
PROPOSTA DE MONITORAMENTO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS PARA CONTROLE INTERNO NA INCINERAÇÃO DE RESÍDUOS CONTAMINADOS POR AGROTÓXICOS.

EUCLIDES A. P. LIMA¹, PABLO G. SILVA^{1,2}
(um espaço)

¹Uniube (Universidade de Uberaba), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química
Mestrado Profissional em Engenharia Química

² Neotech Soluções Ambientais LTDA

RESUMO – As mudanças climáticas vem sendo uma preocupação de escala mundial, e para os processos agroindustriais que causam emissões atmosféricas não é diferente. Com a crescente demanda por abastecimento de alimentos e aumento da área de cultivo, a agroindústria aumenta sua produção, o que acarreta elevada geração de resíduos. Dentre eles, os resíduos de agrotóxicos, que apresentam alta periculosidade devido a suas características de toxicidade principalmente, precisam passar por um processo de tratamento ambientalmente seguro. Desta forma, a incineração destes resíduos perigosos se faz necessária. A incineração deve ser operada de forma segura e técnica, principalmente porque é um potencial emissor de gases e poluentes atmosféricos. Assim, este trabalho apresenta uma proposta para monitorar as emissões geradas em queima de blends de resíduos contaminados com agrotóxicos, utilizando equipamento de medição de gases de combustão portátil, com o objetivo de realizar um controle interno e otimizar o tratamento térmico por meio de ensaios das emissões dos blends preparados.

INTRODUÇÃO

Uma das maiores problemáticas enfrentadas pela humanidade está na destinação correta de resíduos perigosos, principalmente frente ao aumento considerável na geração destes resíduos. O aumento da geração de resíduos está associado intimamente ao aumento da produção e consumo de bens. (Missiagia, 2002).

Com a demanda por produtos agrícolas e para o abastecimento da crescente população mundial, a geração de resíduos do setor da agroindústria também apresenta elevados índices. (Oliveira, 2010).

Um dos resíduos de maior problemática gerados na agroindústria é os relacionados aos agrotóxicos, também definidos como defensivos agrícolas. (Barros, 2012).

A característica ambiental significativa da geração de resíduos de agrotóxicos está relacionada à sua periculosidade,

principalmente associada à sua toxicidade. (Baird, 2011).

Uma das formas mais seguras, para tratamento de resíduos contaminados por agrotóxicos é a incineração, que consiste na técnica de destruir os resíduos com uso de temperatura, resultando em cinzas e emissões atmosféricas.

Para a incineração, este é um dos grandes problemas associados, pois o processo de combustão por ela empregado gera contaminantes atmosféricos que, se não forem monitorados e controlados, podem contribuir com a poluição atmosférica. (Carvalho Júnior, 2003).

Desta forma, o objetivo deste trabalho é propor o monitoramento de emissões atmosféricas de blends formados por resíduos de agrotóxicos, com o intuito de manter os limites atmosféricos dentro dos padrões estabelecidos em legislações ambientais e proporcionar ao processo a segurança no

preparo de blends destes resíduos, garantindo a eficiência do sistema.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Resíduos sólidos e sua classificação

Embora usada de forma errônea no cotidiano, o termo lixo precisa de uma definição mais técnica que possa exprimir suas reais características.

Para Barros (2012), o lixo que é a definição para as sobras indesejadas não é a melhor forma de definir estes compostos. A melhor definição para as sobras de processos e atividades, quer seja de procedência doméstica, industrial, agrícola entre outras, é o termo resíduo.

O termo resíduo sólido permite a possibilidade de reutilização, reaproveitamento ou mesmo a reciclagem, de forma que os termos sobras, rejeitos e lixo não o permitem. (Baird, 2011).

No Brasil a norma ABNT NBR 10004/2004, classifica os resíduos de acordo com suas características. São classificados em:

Resíduo perigoso Classe I: Resíduos que apresentam características de toxicidade, inflamabilidade, reatividade, corrosividade e patogenicidade.

Resíduo não perigoso Classe II: resíduos que não são perigosos, podendo ser inertes ou possui características como combustibilidade, biodegradabilidade e solubilidade em água.

Resíduos Industriais

Os resíduos podem ainda ser definidos de acordo com sua origem, sendo urbanos, agrossilvopastoril, de atenção à saúde e industriais. (Barros, 2012).

Os resíduos industriais se diferem dos demais principalmente na sua composição. Estes resíduos têm como característica a composição diversificada, porém intimamente relacionada às atividades desenvolvidas pela indústria de origem e seus respectivos processos produtivos. (Baird, 2011).

Resíduos de agrotóxicos

Os resíduos de agrotóxicos, podem ser tanto considerados como industrial, quando relacionado ao processo de fabricação deste insumo agrícola, quando resíduo

agrossilvopastoril, quanto utilizado no campo pelo agricultor.

Para entender o uso e a demanda de agrotóxicos no Brasil, o Sindiveg (2022) cita que o consumo é amplo, tendo a China como o maior fabricante destes insumos, denominados ativos do produto formulado.

De acordo com o Sindiveg (2022), em 2021 o Brasil tratou cerca de 1,8 bilhão de hectares com agrotóxicos. Figueiredo, explica que a área tratada é o somatório da área em hectares multiplicada pela quantidade de aplicações pelo número de produtos formulados em cada aplicação. (Figueiredo, 2022).

De acordo com Sousa (2015) em um estudo realizado na central de recebimento de resíduos de agrotóxicos na cidade de Mossoró – RN, a composição é bastante diversificada, porém apresentando predominância em embalagens de PEAD (Polietileno de Alta Densidade) e papelão, nas faixas de 40% e 28% respectivamente.

Entre os principais problemas associados ao uso extensivo dos agrotóxicos, estão a geração de resíduos tóxicos e os efeitos de bioconcentração e de biomagnificação, estes últimos associados à aplicação agrícola, sendo requerido assim um tratamento seguro e adequado a estes resíduos (Baird, 2011).

Incineração de Resíduos

Um dos pontos importantes relacionados aos resíduos é o seu tratamento ou disposição, sendo um tópico fundamental no ciclo de vida de cada produto fabricado.

No estado de Minas Gerais, a lei estadual 18.831 de 12 de janeiro de 2009, define a destinação final de resíduos como a submissão destes a um processo adequado a sua natureza e característica, estando conforme com a saúde pública e a proteção ao meio ambiente. Podem ser utilizados para este fim:

- A reutilização;
- O reaproveitamento;
- A reciclagem;
- A compostagem;
- O reaproveitamento energético;
- Tratamento térmico;
- A disposição final.

Para os resíduos de agrotóxicos, Baird (2011) cita que a incineração, é uma das técnicas mais seguras para a destinação destes resíduos, sendo necessária uma operação técnica e com controles rigorosos, podendo ser utilizado o reaproveitamento energético ou não.

Barros (2012) cita que a incineração é uma forma de tratamento térmico de resíduos, com uso de combustão controlada na presença de oxigênio visando a redução do volume, e eliminação de ameaças tóxicas do resíduo.

Dentre os produtos da incineração estão as cinzas e as emissões atmosféricas, sendo necessário possuir equipamentos de controle de poluição e práticas operacionais seguras dos equipamentos incineradores (Guilherme, 2000).

Cardozo (2021) afirma que embora a incineração tenha como objetivo principal a redução da periculosidade de um resíduo e o seu volume, ainda é uma tecnologia que gera questionamentos devido às suas emissões perigosas.

Emissões oriundas da combustão de resíduos

Conforme citado, a incineração é uma técnica que utiliza a combustão controlada dos resíduos, tendo como produtos indesejados as emissões atmosféricas.

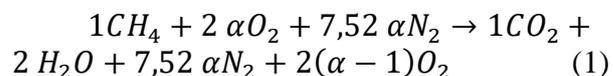
Carvalho Júnior (2003), afirma que as emissões atmosféricas são o principal problema associado as reações de combustão, citando ainda que as emissões são intimamente relacionadas à composição do combustível queimado, por meio das reações de formação destes gases.

Felder (2014) cita que entre as principais reações de formação de gases em processos de combustão, estão a conversão de carbono em dióxido de carbono CO_2 , o hidrogênio em água H_2O e o enxofre forma dióxido de enxofre SO_2 . Mesmo o nitrogênio do ar pode formar óxido nítrico NO , quando a combustão ocorre acima de $1800^\circ C$.

Felder (2014) complementa ainda que a combustão pode ser parcial quando parte do carbono forma monóxido de carbono CO e incompleta quando forma C .

Conforme citado por Carvalho Júnior (2003), uma reação típica de combustão,

conforme visualizada na Equação 1, vai requerer um combustível, uma quantidade de oxigênio, que devido ao seu custo, pode ser obtido do ar atmosférico, gerando as emissões como produtos da combustão, denominados gases de combustão. Em incineradores, este gás é denominado gás exausto.



Incinerador de câmara fixa

Atualmente existem diversos tipos e modelos de incineradores, cada um projetado para um tipo específico de resíduo, com suas características intimamente relacionadas aos resíduos tratados. Os mais comuns modelos de incineradores são:

- Incinerador de câmara fixa;
- Incinerador de tambor rotativo;
- Incinerador de leito fluidizado;
- Incinerador por injeção líquida;

O incinerador de câmara fixa é o processo mais básico do sistema de incineração, comumente apresentado em duas ou mais câmaras separadas e interligadas. A combustão dos resíduos sólidos ocorre na câmara primária, com retenção das cinzas dentro dela. (Dempsey 1999).

Os gases de combustão são queimados em câmaras adjacentes denominadas *after burn*, ou câmaras secundárias. As temperaturas de operação em fornos de câmara fixa ocorrem entre $800^\circ C$ e $1000^\circ C$ para câmaras primárias e entre $1000^\circ C$ e $1100^\circ C$ para câmaras secundárias. A Figura 1 apresenta um modelo de incinerador de câmara fixa. (Guilherme, 2000).

Vantagens: Cinzas altamente queimadas, devido ao alto tempo de residência dos resíduos. (Dempsey, 1999).

Desvantagens: Dificuldade de controle de incineração de resíduos químicos, emissões fugitivas, dificuldade de controle das temperaturas das câmaras de combustão. (Reynolds 1991).

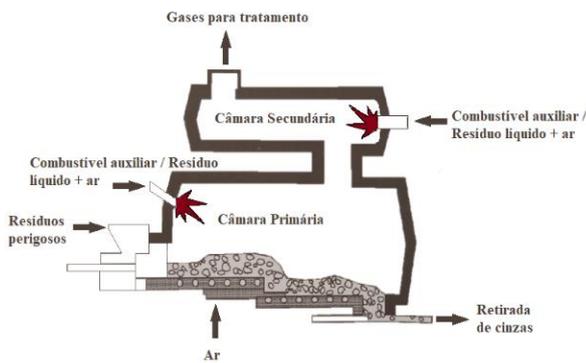


Figura 1: Forno incinerador câmara fixa. Adaptado de Barros (2012).

Licenciamento de incineradores e a definição de PCOP

Devido à sua característica de emissões e reconhecidamente uma tecnologia que pode causar danos ambientais, a operação de incineradores requer o licenciamento ambiental. No estado de Minas Gerais é utilizado a deliberação normativa do COPAM n° 217/2017.

Além desta deliberação é requerido que os incineradores mantenham os padrões de desempenho determinado na norma técnica da ABNT, NBR 11175/1990, assim como na resolução do CONAMA 316 de 2004.

Conforme determinado por estas normas e deliberações o incinerador só poderá entrar em operação, após realizado um teste denominado, teste de queima. (Brasil, 2004).

O teste de queima tem como objetivo operar o incinerador, em regime previamente determinado, mensurando a vazão de alimentação, as emissões geradas, o balanço de energia e de massa do sistema, além de testar e aprovar os intertravamentos do sistema, em caso de falhas ou erros. (Brasil, 2004).

Um dos pontos principais do teste de queima é a seleção do PCOP (Principal Composto Orgânico Perigoso) e a comprovação da destruição deste composto, por meio do índice EDR (Eficiência de destruição e remoção), conforme determinado na ANBT NBR 11.175 de 1990.

A seleção do PCOP deverá ser feita analisando os resíduos e estando presente nos anexos da ABNT NBR10.004 de 2004.

Para cálculo da EDR, deve-se utilizar a equação 2, conforme determinado na ABNT NBR 11.175 de 1990.

$$EDR = \frac{C_{PCOP\text{entrada}} - C_{PCOP\text{saída}}}{C_{PCOP\text{entrada}}} * 100 \quad (2)$$

Poluição do ar e emissões atmosféricas

Entre os principais impactos citados para a incineração de resíduos está a poluição do ar.

De acordo com Galdino (2015) e Braga et al (2005) a poluição, pode ser definida como uma alteração física, química ou biológica da atmosfera, hidrosfera ou litosfera que possa causar danos ou prejuízos à saúde, sobrevivência ou atividades das espécies incluindo o ser humano.

Galdino (2015) afirma que qualquer meio, agente ou substância que possa provocar uma forma de poluição, seja do ar, da água ou do solo, quer seja ela de forma direta ou indireta deverá ser considerada um poluente.

Para Derisio (2012) os principais problemas relacionados à poluição está o dano à saúde. Para a poluição do ar, está associado o surgimento de doenças agudas e crônicas, além de alterações em funções fisiológicas, encurtamento da vida, e até mesmo a morte.

Desta forma, Calijuri et al (2013) cita que é fundamental, realizar o controle da poluição do ar, ou poluição atmosférica.

Braga et al (2005) afirma que a poluição do ar pode ser caracterizada como a presença de poluentes atmosféricos, que possam causar impactos negativos, citando que entre os principais poluentes estão o dióxido de enxofre (SO₂), dióxido de nitrogênio (NO₂), monóxido de carbono (CO) entre outros.

Braga et al (2005) e Carvalho Júnior (2003) citam que a grande maioria dos poluentes do ar são gerados por fontes de combustão, seja ela veicular ou de fonte fixa, como chaminés de indústrias e fábricas.

Além dos parâmetros da qualidade do ar, é importante definir os parâmetros para emissão de poluentes atmosféricos. Para o estado de Minas Gerais, os parâmetros são fixados na Deliberação Normativa do COPAM n° 187 de 20 de setembro de 2013.

Os processos de incineração possuem seus padrões de emissões elencados, na resolução do CONAMA n° 316/2004, conforme Tabela 1.

Tabela 1. Limites de emissões conforme CONAMA 316/04

Parâmetro CONAMA 316/04	Limite de emissão atmosférica
MP	70 mg/Nm ³
Metal Classe 1 (Cd, Hg, Tl)	0,28 mg/Nm ³
Metal Classe 2 (As, Co, Ni, Te, Se)	1,4 mg/Nm ³
Metal Classe 3 (Sb, Pb, Cr, CN, Cu, Sn, F, Mn, Pt, Pd, Rh, V)	7 mg/Nm ³
NOx	560 mg/Nm ³
SOx	280 mg/Nm ³
HCl	80 mg/Nm ³
HF	5 mg/Nm ³

Para Guilherme (2000), operar sistemas incineradores requer atenção, tanto para as reações de combustão, quanto para os equipamentos de controle de poluição denominados lavadores de gases.

Braga et al (2005) e Calijuri et al (2013) citam que os equipamentos para controle de poluição do ar, devem ser projetados e operados para cada tipo de poluente emitido.

Guilherme (2000) cita que entre os principais controle de emissões atmosféricas em sistemas de incineração estão os lavadores para gases ácidos como os filtros venturi, e colunas de absorção, e equipamentos para remover material particulado como ciclones, venturi e separadores eletrostáticos.

METODOLOGIA

A metodologia empregada consistiu em 3 etapas. A etapa 1 é a seleção de um blend padrão para queima de resíduos perigosos contaminados com agrotóxicos contendo uma quantidade conhecida do PCOP selecionado (Metomil).

Na etapa 2 realiza-se a queima do material no forno incinerador e por fim, na etapa 3 realiza-se a medição das emissões na chaminé.

Seleção do Blend:

O blend selecionado é composto em 95,81% de material de papelão (caixaria) e 4,19% de contaminação (Metomil + Etanol),

ativo do agrotóxico. Dos 4,19%, 21% é o PCOP (Metomil) e 79% etanol.

Queima do resíduo de agrotóxico:

Após esta seleção do blend, foi realizada a queima deste material no forno incinerador nas condições de queima com 7% de ar em excesso, temperatura da câmara primária acima de 800°C e 1000°C para câmara secundária, na vazão de 970 kg/h.

Monitoramento com equipamento medidor de gases portátil:

Para a medição dos gases de combustão, foi utilizado o analisador portátil de gases de combustão ECIL Chemist 606 HC, apresentado na Figura 2.



Figura 2: Analisador de gases de combustão ECIL Chemist 606 HC. Acervo do autor, 2023.

O aparelho ECIL Chemist, foi configurado para realizar a leitura para gases de combustão, com leituras de O₂ em percentual, CO₂ em percentual, CO em ppm, NOx em ppm, SO₂ em ppm.

A amostragem foi realizada no ponto de coleta da chaminé onde é realizada a amostragem isocinética das emissões, conforme demonstrado na figura 3.

As medições seguiram a metodologia pré-configurada do aparelho no modo UNI 10389, onde são realizadas 5 amostragens no intervalo de 60 segundos cada.



Figura 3: Coleta de amostra com equipamento ECIL Chemist 606. Acervo do autor, 2023.

Caracterização do equipamento incinerador

Este estudo foi realizado em um equipamento incinerador do tipo câmara fixa, com capacidade de tratamento de 970 kg/h, de resíduos perigosos, instalado e licenciado no distrito industrial III, da cidade de Uberaba - MG.

O equipamento opera com temperatura de câmara primária acima de 800°C e temperatura de câmara secundária acima de 1000°C, com sistema de insuflação de ar de combustão para melhoria da queima e garantia do ar em excesso.

Os resíduos processados neste equipamento são predominantemente resíduos de agrotóxicos, que conforme balanço interno do empreendimento, representa 97% dos resíduos tratados, conforme Figura 4:



Figura 4: Percentual de resíduos tratados. Acervo do autor, 2023.

Caracterização do lavador de gases e do ponto de amostragem

O gás de combustão denominado gás exausto, é removido da câmara secundária, e então é destinado para o sistema lavador de gases.

O sistema é composto por lavador do tipo misto, contendo sistema de resfriamento rápido, para inibição da formação de dioxinas e furanos. O sistema possui ainda um lavador do tipo coluna de nebulização e lavador do tipo venturi para remoção de gases ácidos.

O tratamento é finalizado por ciclones para remoção de material particulado.

A amostragem dos gases é realizada na chaminé de saída, em duto localizado a 1500 mm da última singularidade. A chaminé com 410 mm de diâmetro, onde possui duas aberturas para a realização das amostragens, conforme Figura 3.

RESULTADOS E DISCUÇÕES

Queima do blend:

Foi preparado o blend contendo 970 quilogramas de resíduo contaminado por agrotóxico, na proporção de 4,19% de agrotóxico formulado e 95,81% material base, papelão e bombona de PEAD.

Realizando-se a multiplicação do percentual pelo peso de resíduos, obteve-se:

- 929,36 Kg de material base (caixa e bombona).
- 40,64 Kg de agrotóxico formulado.

Do agrotóxico formulado, 21% é Metomil (ativo) e 79% etanol. Desta forma, pode-se determinar que dos 40,64 Kg:

- 32,11 Kg Etanol.
- 8,53 Kg é Metomil.

Fazendo uma análise da composição química do blend formado temos:

- Caixa de papelão (celulose) – $(C_6H_{10}O_5)_n$;
- Bombona plástica (PEAD) – $(CH_2 - CH_2)_n$;
- Etanol – (C_2H_6O) ;
- Metomil – $(C_5H_{10}N_2O_2S)$.

Fazendo uma análise elementar, é possível prever a presença de carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio e enxofre. Desta forma, foi possível prever que as emissões oriundas do gás de combustão deste blend possuem formações de CO_2 , CO, NO_x e SO_x . Portanto, foi possível monitorar esta emissão e testar o blend requerido com o equipamento ECIL Chemist 606.

Medição das emissões:

Para a leitura das emissões, foi aberto o ponto de amostragem isocinética da chaminé, sendo realizada uma limpeza prévia, para evitar acúmulo de particulados, conforme observado na Figura 5. Foi aguardado o período de 2 horas para secagem do ponto de coleta.



Figura 5: Limpeza do local de coleta. Acervo do autor, 2023.

Após o período, foi introduzida a sonda do medidor de gases ECIL Chemist, sendo aguardados 5 minutos para a estabilização da amostragem.

Após este período, foi realizada a amostragem, realizando assim 5 coletas com intervalos de 60 segundos cada uma. A Figura 6 demonstra esta coleta.



Figura 6: Coleta de gases na chaminé. Acervo do autor, 2023.

Após as medições foi extraída a média das 5 amostragens da memória interna do equipamento.

Foi repetido este processo mais duas vezes. A Figura 7 apresenta os resultados medidos nas três coletas e a média dos resultados.

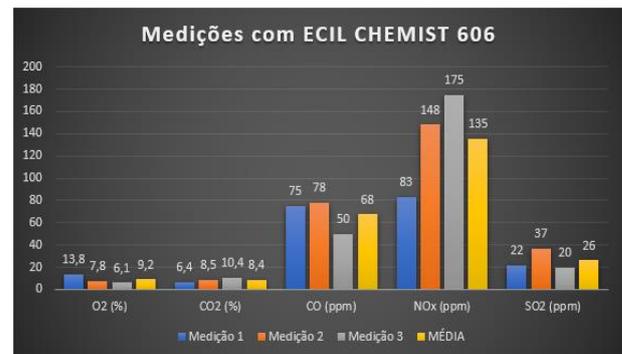


Figura 7: Resultado das medições com o ECIL Chemist 606. Acervo do autor, 2023.

Ajuste das concentrações nas bases

As concentrações medidas estão em ppm, diferente do padrão previsto na CONAMA 316 conforme observado na Tabela 1.

Desta forma, foi necessário converter a concentração de NO_x , SO_x e CO que estão em PPM para mg/Nm^3 e ppm/Nm^3 . Para isso foi utilizada a seguinte analogia:

A média das emissões de NO_x deu o resultado de 135 ppm do composto, ou seja, 135 mols de NO_x em 10⁶ mol de gás. Para fins deste estudo foi feita a consideração que o NO_x seja definido como NO₂, conforme preconiza a CONAMA 316/02.

Assim, realizando uma conversão básica de 135 mols para ppm, utilizando o peso molecular do NO₂ como 46 g/mol, tem-se a Equação 3.

$$135 \text{ mol NO}_2 * \frac{46 \text{ g}}{\text{mol}} * 1000 \frac{\text{mg}}{\text{lg}} \quad (3)$$

Para o gás, foi utilizada a equação de estado PV:nRT. Como o objetivo é as condições normais de temperatura e pressão, a pressão é considerada 101.300 Pa e a temperatura de 273 K. O número de mols portanto é 10⁶. Assim, é possível calcular o volume com a Equação 4.

$$= \frac{nRT}{P} \rightarrow V = 10^6 * 8,314 * \frac{273}{101.300} \quad (4)$$

Como a unidade pretendida é a concentração do composto pelo volume normal de gás (mg/Nm³). Utilizando as Equações 3 e 4, é possível determinar a Equação 5.

$$C \left(\frac{\text{mg}}{\text{Nm}^3} \right) = \frac{135 * 46 * 1000}{10^6 * 8,314 * \frac{273}{101.300}} = 277,16 \frac{\text{mg}}{\text{Nm}^3} \quad (5)$$

De forma análoga, foi realizado o cálculo para o SO_x, obtendo 74,28 mg/Nm³. Também realizado para o CO, obtendo 68 ppm/Nm³.

Os resultados obtidos precisam ser corrigidos na base de oxigênio de referência, conforme determina a ABNT NBR 11.175/1990, corrigindo os valores das emissões para 7% de oxigênio, usando assim a Equação 6.

$$Ec = \frac{14}{21-OM} * EM \quad (6)$$

Ec: Emissão corrigida para o teor de oxigênio referido.

Om: Quantidade de oxigênio medido.

Em: Emissão medida.

Como a média do oxigênio medido no ECIL foi de 9,2%, observada na Figura 7, para determinar a concentração corrigida da emissão de NO_x foi utilizado a Equação 7.

$$Ec = \frac{14}{21-9,2} * 277,16 = 328,83 \frac{\text{mg}}{\text{Nm}^3} \quad (7)$$

De forma análoga foi realizada a correção para o SO_x obtendo o resultado de 88,13 mg/Nm³, e para o CO, obtendo o resultado 80,68 mg/Nm³.

A comparação das medições com os limites previstos na CONAMA 316/02 é apresentada na Tabela 2

Tabela 2: Comparação das medições com os limites da CONAMA 316/02

Parâmetro Analisado	Valor medido no ECIL	Limite de emissão
NO _x mg/Nm ³	328,83	560
SO _x mg/Nm ³	88,13	280
CO ppm/Nm ³	80,68	100

CONCLUSÕES

Como pode ser observado, os resultados medidos no blend apresentaram valores inferiores aos exigidos na legislação ambiental, estando assim dentro dos padrões de emissões atmosféricas.

Estes valores confirmam que este blend pode ser tratado no incinerador sem causar emissões acima dos limites permitidos.

Foi possível ainda realizar uma operação segura do incinerador, quando realizado o

tratamento de resíduos perigosos, contaminados com agrotóxicos.

Este método, pode ser utilizado para os demais resíduos contaminados com agrotóxicos do empreendimento, fornecendo limites e características distintas de processo para cada tipo de resíduo tratado.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004: Resíduos Sólidos: Classificação**. Rio de Janeiro, 2004. 77 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11175: Incineração de resíduos perigosos: padrão de desempenho**. Rio de Janeiro, 1990. 5 p
- BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA. Resolução nº316, de 29 de outubro de 2002. Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos. **Diário Oficial da União**. Disponível em: <http://www.ipaam.am.gov.br/wp-content/uploads/2021/01/Conama-316-02-Tratamento-T%C3%A9rmico-de-Res%C3%ADduos.pdf>. Acesso em: 10/10/2023.
- BAIRD, Colin; CANN, Michael. **Química ambiental**. 4. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2011. 844 p.
- BARROS, Regina Mambeli. **Tratado sobre resíduos sólidos: Gestão, Uso e Sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Interciência, 2012. 357 p.
- BRAGA, Benedito; HESPANHOL, Ivanildo; CONEJO, João G. Lotufo; MIERZWA, José Carlos; BARROS, Mario Thadeu L. de; SPENCER, Milton; PORTO, Monica; NUCCI, Nelson; JULIANO, Neusa; EIGER, Sérgio; **Introdução a Engenharia Ambiental: O desafio do desenvolvimento sustentável**. 2. Ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005. 318 p.
- BRASIL. Conselho Estadual de Política Ambiental - COPAM. Deliberação normativa nº187, de 16 de setembro de 2013. Estabelece condições e limites máximos de emissões de poluentes atmosféricos para fontes fixas e dá outras providências. **Diário Executivo de Minas Gerais**. Disponível em: <https://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/reunioes/uploads/EgBvHJfUB-NDUYjoIu3AAls4VrjnsGMQ.pdf>. Acesso em: 15/11/2023.
- BRASIL. Conselho Estadual de Política Ambiental - COPAM. Deliberação normativa nº217, de 06 de dezembro de 2017. Estabelece critérios para classificação, segundo o porte e potencial poluidor, bem como os critérios locacionais a serem utilizados para a definição das modalidades de licenciamento ambiental de empreendimentos e atividade utilizadores de recursos ambientais no estado de minas gerais e dá outras providências. **Diário Executivo de Minas Gerais**. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=45558>. Acesso em: 16/10/2023.
- BRASIL. Governador do estado de minas gerais. Lei Estadual nº 18031, de 12 de janeiro de 2009. Dispõe sobre a política estadual de resíduos sólidos. **Assembleia legislativa de Minas Gerais**. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/legislacao-mineira/texto/LEI/18031/2009/?cons=1>. Acesso em: 16/10/2023.
- CALIJURI, Maria do Carmo (coord); CUNHA, Davi Gasparini Fernandes (coord.). **Engenharia Ambiental: Conceitos, Tecnologia e Gestão**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. 789 p.
- CARDOZO, Barbara Cristina; MANNARINO, Camille Ferreira; FERREIRA, João Alberto. Análise do monitoramento ambiental da incineração de resíduos sólidos urbanos na Europa e a necessidade de alterações na legislação brasileira. **Revista engenharia sanitária ambiental**, Rio de Janeiro, v.26 n.1, p 123-131, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/v88qtgPD>

- k8hwLKJnmgyG9K/?format=pdf.
Acesso em: 18/10/2023.
- CARVALHO JÚNIOR, João Andrade de; LACAVA, Pedro Teixeira. **Emissões em processos de combustão**. São Paulo: Editora UNESP, 2003. 135 p
- DEMPSEY, Cleyde R.; OPPELT, E. Timothy; **Incineração de resíduos perigosos: Uma revisão crítica**. São Paulo: A&WMA – Seção Brasil, 1999. 78 p.
- DERISIO, José Carlos. **Introdução ao controle de poluição ambiental**. 4. Ed. São Paulo: Oficina de textos, 2012. 228p.
- FELDER, Richard M.; ROUSSEAU, Ronald W.; **Princípios elementares dos processos químicos**. 3 Ed. [Reimpr]. Rio de Janeiro: LTC, 2014. 579 p.
- FIGUEIREDO, Nayara. **Setor de agrotóxicos do Brasil, antecipa negócios para garantir insumos de 22/23**. CNN BRASIL. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/economia/setor-de-agrotoxicos-do-brasil-antecipa-negocios-para-garantir-insumos-de-22-23/>. Acesso em: 16/10/2023
- GALDINO, Alana Marielle Rodrigues. **Introdução ao estudo da poluição dos ecossistemas**. Curitiba: InterSaberes, 2015. 279 p.
- GUILHERME, Adriana Hoerner Lopez. **Estudo das reações durante a incineração de resíduos químicos: aspectos cinéticos e termodinâmico**. 2000. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/32199>. Acesso em: 05/09/2023.
- MISSIAGIA, Rita Rutigliano. **Gestão de Resíduos Sólidos Industriais: Caso Spring Carrier**. 2002. Dissertação (Mestrado em Administração) – Escola de Administração, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/28692/000371738.pdf?seq>. Acesso em: 10/10/2023.
- OLIVEIRA, Martim Francisco de; COSTA, Letícia Magalhães da; A indústria de defensivos agrícolas. **BNDES SETORIAL: Biblioteca digital**, Rio de Janeiro, v.35, p 233-276, mar. 2012. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/1513/1/A%20set.35_A%20ind%20C3%BAstria%20de%20defensivos%20agr%20C3%ADcolas_P.pdf. Acesso em: 15/10/2023.
- REYNOLDS, Joseph; DUPONT, Ryan; THEODORE, Louis. **Hazardous waste incineration calculation: Problems and software**. New York: John Wiley & Sons, 1991. 249 p.
- SINDICATO nacional da indústria de produtos para defesa vegetal. SINDIVEG. 2023. Disponível em: <https://sindiveg.org.br/quem-somos/>. Acessado em: 16/10/2023.
- SOUSA, Ângela Saionara Pereira; SALES JÚNIOR, Rui; NEGREIROS, Andreia Mitsa Paiva; OLIVEIRA, Teliane Sousa. Recolhimento de embalagens vazias de agrotóxicos no Rio Grande do Norte de 2006 a 2014. **Revista Verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável**, Rio Grande do Norte, v.10 n.5, p 01-04, dez. 2015. Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/3890/3493>. Acesso em 16/10/2023.