E	Ubá	LOC	RI RSS: A, B e E	0,4 ton/h	3,2 ton/dia	Semestral	Incinerador de câmaras fixas	Filtro de retenção de material particulado + Lavador de gases + filtro de carvão ativado + filtro eletrostático
F	Montes claros	REVLO	RI RSS: A, B e E	0,4 ton/h	3,2 ton/dia	Anual	Incinerador de câmaras fixas	Resfriador <i>Quench</i> + torre <i>Scrubber</i>
G	Uberlândia	REVLO	RI: classe I, IIA e IIB RSS	0,25 ton/h	2,5 ton/dia	Bianual	Incinerador de câmaras fixas	Ciclone + resfriador gás-ar + lavador Venturi
H	Contagem	REVLO	RI: I, IIA e IIB RSS: A, B e E	1 ton/h	24 ton/dia	Trimestral: parâmetros da CONAMA 316/2002, exceto dioxinas e furanos Bianual: dioxinas e furanos	Forno rotativo	Ciclone + torre de resfriamento + lavador de gases + filtro de Mangas.

Fonte: elaborada pelo autor

¹LO: Licença de Operação/ LOC: Licença de Operação Corretiva/ REVLO: Renovação da Licença de Operação

²Frequência de envio dos relatórios de automonitoramento de efluentes atmosféricos ao órgão ambiental licenciador

³RI: Resíduo Industrial

⁴RSS: Resíduos de Serviço de Saúde

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Normas e legislações sobre incineração de resíduos sólidos

Além da Resolução CONAMA nº 316/2002 (BRASIL, 2002), a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) também dispõe sobre a incineração de resíduos perigosos, através da NBR nº 11.175/1990 (ABNT, 1990). Esta norma define as condições para o teste de queima e os padrões de desempenho do incinerador, os limites máximos de emissão de poluentes, entre outros.

No estado de Minas Gerais, a Política Estadual de Resíduos Sólidos, definida pela Lei nº 18.031/2009 proíbe, em sua Seção II – Das proibições, a “utilização da tecnologia de incineração no processo de destinação final dos resíduos sólidos urbanos oriundos do sistema de coleta do serviço público de limpeza urbana nos municípios” (MINAS GERAIS, 2009). Não existe, até o presente momento, nenhuma legislação estadual específica para incineração. Há também a Deliberação Normativa COPAM nº 187, de 20 de setembro de 2013, que “estabelece condições e limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas”, sendo que um dos anexos é para emissões atmosféricas de fontes não-listadas, onde a incineração de resíduos sólidos pode se enquadrar (MINAS GERAIS, 2013).

No estado do Paraná, a Resolução SEMA nº 054/2006 define critérios de qualidade do ar e dá providências sobre diversas atividades que potencialmente geram efluentes atmosféricos, incluindo o tratamento térmico de resíduos industriais (PARANÁ, 2006). Nesta resolução também são definidos os limites máximos permitidos de emissão de poluentes atmosféricos nessas atividades.

No estado do Rio Grande do Sul, a Resolução CONSEMA nº 009/2000 dispõe sobre o licenciamento ambiental de sistemas de incineração de RSS classificados como infectantes, pertencentes ao grupo A da classificação feita

pela ANVISA (Tabela 6). Além de outros requisitos, esta resolução estabelece as concentrações máximas permitidas para emissão de poluentes atmosféricos nesse tipo de sistema de tratamento (RIO GRANDE DO SUL, 2000).

A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) fixou as condições exigíveis para aceitação de um sistema de tratamento de resíduos infectantes provenientes de estabelecimentos de RSS por meio da Norma Técnica E15.011, definindo também limites máximos permitidos de emissão de poluentes atmosféricos de acordo com a capacidade do sistema de incineração (CETESB, 1997).

Os demais Estados brasileiros não possuem legislações específicas sobre a incineração de resíduos sólidos.

Na Tabela 9 é possível visualizar um comparativo de todos os limites máximos permitidos para emissão de poluentes atmosféricos nas legislações descritas acima. A partir desses valores, é possível observar que nem a legislação do estado do Paraná, a Resolução SEMA nº 054/06 (PARANÁ, 2006), nem a norma ABNT NBR nº 11.175/1990 (ABNT, 1990), nem a Deliberação Normativa COPAM nº187/2013 (MINAS GERAIS, 2013) possuem limites máximos mais restritivos que os estabelecidos pela Resolução CONAMA nº316/2002 (BRASIL, 2002) (Tabela 9). Em contrapartida, a Resolução CONSEMA nº 009/2000 (RIO GRANDE DO SUL, 2000) possui limites específicos para os metais cádmio, mercúrio e chumbo. Porém, como a Resolução CONAMA nº316/2002 agrupa os metais em classes, não é possível constatar se os limites máximos permitidos de metais estabelecidos pela Resolução CONSEMA nº 009/2000 são mais ou menos restritivos que os estabelecidos pela Resolução CONAMA nº316/2002. Com relação aos demais parâmetros, a Resolução CONSEMA nº 009/2000 não apresenta limites mais restritivos que a Resolução CONAMA nº316/2002 (Tabela 9). Por conseguinte, a Resolução CONSEMA nº 009/2000 não será utilizada neste trabalho.

A Norma Técnica CETESB E15.011/1997 (CETESB, 1997) possui limites máximos de emissão mais restritivos que os estabelecidos pela Resolução CONAMA nº316/2002 para os poluentes MP, SO_x, NO_x, HCl e dioxinas e furanos (Tabela 9). Especificamente para o MP, o limite máximo adotado para comparação foi o correspondente à capacidade instalada de 1500kg/dia, pois, observando a Tabela 8, é possível constatar que todos os

empreendimentos mineiros contemplados nesse trabalho possuem capacidade instalada acima de 1500kg/dia. Portanto, essa norma foi selecionada para comparação com as emissões de poluentes das empresas de incineração do estado de Minas Gerais.

Tabela 9 - Limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos de acordo com as legislações brasileiras (todos os valores corrigidos a 7% de O₂ em base seca). *Continua...*

Poluente	RESOLUÇÃO CONAMA n° 316/2002		ABNT NBR n° 11.175/1990		Resolução SEMA n° 054/2006		Resolução CONSEMA n° 009/2000			Norma Técnica CETESB E15.011/1997			DN COPAM n° 187/2013***			
	LM*	Unid.	LM*	Unid.	LM*	Unidade	Cap. de Op. **	LM*	Unid.	Cap. de Op. **	LM*	Unid.	LM*	Unidade		
MP	70	mg/Nm ³	70	mg/Nm ³	70	mg/Nm ³	até 1500kg/dia	50	mg/Nm ³	menor que 200kg/d	120	mg/Nm ³	161	mg/Nm ³		
										200 a 1500 kg/d					70	mg/Nm ³
							maior que 1500kg/d			70					mg/Nm ³	maior que 1500kg/d
Cd	0,28	mg/Nm ³	0,28	mg/Nm ³	0,28	mg/Nm ³	até 200kg/d	0,17	mg/Nm ³	-	0,28	mg/Nm ³	-	-		
maior que 200kg/dia							0,04	mg/Nm ³								
Hg							-	0,59	mg/Nm ³							
TI							-	-	-							
As	1,4	mg/Nm ³	1,4	mg/Nm ³	1,4	mg/Nm ³	-	-	-	-	1,4	mg/Nm ³	-	-		
Co																
Ni																
Te																
Se																

Continuação...

Poluente	RESOLUÇÃO CONAMA n° 316/2002		ABNT NBR n° 11.175/1990		Resolução SEMA n° 054/2006		Resolução CONSEMA n° 009/2000			Norma Técnica CETESB E15.011/1997			DN COPAM n° 187/2013***	
	LM*	Unid.	LM*	Unid.	LM*	Unidade	Cap. de Op. **	LM*	Unid.	Cap. de Op. **	LM*	Unid.	LM*	Unidade
Sb	7	mg/Nm ³	7	mg/Nm ³	7	mg/Nm ³	-			-	7	mg/Nm ³	-	-
Pb							até 200kg/d	1,29	mg/Nm ³					
Cr							maior que 200kg/dia	0,08	mg/Nm ³					
Cu														
Sn														
F														
Mn														
Pt														
Pd														
Rh														
V														
SOx	280	mg/Nm ³	280	mg/Nm ³	280	mg/Nm ³	-	-	-	-	250	mg/Nm ³	1938	mg/Nm ³
NOx	560	mg/Nm ³	560	mg/Nm ³	560	mg/Nm ³	-	560	mg/Nm ³	-	400	mg/Nm ³	1077	mg/Nm ³
CO	100	ppm/Nm ³	100	ppm/Nm ³	100	ppm/Nm ³	-	-	-	-	125	mg/Nm ³	-	-

Conclusão

Poluente	RESOLUÇÃO CONAMA nº 316/2002		ABNT NBR nº 11.175/1990		Resolução SEMA nº 054/2006		Resolução CONSEMA nº 009/2000			Norma Técnica CETESB E15.011/1997			DN COPAM nº 187/2013***	
	LM*	Unid.	LM*	Unid.	LM*	Unidade	Cap. de Op. **	LM*	Unid.	Cap. de Op. **	LM*	Unid.	LM*	Unidade
HCl	80	mg/Nm ³	-	-	80	mg/Nm ³	-	80	mg/Nm	menor que 200kg/d	100	mg/Nm ³	-	-
										200 a 1500 kg/d	100			
										maior que 1500kg/d	70			
HF	5	mg/Nm ³	5	mg/Nm ³	5	mg/Nm ³	-	5	mg/Nm ³	-	5	mg/Nm ³	-	-
TEQ (dioxinas e furanos) ****	0,5	ng/Nm ³	-	-	0,5	ng/Nm ³	até 200kg/d	2,47	ng/Nm ³	menor que 200kg/d	-	-	-	-
										200 a 1500 kg/d	0,14	ng/Nm ³		
										maior que 1500kg/d	0,14	ng/Nm ³		
							maior que 200kg/dia	0,64	ng/Nm ³					

Fontes: BRASIL (2002); ABNT (1990); PARANÁ (2006); RIO GRANDE DO SUL (2000); CETESB (1997); MINAS GERAIS (2013) (elaborada pelo autor)

*LM: Limite máximo de concentração do poluente permitido pela legislação.

** Capacidade máxima de operação do incinerador.

*** Concentração de oxigênio originalmente é 8% em base seca, mas para fins de comparação com as outras legislações, na tabela estão apresentados valores a 7%.

**** Total de toxicidade equivalente da 2,3,7,8 TCDD (tetracloro-dibenzo-para-dioxina).

5.1.1 *A Diretiva Europeia para incineração de resíduos sólidos*

Os Estados Unidos e a União Europeia representam duas das entidades políticas mais industrializadas e economicamente desenvolvidas capazes de fornecer liderança ambiental global. Contudo, a União Europeia vem fazendo progressos significativos no desenvolvimento da política ambiental desde a década de 1990, obtendo destaque pela suas legislações ambientais modernas (GOULDSON *et al*, 2015). Por essa razão, optou-se neste trabalho realizar o estudo comparativo com a legislação ambiental europeia sobre a incineração de resíduos sólidos.

A Diretiva Europeia 2010/75/EU é relativa às emissões industriais, dispondo sobre a prevenção e controle integrados da poluição. Na Tabela 10 é possível visualizar os limites máximos de emissão estabelecidos nessa legislação, descritos em seu anexo VI, que trata das “disposições técnicas relacionadas com as instalações de incineração e co-incineração de resíduos” (UNIÃO EUROPEIA, 2010). Essa legislação, em comparação à Resolução CONAMA nº 316/2002, (Tabela 9) possui limites máximos de concentração muito mais restritivos para MP, SO_x, CO, HCl, HF e dioxinas e furanos (Tabela 10). O parâmetro NO_x só seria mais restritivo que a Resolução CONAMA nº 316/2002 para empreendimentos com capacidade de operação superior a 6 ton/h. Porém, observando o exposto na Tabela 8, na coluna “Capacidade instalada”, é visível que todos os empreendimentos estão abaixo dessa capacidade.

O fato da legislação europeia ser muito mais restritiva pode ser um indício de que a legislação federal do Brasil não está alinhada com o que é considerado seguro por órgãos internacionais de controle ambiental, que são embasados em uma série de estudos que visam garantir a saúde da população e a conservação do meio ambiente. Os estudos que suportam a legislação europeia estão disponíveis online através do CIRCABC - Centro de recursos em matéria de comunicação e informação (<https://circabc.europa.eu>). Para discutir o possível atraso da legislação brasileira em relação à europeia, seria necessário o acesso aos estudos que embasam a Resolução CONAMA nº

316/2002, porém os estudos brasileiros não estão disponíveis para consulta, o que inviabiliza uma análise mais aprofundada.

Em relação aos metais, como na Resolução CONAMA nº 316/2002 a forma de agrupar os metais é diferente da utilizada na Diretiva Europeia 2010/75/EU. Na legislação brasileira, os metais são agrupados em três classes, com limites máximos de emissão estabelecidos para cada um desses grupo. Em contrapartida, a Diretiva Europeia 2010/75/EU possui limite máximo de emissão específico para Hg, além de possui duas outras classes de metais, com composição diferente da estabelecida na Resolução CONAMA nº 316/2002. Assim, não é possível definir se os limites máximos de emissão da última são mais ou menos restritivos que a legislação brasileira.

Tabela 10 - Limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos segundo a Diretiva Europeia 2010/75/EU (todos os valores corrigidos a 7% de O₂ em base seca).

Poluente	Diretiva Europeia 2010/75/EU****		
	Cap. de Op. **	LM*	Unidade
MP	-	14	mg/Nm ³
Cd	-	0,07	mg/Nm ³
Tl			
Hg	-	0,07	mg/Nm ³
Sb	-	0,7	mg/Nm ³
As			
Pb			
Cr			
Co			
Cu			
Mn			
Ni			
V			
SOx	-	70	mg/Nm ³
NOx	Até 6ton/h	560	mg/Nm ³
	> 6ton/h	280	
CO	-	70	mg/Nm ³
HCl	-	14	mg/Nm ³
HF	-	1,4	mg/Nm ³
TEQ (dioxinas e furanos) ***	-	0,14	ng/Nm ³

Fonte: UNIÃO EUROPEIA (2010)

*Limite máximo de emissão do poluente permitido pela legislação.

** Capacidade máxima de operação do incinerador.

*** Total de toxicidade equivalente da 2,3,7,8 TCDD (tetracloro-dibenzo-para-dioxina)

****Concentração de oxigênio originalmente é 11% em base seca, mas para fins de comparação com as outras legislações, na tabela estão apresentados valores a 7%.

5.2 Automonitoramento das emissões de poluentes atmosféricos dos empreendimentos de incineração de resíduos sólidos de Minas Gerais

Os resultados contidos nos relatórios de automonitoramento de emissões de poluentes atmosféricos obtidos nos processos de regularização ambiental dos empreendimentos que realizam a atividade de incineração de resíduos sólidos no estado de Minas Gerais estão apresentados nas Tabelas 11 a 18. As frequências dos monitoramentos dependem do início de funcionamento de cada empreendimento e da determinação da frequência de envio dos relatórios ao órgão ambiental licenciador, determinadas nas condicionantes das licenças de operação. Os dados destacados em negrito nas tabelas referem-se aos resultados que não atenderam aos limites estabelecidos na Resolução CONAMA nº 316/2002 (BRASIL, 2002).

Analizando os resultados de automonitoramento de emissões atmosféricas apresentados pela empresa A (Tabela 11), verifica-se que ela cumpre a frequência trimestral de envio de relatórios de automonitoramento estipulada em sua LO (Tabela 8). Porém, os resultados do monitoramento de dioxinas e furanos não foram apresentados ao órgão ambiental nos relatórios de março e junho de 2015. Além disso, a concentração para esse parâmetro na campanha de novembro de 2014 alcançou quase o dobro do permitido pela Resolução CONAMA nº 316/2002 (Tabela 11).

Os limites estabelecidos para os metais classes I, II e III não foram atendidos pela empresa A em nenhuma das campanhas de monitoramento (Tabela 11). Particularmente para os metais classes I e III, os resultados extrapolaram significativamente os limites máximos de emissão. Na campanha de junho de 2015, a concentração de metais classe I atingiu o maior valor para esse parâmetro comparado às outras campanhas (63 mg/Nm³), cerca de 200 vezes maior que o limite máximo permitido pela Resolução CONAMA nº 316/2002 (Tabela 11). Nessa mesma campanha, o parâmetro metais classe III também atingiu o maior valor (61 mg/Nm³), aproximadamente 9 vezes maior que o limite máximo permitido. O fato de todos os resultados para metais não se enquadrarem ao exigido pela Resolução CONAMA nº 316/2002 assinala

que essa empresa precisa fazer uma profunda reformulação em seu processo de incineração.

Dessa forma, a empresa A não foi capaz de atender inteiramente às exigências da Resolução CONAMA nº 316/2002 em relação ao atendimento aos padrões de emissão de poluentes atmosféricos.

Tabela 11 – Resultados das concentrações de poluentes nas emissões atmosféricas da empresa A de incineração de resíduos, localizada no município de Simão Pereira, Minas Gerais.

Parâmetro	LM*	Campanha de automonitoramento de efluentes atmosféricos**						
		nov/14	mar/15	jun/15	out/15	dez/15	mar/16	jun/16
MP	70 mg/Nm ³	46	66	65	57	41	49	35
Metais Classe 1	0,28 mg/Nm ³	14,6	53	63	55	26	28	27
Metais Classe 2	1,4 mg/Nm ³	4,3	4,0	4,5	3,9	1,7	1,9	1,9
Metais Classe 3	7 mg/Nm ³	23	45	61	46	17	31	27
SOx	280 mg/Nm ³	172	261	249	244	144	124	93
NOx	560 mg/Nm ³	256	508	533	441	294	230	227
CO	100 mg/Nm ³	86	93	88	84	44	39	56
HCl	80 mg/Nm ³	<L.D.***	<L.D.***	<L.D.***	<L.D.***	<L.D.***	<L.D.***	<L.D.***
HF	5 mg/Nm ³	0,1	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1
Dioxinas e furanos	0,5 µg/Nm ³	0,9	-	-	0,3	0,3	0,3	0,4

Fonte: elaborado pelo autor

* Limite máximo de emissão do poluente segundo a Resolução CONAMA nº 316/2002

** Dados destacados em negrito não atendem ao limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 316/2002

*** Abaixo do limite de detecção do método

Os relatórios de automonitoramento das emissões de poluentes atmosféricos apresentados pela empresa B mostraram que a empresa cumpriu a frequência semestral (Tabela 8) de envio dos relatórios de automonitoramento ao órgão ambiental até o ano de 2014 (Tabela 12). Contudo, como a empresa tem licença válida em 2016 e continua enviando outros relatórios de automonitoramento referentes a outras condicionantes de sua LO, o empreendimento provavelmente está em operação e há dois anos não envia os relatórios de automonitoramento das emissões de poluentes atmosféricos.

No ano de 2014, as concentrações de metais classes I, II e III foram muito superiores às concentrações máximas permitidas pela Resolução CONAMA nº 316/2002 (Tabela 12). Na campanha de março de 2014, inclusive, o resultado apresentado para metais classe I é quase 100 vezes superior ao limite permitido. Além disto, na campanha de março de 2014, a concentração de dioxinas e furanos nas emissões do empreendimento B foi quase o dobro do limite estabelecido na Resolução CONAMA nº 316/2002 (Tabela 12).

Há diversas faltas constatadas nos relatórios de automonitoramento da empresa B. Na campanha de março de 2013 só há informações à respeito dos parâmetros MP e SO_x e na campanha de novembro de 2013 continuam a faltar os dados referentes aos metais classe I, II e III e HF. Além disso, na campanha de março de 2014 não foi reportada a concentração de metais classe II.

Dessa forma, assim como a empresa A, empresa B também não foi capaz de atender inteiramente às exigências da Resolução CONAMA nº 316/2002 em relação ao atendimento aos padrões de emissão de poluentes atmosféricos.

Tabela 12 - Resultados das concentrações de poluentes nas emissões atmosféricas da empresa B de incineração de resíduos, localizada no município de Conselheiro Lafaiete, Minas Gerais.

Parâmetro	LM*	Campanha de automonitoramento de efluentes atmosféricos**			
		mar/13	nov/13	mar/14	set/14
MP	70 mg/Nm ³	62	50	63	45
Metais Classe I	0,28 mg/Nm ³	-	-	26	13
Metais Classe II	1,4 mg/Nm ³	-	-	-	4,4
Metais Classe III	7 mg/Nm ³	-	-	34	21
SOx	280 mg/Nm ³	22	60	269	14
NOx	560 mg/Nm ³	-	200	466	145
CO	100 mg/Nm ³	-	73	81	49
HCl	80 mg/Nm ³	-	0,30	0,42	0,24
HF	5 mg/Nm ³	-	-	0,23	0,11
Dioxinas e furanos	0,5 ng/Nm ³	-	0,4	0,9	0,5

Fonte: elaborado pelo autor

* Limite máximo de emissão do poluente segundo a Resolução CONAMA nº 316/2002

** Dados destacados em negrito não atendem ao limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 316/2002

A empresa C cumpriu a frequência trimestral de envio de relatórios de automonitoramento das emissões de poluentes atmosféricos para todos os parâmetros da Resolução CONAMA nº 316/2002, exceto para dioxinas e furanos, cuja frequência é anual (Tabela 8; Tabela 13). No ano de 2013 e 2014 o empreendimento C esteve desativado, logo é justificável a falta de relatórios de automonitoramento. Todavia, a condicionante que exigia o automonitoramento anual de dioxinas e furanos não foi respeitada, não existindo nenhuma comprovação dentro do processo da LO de que a empresa C é capaz de controlar suas emissões desses poluentes.

Na campanha de automonitoramento de emissões atmosféricas de março de 2015, os valores para MP e metais classe II e III apresentaram-se acima do permitido pela Resolução CONAMA nº 316/2002 (Tabela 13). Porém, como nos relatórios seguintes os resultados foram normalizados, é possível

inferir que a empresa adaptou seu processo de incineração para atender aos padrões ambientais.

Assim, a empresa C também não foi capaz de atender inteiramente às exigências da Resolução CONAMA nº 316/2002 em relação ao atendimento aos padrões de emissão de poluentes atmosféricos.

Tabela 13 - Resultados das concentrações de poluentes nas emissões atmosféricas da empresa C de incineração de resíduos, localizada no município de Contagem, Minas Gerais.

Parâmetro	LM*	Campanha de automonitoramento de efluentes atmosféricos**				
		nov/13	mar/15	jun/15	set/15	fev/16
MP	70 mg/Nm ³	58	77	46	39	33
Metais Classe I	0,28 mg/Nm ³	0,0001	0,0006	0,01	<L.D.***	<L.D.***
Metais Classe II	1,4 mg/Nm ³	0,01	4,9	0,16	0,06	0,13
Metais Classe III	7 mg/Nm ³	0,03	8,7	0,57	0,21	0,54
SOx	280 mg/Nm ³	<L.D.***	15	14	<L.D.***	<L.D.***
NOx	560 mg/Nm ³	<L.D.***	<L.D.***	<L.D.***	32	31
CO	100 mg/Nm ³	24	40	26,7	83	<L.D.***
HCl	80 mg/Nm ³	<L.D.***	<L.D.***	6,3	40	16
HF	5 mg/Nm ³	<L.D.***	<L.D.***	<L.D.***	<L.D.***	<L.D.***
Dioxinas e furanos	0,5 ng/Nm ³	<L.D.***	-	-	-	-

Fonte: elaborado pelo autor

* Limite máximo de emissão do poluente segundo a Resolução CONAMA nº 316/2002

** Dados destacados em negrito não atendem ao limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 316/2002

*** Abaixo do limite de detecção do método

Os relatórios de automonitoramento da empresa D revelaram que essa empresa obteve um desempenho melhor que as empresas A, B e C, no sentido de atender à frequência de envio dos relatórios estabelecido em condicionante de sua LO (Tabela 8) e aos limites máximos de emissões de poluentes atmosféricos estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 316/2002 (Tabela 14). A frequência de envio de relatórios foi inclusive superior à frequência anual exigida no ano de 2015 (Tabela 14).

O único problema presente nos dados da Tabela 14 é a ausência de resultados para CO em julho de 2012, maio de 2013 e julho de 2016. Essa ausência é inesperada, pois a concentração de CO do efluente gasoso é um indício de que está ocorrendo a combustão incompleta, logo é de interesse do empreendimento que esses valores sejam monitorados. Além disso, a Resolução CONAMA nº 316/2002, no Art. 37, exige a instalação de um sistema de monitoramento contínuo com registro para CO (BRASIL, 2002).

Desse modo, a empresa D também não foi capaz de atender inteiramente às exigências da Resolução CONAMA nº 316/2002 em relação ao atendimento aos padrões de emissão de poluentes atmosféricos.

Tabela 14 - Resultados das concentrações de poluentes nas emissões atmosféricas da empresa D de incineração de resíduos, localizada no município de Lavras, Minas Gerais

Relatório	LM*	Campanha de automonitoramento de efluentes atmosféricos**					
		jul/12	mai/13	dez/14	set/15	out/15	jul/16
MP	70 mg/Nm ³	40,4	42	64	57	34	29
Metais Classe I	0,28 mg/Nm ³	0,012	0,03	0,08	0,05	0,13	0,02
Metais Classe II	1,4 mg/Nm ³	<L.D.***	0,01	0,08	0,18	0,04	0,11
Metais Classe III	7 mg/Nm ³	6,2	2,15	2,3	2,2	1,5	1,7
SOx	280 mg/Nm ³	<L.D.***	34	17	249	3	<L.D.***
NOx	560 mg/Nm ³	128	<L.D.***	29	248	<L.D.***	77
CO	100 mg/Nm ³	-	-	54	41	36	-
HCl	80 mg/Nm ³	26	2	<L.D.***	49	<L.D.***	0,92
HF	5 mg/Nm ³	<L.D.***	<L.D.***	<L.D.***	0,11	<L.D.***	<L.D.***
Dioxinas e furanos	0,5 ng/Nm ³	0,29	0,03	0,08	0,22	0,14	0,003

Fonte: elaborado pelo autor

* Limite máximo de emissão do poluente segundo a Resolução CONAMA nº 316/2002

** Dados destacados em negrito não atendem ao limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 316/2002

*** Abaixo do limite de detecção do método

A empresa E apresentou diversas falhas em seus relatórios de automonitoramento(Tabela 15). Na LO obtida junto à SUPRAM, só foi possível identificar relatórios de 2007 a 2009. Como o empreendimento está em operação, estão faltando os dados de 2010 a 2016;

Apesar da empresa E superar a frequência semestral de envio de relatórios, exigida nas condicionantes de seu licenciamento (Tabela 8), estão faltando todos os dados de MP, metais classe I, II e III, HF e dioxinas e furanos. Apesar dos demais resultados se encontrarem dentro do permitido pela Resolução CONAMA nº 316/2002, a ausência de mais da metade dos parâmetros impede a avaliação do desempenho desse empreendimento.

Por isso, a empresa E também não foi capaz de atender inteiramente às exigências da Resolução CONAMA nº 316/2002 em relação ao atendimento aos padrões de emissão de poluentes atmosféricos.

Tabela 15 - Resultados das concentrações de poluentes nas emissões atmosféricas da empresa E de incineração de resíduos, localizada no município de Ubá, Minas Gerais

Parâmetro	LM*	Campanha de automonitoramento de efluentes atmosféricos**										
		set/07	fev/08	ago/08	set/08	out/08	nov/08	dez/08	jan/09	fev/09	set/09	
MP	70 mg/Nm ³	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Metais Classe I	0,28 mg/Nm ³	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Metais Classe II	1,4 mg/Nm ³	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Metais Classe III	7 mg/Nm ³	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SOx	280 mg/Nm ³	57	31	42	59	29	42	39	42	44	42	
NOx	560 mg/Nm ³	4,6	2,3	3,7	1,6	2,7	3,7	5,3	4,9	5,2	3,7	
CO	100 mg/Nm ³	48	12	26	44	22	26	22	25	25	26	
HCl	80 mg/Nm ³	18	19	11	18	17	11	13	12	13	11	
HF	5 mg/Nm ³	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dioxinas e furanos	0,5 µg/Nm ³	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: elaborado pelo autor

* Limite máximo de emissão do poluente segundo a Resolução CONAMA nº 316/2002

** Dados destacados em negrito não atendem ao limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 316/2002

*** Abaixo do limite de detecção do método

A empresa F apresentou um desempenho ambiental semelhante ao da empresa D, referente às emissões de poluentes atmosféricos. Os dados de automonitoramento apresentados na Tabela 16 revelam que a frequência anual de envio dos relatórios foi respeitada entre 2009 e 2014, como definido nas condicionantes de sua LO (Tabela 8). Ademais, todos os resultados se encontraram abaixo dos limites máximos de emissões de poluentes definidos pela Resolução CONAMA nº 316/2002. Porém, como estão faltando os dados referentes a 2015 e 2016, a empresa F não foi capaz de atender à frequência exigida.

Desta forma, a empresa F não foi capaz de atender inteiramente às exigências da Resolução CONAMA nº 316/2002 em relação ao atendimento aos padrões de emissão de poluentes atmosféricos.

Tabela 16 - Resultados das concentrações de poluentes nas emissões atmosféricas da empresa F de incineração de resíduos, localizada no município de Montes Claros, Minas Gerais

Parâmetro	LM*	Campanha de automonitoramento de efluentes atmosféricos**						
		jun/09	set/10	out/11	ago/12	out/12	out/13	set/14
MP	70 mg/Nm ³	46	65	34	34	17	32	46
Metais Classe I	0,28 mg/Nm ³	0,0016	0,001	0,0036	0,0036	0,0033	0,0320	0,09
Metais Classe II	1,4 mg/Nm ³	0,02	0,09	0,04	0,04	<L.D.***	0,01	0,02
Metais Classe III	7 mg/Nm ³	0,12	0,03	0,17	0,22	<L.D.***	<L.D.***	0,02
SOx	280 mg/Nm ³	46	1,49	1,11	84	84	125	54
NOx	560 mg/Nm ³	488	11	12	37	37	43	117
CO	100 mg/Nm ³	62	38	26	27	27	72	5,0
HCl	80 mg/Nm ³	1,8	55	<L.D.***	<L.D.***	21	6,40	<L.D.***
HF	5 mg/Nm ³	4,04	0,04	0,22	0,21	0,21	0,20	0,28
Dioxinas e furanos	0,5 ng/Nm ³	<L.D.***	<L.D.***	0,16	<L.D.***	<L.D.***	<L.D.***	0,04

Fonte: elaborado pelo autor

* Limite máximo de emissão do poluente segundo a Resolução CONAMA nº 316/2002

** Dados destacados em negrito não atendem ao limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 316/2002

*** Abaixo do limite de detecção do método

A empresa G apresentou diversas falhas, ao observar-se os dados contidos na Tabela 17. O envio dos relatórios de automonitoramento de efluentes atmosféricos deveria ser feito bianualmente, ou seja, duas vezes por ano (Tabela 8). Porém, os dados parecem estar sendo enviados a cada dois anos, o que pode ser fruto de uma má interpretação da palavra “bianual” por parte do empreendimento. Além disso, não foi possível identificar dentro do processo da renovação da LO da empresa junto à SUPRAM, os relatórios que deveriam ter sido enviados nos anos de 2014, 2015 e 2016.

A empresa G também não apresentou as concentrações para das classes de metais I, II e III nas campanhas de fevereiro de 2011 e março de 2013 e de HF na campanha de fevereiro de 2011.

Portanto, a empresa G não foi capaz de atender inteiramente às exigências da Resolução CONAMA nº 316/2002 em relação ao atendimento aos padrões de emissão de poluentes atmosféricos.

Tabela 17 - Resultados das concentrações de poluentes nas emissões atmosféricas da empresa G de incineração de resíduos, localizada no município de Uberlândia, Minas Gerais

Parâmetro	LM*	Campanha de automonitoramento de efluentes atmosféricos**		
		jul/09	fev/11	mar/13
MP	70 mg/Nm ³	70	50	62
Metais Classe I	0,28 mg/Nm ³	0,09	-	-
Metais Classe II	1,4 mg/Nm ³	0,02	-	-
Metais Classe III	7 mg/Nm ³	0,97	-	-
SOx	280 mg/Nm ³	258	110	231
NOx	560 mg/Nm ³	530	215	337
CO	100 mg/Nm ³	10	60	74
HCl	80 mg/Nm ³	35	<L.D.***	0,29
HF	5 mg/Nm ³	0,79	-	0,16
Dioxinas e furanos	0,5 ng/Nm ³	0,12	0,45	0,5

Fonte: elaborado pelo autor

* Limite máximo de emissão do poluente segundo a Resolução CONAMA nº 316/2002

** Dados destacados em negrito não atendem ao limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 316/2002

*** Abaixo do limite de detecção do método

Por fim, os relatórios de automonitoramento da empresa H (Tabela 18) revelam que a frequência de trimestral de envio dos relatórios de automonitoramento com todos os parâmetros da Resolução CONAMA nº 316/2002, exceto dioxinas e furanos, não foi respeitada, bem como a frequência de envio bianual de dioxinas e furanos (Tabela 8; Tabela 18). Os dados do parâmetro dioxinas e furanos parecem estar sendo enviados a cada dois anos, o que, assim como parece ter ocorrido com a empresa G, pode ser consequência da interpretação equivocada da palavra “bianual”.

A empresa conseguiu atender aos limites máximos de emissão de poluentes permitidos pela Resolução CONAMA nº 316/2002 até a campanha de setembro de 2014, apesar das falhas em apresentar o parâmetro CO. Assim como observado para a empresa D, a ausência desse parâmetro é inesperada,

pois a concentração de CO do efluente gasoso é um indício de que está ocorrendo a combustão incompleta, logo é de interesse do empreendimento que esses valores sejam monitorados. Além disso, a Resolução CONAMA nº 316/2002, no Art. 37, exige a instalação de um sistema de monitoramento contínuo com registro para CO (BRASIL, 2002).

As campanhas de automonitoramento de dezembro de 2014 e março de 2016 apresentaram valores muito acima dos limites máximos de emissão permitidos pela Resolução CONAMA nº 316/2002 para os metais classe I, II e III e para dioxinas e furanos (Tabela 18). Na campanha de março de 2016, o resultado reportado para o parâmetro metais classe I é aproximadamente 200 vezes superior ao limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 316/2002. Essa alteração brusca nos resultados pode possivelmente ter sido causada por uma modificação no processo de incineração da empresa ou pela alteração nos ECPs utilizados, sendo que qualquer alteração no processo deveria ter sido reportada ao órgão ambiental.

Em vista disso, a empresa H também não foi capaz de atender inteiramente às exigências da Resolução CONAMA nº 316/2002 em relação ao atendimento aos padrões de emissão de poluentes atmosféricos.

Tabela 18 - Resultados das concentrações de poluentes nas emissões atmosféricas da empresa H de incineração de resíduos, localizada no município de Contagem, Minas Gerais

Parâmetro	LM*	Campanha de automonitoramento de efluentes atmosféricos**											
		mar/10	mai/10	out/10	dez/10	abr/11	jul/11	nov/11	jan/12	mai/13	set/14	dez/14	mar/16
MP	70 mg/Nm ³	47	27	45	31	62	29	69	25	44	30	52	44
Metais Classe I	0,28 mg/Nm ³	<L.D.***	<L.D.***	<L.D.***	<L.D.***	0,001	<L.D.***	<L.D.***	<L.D.***	0,0016	<L.D.***	31	64
Metais Classe II	1,4 mg/Nm ³	<L.D.***	0,04	0,74	<L.D.***	0,07	<L.D.***	0,035	0,0184	0,0015	0,126	3,37	5,20
Metais Classe III	7 mg/Nm ³	0,12	0,57	0,63	<L.D.***	0,19	1,15	0,20	0,32	0,00	0,02	37,7	48,3
SOx	280 mg/Nm ³	<L.D.***	<L.D.***	<L.D.***	<L.D.***	0,10	0,10	0,10	0,10	9,69	0,10	202	225
NOx	560 mg/Nm ³	2,47	3,75	7,41	7,38	<L.D.***	11,61	8,12	22,58	0,18	0,07	341	519
CO	100 mg/Nm ³	-	-	-	-	-	-	-	-	96,00	-	86	93
HCl	80 mg/Nm ³	4,49	11,75	12,65	2,86	5,65	6,45	22,7	0,50	0,19	0,50	0,34	0,37
HF	5 mg/Nm ³	0,00	0,00	3,89	2,25	0,00	0,00	0,50	0,50	0,12	0,50	0,14	0,21
Dioxinas e furanos	0,5 ng/Nm ³	-	-	-	-	-	0,01	-	-	0,08	-	0,69	0,84

Fonte: elaborado pelo autor

* Limite máximo de emissão do poluente segundo a Resolução CONAMA nº 316/2002

** Dados destacados em negrito não atendem ao limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 316/2002

*** Abaixo do limite de detecção do método

A informação mais relevante que pode ser obtida das Tabelas 11 a 18 é que todos os empreendimentos analisados apresentam falhas no atendimento aos padrões de emissões de poluentes atmosféricos definidos pela Resolução CONAMA nº 316/2002.

Na Tabela 19 é possível visualizar um resumo das falhas encontradas nos relatórios de automonitoramento das empresas incineradoras de resíduos sólidos do estado de Minas Gerais. Foi assinalado com um “x” (representando uma falha) a empresa que apresentou relatórios em desacordo com a frequência estabelecida em seu processo de licenciamento ambiental. Além disto, uma falha foi considerada quando pelo menos um resultado dos parâmetros de monitoramento ficaram acima do limite permitido pela Resolução CONAMA nº 316/2002, em qualquer campanha de automonitoramento, ou quando a concentração de algum poluente não foi reportada no relatório.

A Tabela 19 revela a falta de controle e/ou monitoramento das emissões de metais classes I, II e III na maioria dos empreendimentos estudados, uma vez que esses parâmetros apresentaram o maior número de falhas em relação aos demais parâmetros. Além disto, a frequência de envio de relatórios de automonitoramento ao órgão ambiental não é respeitada por 5 dos 8 empreendimentos estudados, mostrando o não atendimento a um requisito legal determinado nas condicionantes de suas respectivas licenças de operação (Tabela 19). Finalmente, é possível constatar que as emissões de dioxinas e furanos da metade dos empreendimentos de incineração de resíduos sólidos analisados no presente estudo não estão sendo controladas e/ou monitoradas conforme determinado nos processos de licenciamento ambiental dessas empresas, nem conforme os critérios estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 316/2002.

Tabela 19 - Resumo das falhas encontradas nos relatórios de automonitoramento das emissões de poluentes atmosféricos das empresas de incineração de resíduos sólidos de Minas Gerais, denominadas A, B, C, D, E, F, G e H

Parâmetro	Empresa								Total por falha
	A	B	C	D	E	F	G	H	
Frequência*		x	x		x	x	x	x	5
MP			x		x				2
Metais Classe 1	x	x			x		x	x	5
Metais Classe 2	x	x	x		x		x	x	6
Metais Classe 3	x	x	x		x		x	x	6
SOx									
NOx									
CO				x				x	2
HCl									
HF					x		x		2
Dioxinas e furanos	x	x			x			x	4

Fonte: elaborado pelo autor

*Frequência de envio de relatórios de automonitoramento de emissões de poluentes atmosféricos definida nas condicionantes das licenças de operação dos empreendimentos

Como destacado por Henriques (2004), os metais pesados apresentam sério risco à saúde humana, com efeitos carcinogênicos, além de se bioacumularem no ambiente. Assim, a maioria dos empreendimentos desrespeitar os limites máximos de emissão demonstra que a incineração de resíduos sólidos em Minas Gerais representa risco às pessoas e ao meio ambiente expostos aos seus efluentes atmosféricos e indica a necessidade de readequação do setor. O mesmo raciocínio é válido para as dioxinas e furanos, pois o desrespeito aos limites máximos de emissão é preocupante devido aos seus possíveis efeitos nocivos à saúde e devido à sua persistência no meio ambiente (HENRIQUES, 2004).

A dificuldade apresentada pelos empreendimentos em respeitar a frequência de envio de relatórios de automonitoramento demonstra que há negligência por parte dos empreendimentos ao reportar as informações exigidas pelo órgão ambiental. Demonstra também que o órgão ambiental tem dificuldades de acompanhar acuradamente a operação dos empreendimentos, segundo as condicionantes estabelecidas por ele próprio.

Dentro da perspectiva da elaboração de uma legislação estadual mais restritiva que a nacional, o fato da maioria dos empreendimentos não conseguirem adequar-se nem à legislação nacional pode indicar que, antes da exigência de limites ambientais mais restritivos, o estado de Minas Gerais precisa primeiro garantir que as empresas em seu território atendam à Resolução CONAMA nº 316/2002.

5.3 Comparação dos resultados apresentados pelos empreendimentos de incineração do estado de MG com o exigido por outras normas/legislações

A comparação dos dados de automonitoramento dos empreendimentos que realizam incineração de resíduos sólidos em Minas Gerais com os limites de emissão de poluentes atmosféricos estabelecidos na Norma Técnica CETESB E15.011/1997 (CETESB, 1997) está apresentada na Tabela 20. Nesta tabela, apenas os parâmetros que apresentam limites mais restritivos que os estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 316/2002 são analisados. (BRASIL, 2002).

A Norma Técnica CETESB E15.011/1997 possui limites máximos de emissão mais restritivos em relação à Resolução CONAMA nº 316/2002 para os parâmetros MP, SO_x, NO_x, HCl e dioxinas e furanos. Ao observar na Tabela 8, a partir da coluna “capacidade instalada (dia)”, que todos os empreendimentos analisados possuem uma capacidade superior a 1500kg/dia, foram utilizados na Tabela 20 apenas os valores de limites máximos de emissão associados a essa capacidade.

A Tabela 20 demonstra que, quando confrontados com limites máximos de emissão mais restritivos, os empreendimentos analisados nesse trabalho

tem maior dificuldade em continuar atendendo às exigências. Os parâmetros MP, NOx e SOx, que praticamente não apresentaram resultados acima dos limites máximos de emissão da Resolução CONAMA nº 316/2002, passam a possuir muitos resultados acima dos limites da norma Norma Técnica CETESB E15.011/1997. Além disso, o parâmetro dioxinas e furanos, que já era um grande problema quando se estava analisando os limites máximos de emissão da Resolução CONAMA nº 316/2002, passa a ser quase totalmente extrapolado na Tabela 20.

Tabela 20 - Comparação dos dados de automonitoramento dos empreendimentos de incineração de resíduos sólidos de Minas Gerais com os limites máximos de emissões de poluentes atmosféricos estabelecidos na Norma Técnica CETESB E15.011/1997 *Continua...*

Empresa	Parâmetro Campanha de autonitoramento de efluentes atmosféricos**	MP	SOx	NOx	HCl	Dioxinas e furanos
		LM*: 50 mg/Nm ³	LM*: 250 mg/Nm ³	LM*: 400 mg/Nm ³	LM*: 70 mg/Nm ³	LM*: 0,14 ng/Nm ³
A	jun/2012	35	1	<L.D.***	4	<L.D.***
	nov/14	46	172	256	0,39	0,90
	mar/15	66	261	508	0,44	-
	jun/15	65	249	533	0,42	-
	out/15	57	244	441	0,43	0,34
	dez/15	41	144	294	0,22	0,31
	mar/16	49	124	230	0,17	0,27
	jun/16	35	93	227	0,21	0,39
B	mar/13	62	22	-	-	-
	nov/13	50	60	200	0,30	0,42
	nov/13	63	269	466	0,42	0,90
	set/14	45	14	145	0,24	0,50
C	mar/10	52	223	54	44	<L.D.***
	nov/13	58	<L.D.***	<L.D.***	<L.D.***	<L.D.***
	mar/15	77	15	<L.D.***	<L.D.***	-
	jun/15	45	14	<L.D.***	6	-
	set/15	39	<L.D.***	31	40	-
	fev/16	32	<L.D.***	31	16	-

Continuação

Empresa	Parâmetro Campanha de automonitoramento de efluentes atmosféricos**	MP	SOx	NOx	HCl	Dioxinas e furanos
		LM*: 50 mg/Nm ³	LM*: 250 mg/Nm ³	LM*: 400 mg/Nm ³	LM*: 50 mg/Nm ³	LM*: 0,14 ng/Nm ³
D	jul/12	40	<L.D.***	128	26	0,29
	mai/13	42	34	<L.D.***	2	0,03
	dez/14	64	17	29	<L.D.***	0,08
	set/15	57	249	248	49	0,22
	out/15	34	3	0,06	<L.D.***	0,14
	jul/16	29	<L.D.***	77	1	0,0029
E	set/07	-	57	5	18	-
	fev/08	-	31	2	19	-
	ago/08	-	42	4	11	-
	set/08	-	59	2	18	-
	out/08	-	29	3	17	-
	nov/08	-	42	4	11	-
	dez/08	-	39	5	13	-
	jan/09	-	42	5	12	-
	fev/09	-	44	5	13	-
	set/09	-	42	4	11	-
F	jun/09	49	46	488	2	<L.D.***
	set/10	46	1	11	55	<L.D.***
	out/11	65	1	12	<L.D.***	0,16
	ago/12	34	84	37	<L.D.***	<L.D.***
	out/12	34	84	37	21	<L.D.***
	out/13	17	125	43	6	<L.D.***
	set/14	32	54	117	0,45	0,04
G	jul/09	70	258	530	35	0,12
	fev/11	50	110	215	0,4	0,45
	mar/13	62	231	337	0,29	0,50

Empresa	Parâmetro	MP	SOx	NOx	HCl	Dioxinas e furanos
	Campanha de automonitoramento de efluentes atmosféricos**	LM*: 50 mg/Nm ³	LM*: 250 mg/Nm ³	LM*: 400 mg/Nm ³	LM*: 70 mg/Nm ³	LM*: 0,14 ng/Nm ³
H	mar/10	47	<L.D.***	2	4	-
	mai/10	27	<L.D.***	4	12	-
	out/10	45	<L.D.***	7	13	-
	dez/10	31	<L.D.***	7	3	-
	abr/11	62	0,1	<L.D.***	6	-
	jul/11	29	0,1	12	6	0,01
	nov/11	69	0,1	8	23	-
	jan/12	25	0,1	23	1	-
	mai/13	44	10	0,19	<L.D.***	0,08
	set/14	30	0,1	007	1	-
	dez/14	52	202	341	<L.D.***	0,69
	mar/16	44	225	519	<L.D.***	0,84

Fonte: elaborado pelo autor

* Limite máximo de emissão do poluente segundo a Norma Técnica CETESB E15.011/1997

** Dados destacados em negrito se referem-se aos que não se enquadram ao exigido pela Norma Técnica CETESB E15.011/1997

*** Abaixo do limite de detecção do método

Na Tabela 21 é possível visualizar um resumo das falhas encontradas nos relatórios de automonitoramento da Tabela 20. Foi assinalada com “x” a empresa que apresentou pelo menos um resultado acima do permitido pela Norma Técnica CETESB E15.011/1997, em alguma campanha de automonitoramento das emissões de poluentes atmosféricos. Assim, pode-se observar que todos os empreendimentos de incineração de resíduos sólidos do estado de Minas Gerais não conseguem atender integralmente à Norma Técnica CETESB E15.011/1997. A empresa E, apesar de não ter apresentado nenhuma falha conforme especificado na Tabela 21, não apresentou os resultados de automonitoramento dos parâmetros MP e dioxinas e furanos. Portanto, esta empresa também não atende aos requisitos estabelecidos na Norma Técnica CETESB E15.011/1997.

O controle das emissões de MP é o principal problema que os empreendimentos de Minas Gerais enfrentariam, caso houvesse uma legislação mineira semelhante à Norma Técnica CETESB E15.011/1997 a respeito da incineração de resíduos sólidos. Em seguida, seria o controle das emissões de dioxinas e furanos e NOx, respectivamente (Tabela 21).

Comparando-se a Resolução CONAMA nº 316/2002 e a Norma Técnica CETESB E15.011/1997, as maiores reduções nos limites máximos de emissão coincidem com os parâmetros nos quais houveram o maior número de falhas. Enquanto a redução do limite máximo de emissão de SOx e HCl é aproximadamente 10%, a redução no limite de MP e NOx é de 30% e do parâmetro dioxinas e furanos é de 70%.

Tabela 21 - Resumo das falhas encontradas nos relatórios de automonitoramento das empresas de incineração de resíduos sólidos de Minas Gerais em relação aos limites máximos de emissões de poluentes atmosféricos estabelecidos na Norma Técnica CETESB E15.011/1997

Parâmetro	Empresa								Total
	A	B	C	D	E	F	G	H	
MP	x	x	x	x		x	x	x	7
SOx	x	x					x		3
NOx	x	x				x	x	x	5
HCl						x			1
Dioxinas e furanos	x	x		x		x	x	x	6

Fonte: elaborado pelo autor

Por sua vez, a Diretiva Europeia 2010/75/EU possui limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos mais restritivos em relação à Resolução CONAMA nº 316/2002 para os parâmetros MP, SOx, CO, HCl, HF e dioxinas e furanos. Na Tabela 22 está apresentada a confrontação do exposto nos relatórios de automonitoramento dos empreendimentos de incineração de Minas Gerais com os limites máximos permitidos para emissão de poluentes atmosféricos definidos pela Diretiva Europeia 2010/75/EU.

A Tabela 22 demonstra a total inadequação dos empreendimentos de incineração de resíduos sólidos em Minas Gerais em relação aos limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos da Diretiva Europeia 2010/75/EU. Mesmo parâmetros, como o HCl e HF, que em relação à legislação brasileira os empreendimentos conseguiam atender aos limites máximos de emissão, na Tabela 20 é possível visualizar diversos dados destacados, os quais não se enquadram ao exigido pela Diretiva Europeia 2010/75/EU. Especificamente em relação ao parâmetro dioxinas e furanos, o limite máximo de emissão da Diretiva Europeia 2010/75/EU é igual ao da Norma Técnica CETESB E15.011/1997, tendo os empreendimentos mineiros, dessa forma, o mesmo desempenho observado na Tabela 20.

Tabela 22 - Comparação dos dados de automonitoramento dos empreendimentos de incineração de resíduos sólidos de Minas Gerais com os limites máximos de emissões de poluentes atmosféricos estabelecidos na Diretiva Europeia 2010/75/EU

Continua...

Empresa	Parâmetro	MP	SOx	CO	HCl	HF	Dioxinas e furanos
	Campanha de automonitoramento de efluentes atmosféricos**	LM*: 14 mg/Nm ³	LM*: 70 mg/Nm ³	LM*: 70 mg/Nm ³	LM*: 14 mg/Nm ³	LM*: 1,4 mg/Nm ³	LM*: 0,14 µg/Nm ³
A	jun/2012	35	1	43	4	<L.D.***	0,90
	nov/14	46	172	86	0,39	0,11	-
	mar/15	66	261	93	0,44	0,27	-
	jun/15	65	249	88	0,42	0,22	0,34
	out/15	57	244	84	0,43	0,21	0,31
	dez/15	41	144	44	0,22	0,12	0,27
	mar/16	49	124	39	0,17	0,13	0,39
	jun/16	35	93	56	0,21	0,12	-
B	mar/13	62	22	-	-	-	0,42
	nov/13	50	60	73	0,30	-	0,90
	nov/13	63	269	81	0,42	0,23	0,50
	set/14	45	14	49	0,24	0,11	<L.D.***
C	mar/10	52	223	96	44	<L.D.***	<L.D.***
	nov/13	58	<L.D.***	24	<L.D.***	<L.D.***	-
	mar/15	77	15	40	<L.D.***	<L.D.***	-
	jun/15	45	14	27	6	<L.D.***	-
	set/15	39	<L.D.***	84	40	<L.D.***	-
	fev/16	32	<L.D.***	<L.D.***	16	<L.D.***	0,29
D	jul/12	40	<L.D.***	-	26	<L.D.***	0,03
	mai/13	42	34	<L.D.***	2	<L.D.***	0,08
	dez/14	64	17	54	<L.D.***	<L.D.***	0,22
	set/15	57	249	41	49	0,11	0,14
	out/15	34	3	36	<L.D.***	<L.D.***	0,0029
	jul/16	29	<L.D.***	-	1	<L.D.***	-

Continuação...

Empresa	Parâmetro	MP	SOx	CO	HCl	HF	Dioxinas e furanos
E	set/07	-	57	48	18	-	-
	fev/08	-	31	12	19	-	-
	ago/08	-	42	26	11	-	-
	set/08	-	59	44	18	-	-
	out/08	-	29	22	17	-	-
	nov/08	-	42	26	11	-	-
	dez/08	-	39	22	13	-	-
	jan/09	-	42	25	12	-	-
	fev/09	-	44	25	13	-	-
	set/09	-	42	26	11	-	<L.D.***
F	jun/09	49	46	62	2	4,04	<L.D.***
	set/10	46	1	38	55	0,04	0,16
	out/11	65	1	26	<L.D.***	0,22	<L.D.***
	ago/12	34	84	27	<L.D.***	0,21	<L.D.***
	out/12	34	84	27	21	0,21	<L.D.***
	out/13	17	125	72	6	0,20	0,04
	set/14	32	54	5	0,45	0,28	0,12
G	jul/09	70	258	10	35	0,79	0,45
	fev/11	50	110	60	0,4	-	0,50
	mar/13	62	231	74	0,29	0,16	-
H	mar/10	47	<L.D.***	-	4	<L.D.***	-
	mai/10	27	<L.D.***	-	12	<L.D.***	-
	out/10	45	<L.D.***	-	13	3,89	-
	dez/10	31	<L.D.***	-	3	2,25	-
	abr/11	62	0,1	-	6	<L.D.***	0,01
	jul/11	29	0,1	-	6	<L.D.***	-
	nov/11	69	0,1	-	23	0,50	-
	jan/12	25	0,1	-	1	0,50	0,08
	mai/13	44	10	96	<L.D.***	0,12	-
	set/14	30	0,1	-	1	0,50	0,69
	dez/14	52	202	86	<L.D.***	0,14	0,84
	mar/16	44	225	93	<L.D.***	0,21	0,90

Fonte: elaborado pelo autor

* Limite máximo de emissão do poluente segundo a Diretiva Europeia 2010/75/EU

** Dados destacados em negrito se referem aos que não se enquadram ao exigido pela Diretiva Europeia 2010/75/EU

*** Abaixo do limite de detecção do método

Na Tabela 23 é possível visualizar um resumo das falhas encontradas nos relatórios automonitoramento das empresas de incineração de resíduos sólidos relacionadas ao atendimento aos padrões determinados pela Diretiva Europeia 2010/75/EU. Foi assinalado com um “x” na empresa que apresentou pelo menos um resultado acima do limite permitido pela Diretiva Europeia 2010/75/EU em alguma campanha de automonitoramento de emissões de poluentes atmosféricos. As principais falhas, observadas a partir da Tabela 23, são o atendimento aos limites máximos de emissão de MP, SO_x, CO e HCl, respectivamente. Porém, nenhum empreendimento foi capaz de atender integralmente ao exigido pela Diretiva Europeia 2010/75/EU.

É importante destacar que os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos definidos pela Diretiva Europeia 2010/75/EU são muito mais restritivos do que os da Resolução CONAMA nº 316/2002. Porém, de forma diversa ao comportamento observado na comparação com a Norma Técnica CETESB E15.011/1997, as maiores diferenças não coincidem com os parâmetros onde foram identificados maior número de falhas. O limite máximo de emissão de MP e HCl na Diretiva Europeia 2010/75/EU é aproximadamente 80% menor do que na Resolução CONAMA nº 316/2002; o de SO_x e HF aproximadamente 70%; o de CO é cerca de 30%. Assim, apesar de existir uma grande redução, pelo menos para o parâmetro HF, os controles ambientais dos empreendimentos de incineração de Minas Gerais seriam, em sua maioria, capazes de atender ao exigido pela Diretiva Europeia 2010/75/EU, considerando os empreendimentos que, de fato, enviaram resultados desse parâmetro

Isto posto, pode-se inferir que há um forte indício de que os empreendimentos que realizam a incineração de resíduos perigosos em Minas Gerais não estão operando de acordo com o que é considerado seguro pela União Europeia. Analisando a possibilidade de que seja elaborada uma legislação estadual específica para a incineração no estado de Minas Gerais nos moldes da Diretiva Europeia 2010/75/EU, provavelmente todo o setor teria que ser readequado para atendimento dessa nova lei.

Block *et al* (2014) destacou que uma típica planta europeia de incineração de resíduos perigosos tem como ECPs:

- Um filtro eletrostático para remoção de MP
- Uma instalação de quatro etapas para remoção de HCl, Cl₂, HF, SO₂ e metais (torre *Quench*, torre *scrubber* ácida, torre *scrubber* básica dupla)
- Um “filtro de dioxinas” composto por 6 células cilíndricas de adsorção conectadas em paralelo e preenchidas por carvão ativado (principal equipamento responsável por manter as emissões de dioxinas e furanos bem abaixo do limite estabelecido pela legislação ambiental vigente).

Em comparação com o exposto na Tabela 8, observa-se que os ECPs adotados pelos empreendimentos de Minas Gerais são muito mais simples do que o descrito por Block *et al* (2014). Essa deficiência dos ECPs pode ser um dos principais motivos para as emissões das incineradoras mineiras não conseguirem respeitar os limites máximos definidos pela União Europeia.

Tabela 23 - Resumo das falhas encontradas nos relatórios de automonitoramento das empresas de incineração de resíduos sólidos de Minas Gerais em relação aos limites máximos de emissões de poluentes atmosféricos estabelecidos na Diretiva Europeia 2010/75/EU

Parâmetro	Empresa								Total
	A	B	C	D	E	F	G	H	
MP	x	x	x	x	x	x	x	x	8
SOx	x	x	x	x		x	x		6
CO	x	x	x	x		x	x		6
HCl			x	x	x	x	x		5
HF		x			x	x		x	3
Dioxinas e furanos	x	x				x	x		4

Fonte: elaborado pelo autor

Assim, seja utilizando como base de comparação uma das entidades políticas mais industrializadas e economicamente desenvolvidas do mundo - a Europa, seja utilizando a norma de um Estado fronteiriço a Minas Gerais - São Paulo, é notável tanto a significância da diferença nos valores dos limites

máximos de emissão de poluentes atmosféricos dessas legislações/normas em relação à Resolução CONAMA nº 316/2002, quanto a inadequação dos empreendimentos mineiros em relação a qualquer que seja a norma/legislação analisada. Esse fato é um indício que todo o setor de incineração de resíduos sólidos de Minas Gerais necessita ser readequado para garantir a saúde e a segurança da população e do meio ambiente.

6 CONCLUSÕES

Os empreendimentos que realizam incineração de resíduos sólidos em Minas Gerais analisados no presente trabalho apresentam dificuldades em cumprir o definido pela Resolução CONAMA nº316/2002. Essas dificuldades são tanto em relação ao cumprimento da frequência de envio dos relatórios de automonitoramento ao órgão ambiental quanto em relação ao atendimento aos padrões de emissão de poluentes atmosféricos.

No Brasil, apenas a Norma Técnica CETESB E15.011/1997 (CETESB, 1997), do estado de São Paulo, apresenta limites de emissão de poluentes atmosféricos mais restritivos que os estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 316/2002. Todos os empreendimentos de incineração de Minas Gerais analisados neste trabalho não foram capazes de atender aos limites máximos de emissão de MP, SO_x, NO_x, HCl e dioxinas e furanos estabelecidos pela em relação ao atendimento aos padrões de emissão de poluentes atmosféricos.

Em relação ao definido na Diretiva Europeia 201/75/EU, o setor de incineração de resíduos sólidos de Minas Gerais provavelmente teria que passar por uma profunda readequação para atender aos limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos estabelecidos por essa legislação.

Dentro da perspectiva da elaboração de uma legislação estadual mais restritiva que a nacional, o fato da maioria dos empreendimentos de Minas Gerais não atender aos limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos estabelecidos na legislação nacional pode indicar que, antes da exigência de limites ambientais mais restritivos, o Estado necessita primeiramente garantir que as empresas em seu território atendam aos critérios da Resolução CONAMA nº 316/2002.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR nº 10.004** - Resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

— **NBR N°11.175** - Incineração de resíduos sólidos: padrões de desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 1990.

ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA - **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo: ABRELPE, 2014.

ANVISA. AGENCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Manual de gerenciamento de resíduos de serviço de saúde**. Brasília: Ministério da Saúde, 2006.

— Resolução RDC/ANVISA nº 306, de 7 de dez. de 2004. Dispõe sobre o Regulamento Técnico para o gerenciamento de resíduos de serviços de saúde. Brasília: **Diário Oficial da União**, 2004.

— **Missão, Visão e Valores**. Disponível em <<http://portal.anvisa.gov.br/wps/content/Anvisa+Portal/Anvisa/Ouvidoria/Publicacao+Ouvidoria/Missao+Visao+e+Valores>>. Acesso em: 05 de outubro de 2016

ARAÚJO, P. A. **Gerenciamento dos resíduos de serviços de saúde da Unidade de Terapia Intensiva do Pronto Socorro do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Botucatu**. 2011. 1 CD-ROM. Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Enfermagem) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Medicina de Botucatu, 2011. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/118097>>. Acesso em 05 outubro de 2016.

BARROS, R. M. **Tratado sobre resíduos sólidos: gestão, uso e sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Interciência; Minas Gerais: Acta, 2012.

BARROS, R. T. V. **Elementos de gestão de resíduos sólidos**. Belo Horizonte: Tessitura, 2012. 424p.

BLOCK, J. *et al. Incineration of Hazardous Waste: A Sustainable Process? Waste Biomass Valor*, Dordrecht: p. 137–145, dez. 2014.

BOTURA, C. A. **Desenvolvimento de um sistema de incineração de resíduos sólidos para. Guaratinguetá.** 2004.196f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2005.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição [da] República Federativa do Brasil.** Brasília: Senado Federal, 1988, 292 p.

—. Lei Federal nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional dos Resíduos Sólidos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil,** Poder Executivo, Brasília, DF, 03 ago. 2010.

—. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 316, de 29 de outubro de 2002. Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil,** Brasília, DF, 20 set. 2002.

—. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 237, de 19 de dezembro de 1997. Regulamenta os aspectos de licenciamento ambiental estabelecidos na Política Nacional do Meio Ambiente. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil,** Brasília, DF, 20 dez. 1997.

BRITO, A. P. **Análise econômica preliminar da implantação de incinerador de resíduos sólidos urbanos na região de Bauru.** 2013. 85f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2013.

BRUNNER, C.R. **Hazardous Waste Incineration.** Singapura: McGrawHill, 2ª edição, 1993.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Nota Técnica E15.011, de fevereiro de 1997. **Sistema para incineração de resíduos de serviços de saúde.** São Paulo: 1997.

COSTA, F. C. **Perspectivas da incineração de resíduos de serviços de saúde com uso de atmosferas ricas em oxigênio.** 2007. 144f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos). São Caetano do Sul: Instituto Mauá de Tecnologia, 2007.

COUTINHO, M. et al. **Níveis ambientais e biológicos de dioxinas e furanos em Portugal.** Porto: s.n., 2003.

CUSSIOL, N.A.M. **Disposição final de resíduos potencialmente infectantes de serviço de saúde em célula especial e por co-disposição com resíduos sólidos urbanos**. Belo Horizonte: UFMG, 2005.

DIAS, L. M. A. *et al.* Incineração de resíduos de serviços de saúde - lixo hospitalar: uma oportunidade de receita para o Hospital Escola de Itajubá. In: SEGET – SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, 2009, Resende. **Anais...** Disponível em: < http://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos09/274_274_Artigo_Seget.pdf>. Acesso em 07 de novembro de 2016.

DIP, T. M. 2004. **Otimização de condições operacionais de processo visando à minimização a emissão de material particulado na incineração industrial de resíduos perigosos**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

FEAM - FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Estado da arte do tratamento térmico de resíduos sólidos urbanos com geração de energia elétrica**. Belo Horizonte: FEAM, 2010. 294 p.

— **Plano de melhorias das técnicas de operação das unidades de tratamento térmico e disposição final de resíduos de serviços de saúde instalados no Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG, 2012.

FERNANDES, P. S.; ALVARES JUNIOR, O. M.; LACAVA, C. I. V. In: **Emissões Atmosféricas: tecnologias e gestão ambiental**. Brasília: SENAI, 2002, Cap III. p. 181-285.

GOULDSON, A.; CARPENTER, A.; AFIONIS, S. *Environmental leadership? Comparing regulatory outcomes and industrial performance in the United States and the European Union*. **Journal of Cleaner Production**, v. 100, p. 278-285, ago. 2015.

GUILHERME, A. H. L. **Estudos das reações durante a incineração de resíduos químicos – aspectos cinético e termodinâmico**. Dissertação (Pós Graduação em Química). Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2000.

GUIMARÃES, M. L. **Controle e gestão ambiental**. Belém: IFPA; Santa Maria: UFSM, 2012. 88p.

GÜNTHER, W.M.R. **Aspectos Sanitários e Ambientais Apresentados pelos Resíduos de Serviços de Saúde**. São Paulo: Associação Brasileira de Limpeza Pública, 1998.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA.
Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. Rio de Janeiro: IBGE, 2002.

LISBOA, H. M.; KAWANO, M. Monitoramento de poluentes atmosféricos. In:
Controle da poluição atmosférica. 1ª Ed., Montreal, 2007. Cap. IV. p. 02-70.

MANAHAN, S. E. **Environmental Chemistry**: 9. ed. CRC Press, 2010.

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa COPAM n.º 74, de 09 de setembro de 2004. Estabelece critérios para classificação, segundo o porte e potencial poluidor, de empreendimentos e atividades modificadoras do meio ambiente passíveis de autorização ou de licenciamento ambiental no nível estadual.
Minas Gerais, Belo Horizonte, 02 out. 2004.

— Lei estadual N° 18.031, de 12 de janeiro de 2009. Dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos. **Minas Gerais**, Belo Horizonte, 13 jan. 2009.

MOL, M. P. G. **A incineração de resíduos de serviços de saúde do município de Belo Horizonte/MG e a responsabilidade compartilhada**. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.

MORGADO, T.; FERREIRA, O.M. **Incineração de Resíduos Sólidos Urbanos, aproveitamento na co-geração de energia**: estudo para a região metropolitana de Goiânia. Goiânia: Universidade Católica de Goiás, 2006.

OMS – ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. *Air quality guidelines global update - Report on a Working Group meeting*. Bonn: **WHO**, 2005.

PACHECHO, E. V. *et al.* Tratamento de resíduos gerados em laboratórios de polímeros: um caso bem sucedido de parceria universidade-empresa.
Polímeros: Ciência e Tecnologia, Rio de Janeiro, vol. 13, n. 1, p. 14-21, 2003.

PARANÁ. Resolução SEMA nº 043 de 16 de julho de 2008. Dispõe sobre o licenciamento ambiental de empreendimentos de incineração de resíduos sólidos. **Paraná**, Curitiba, 12 jul. 2008.

RIO GRANDE DO SUL. Resolução CONSEMA N° 009, de 25 de outubro de 2000. Dispõe de norma para o licenciamento ambiental de sistemas de incineração de resíduos provenientes de serviços de saúde, classificados como infectantes (Grupo A) e dá outras providências. **Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, 25 out. 2000.

SCHALCH, V. *et al.* **Gestão e Gerenciamento de Resíduos Sólidos**. São Carlos: Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Hidráulica e Saneamento, 2002.

UNIÃO EUROPEIA. Diretiva 2010/75/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de novembro de 2010. Relativa às emissões industriais. **Jornal Oficial da União Europeia**, 17 dez. 2010. Disponível em < <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:334:0017:0119:pt:PDF> >. Acesso em: 07 novembro 2015