



# DECOMPOSIÇÃO TÉRMICA VIA OXIDAÇÃO PARA CONVERTER RESÍDUOS A UM MATERIAL MENOS TÓXICO OU NÃO TÓXICO.

N. A. S. ARANTES<sup>1</sup>, E.A.P. LIMA<sup>2</sup>, J.M.C. BIAZI<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Universidade de Uberaba, Departamento de Engenharia Química

**RESUMO** – O tratamento térmico de resíduos como processo de descontaminação de resíduos gerados pela indústria agroquímica no Brasil. Foram estudados aspectos gerais da incineração no tratamento de resíduos agroquímicos e a eficiência na destruição. O conhecimento de dados cinéticos relativos à decomposição térmica de substâncias perigosas pode ser de grande utilidade no estabelecimento de condições operacionais ótimas de um incinerador. Tendo como resultado, o tratamento de produtos tóxicos com a geração de cinzas sem apresentarem toxicidade, bem como a minimização de custos do processo. A Incineração é um processo de engenharia que usa a decomposição térmica via oxidação para converter um resíduo a um material menos tóxico ou não tóxico. O resíduo deve ser combustível para incineração e o produto de combustão deve ser adequado à disposição final.

## 1. INTRODUÇÃO

A incineração é um processo químico utilizado como um método de tratamento de resíduos, que consiste na utilização da decomposição térmica via oxidação com o objetivo de tornar o resíduo menos volumoso, menos tóxico ou atóxico, ou ainda eliminá-lo, em alguns casos. A incineração é provavelmente a melhor solução para os problemas ambientais ocasionados pela disposição inadequada de resíduos tóxicos não degradáveis, e altamente persistentes ao meio ambiente e não passíveis de outras formas de tratamento. (Rocca et al., 1993)

Nos últimos vinte anos, a preocupação com técnicas ineficientes no tratamento de resíduos, amplamente utilizadas, e suas desastrosas consequências, manifestou-se nos principais países industrializados na forma de criação de legislações de abordagens inéditas. Como resultado, houve uma significativa modificação nas técnicas de gerenciamento de resíduos. Os métodos mais tradicionais e baratos de disposição direta em aterros sanitários e industriais e injeção em poços profundos têm sido substituídos, em larga escala, por minimização da geração de resíduos, reutilização, tratamento físico, químico e/ou biológico, métodos de tratamento térmico, e métodos de estabilização química e solidificação.

Dentre os métodos de tratamento térmico de resíduos, a tecnologia da incineração merece destaque por apresentar um alto grau de destruição e controle para uma ampla faixa de tipos de resíduos perigosos. No entanto, vários aspectos relativos ao processo e aos



sistemas de incineração necessitam de estudo para que sua aplicação possa ser otimizada.

Atualmente, não se pode mais ignorar a geração do enorme volume de resíduos perigosos, tanto por grandes geradores - setor industrial - como a agroindústria – com produção e aplicação dos agroquímicos.

A toxicologia é o estudo dos efeitos nocivos de substâncias sobre os seres vivos. As substâncias de interesse incluem tanto os produtos químicos sintéticos quanto aqueles naturalmente presentes no ambiente. Com relação ao estudo toxicológico dos agrotóxicos, a priori, devem ser analisadas as consequências ambientais associadas ao uso desses produtos

Mesmo que se aprimorem os processos químicos, que se selecione e utilize tecnologias que resultem na diminuição da quantidade de resíduos, ou mesmo que se desenvolva e incentive técnicas de reciclagem, ainda assim serão gerados e acumulados resíduos cujo tratamento e descarte deverá ser feito do modo mais seguro e com o menor impacto ambiental possível químicas e biológicas do local onde estão presentes os agrotóxicos.

## **2. OBJETIVO DO TRABALHO**

O trabalho tem com objetivo o acompanhamento do processo de destruição térmica na descontaminação de resíduos agroquímicos, eliminando a sua toxicidade, e amenizando os efeitos degradantes causados por uma inadequada disposição no meio ambiente.

## **3. PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DE UM INCINERADOR**

Na caracterização do incinerador, segundo Rocca et al. (1993), o fator mais importante é a combustão, através da oxidação térmica ocorre a destoxificação dos resíduos. O oxidante do processo é o ar atmosférico na combustão sendo controlado por meio de três variáveis principais que são a temperatura, a turbulência e o tempo de residência. A temperatura representa a quantidade de energia fornecida ao resíduo para que ocorra quebra e recombinação de moléculas existentes. A turbulência indica o grau de mistura do resíduo com o oxigênio. O tempo de residência é o tempo no qual as substâncias permanecem na temperatura adequada, tempo este disponível para que as reações de oxidação aconteçam.

Conforme Davis e Cornwell (1991), o incinerador deverá ser projetado para alcançar 99,99% de destruição e eficiência de remoção (DRE) dos principais componentes orgânicos perigosos (POHCs). Para obter-se o DRE de 99% no projeto de um incinerador os fatores a serem estudados são a temperatura de combustão, o tempo de residência do gás e a eficiência da mistura do resíduo com o ar e o combustível de início do processo. Em função da complexidade do material a ser incinerado, dificuldades têm sido encontradas para determinar estes fatores.

Atualmente, os incineradores requerem excesso de ar para maximizar a formação de



produtos da combustão completa (POCs) e minimizar a formação de produtos da combustão incompleta (PICs) que são indesejáveis em função de gerarem monóxido de carbono, hidrocarbonetos, aldeídos, cetonas, aminas e ácidos orgânicos. Em um incinerador bem projetado a quantidade destes produtos é insignificante.

### 3. MÉTODO DA DESTRUIÇÃO TÉRMICA DE RESÍDUOS

O estudo deste trabalho foi realizado no período de Março a Julho de 2020 na unidade de incineração da NEOTECH Soluções Ambientais Ltda., na cidade de Uberaba - MG. Para o estudo foi acompanhado um processo de incineração, em um Incinerador de Leito Fixo capacidade 480 Kg/h por um período de 24 horas de processo por dia de operação.

O incinerador em estudo apresenta como principais características operacionais como a pressão de trabalho, em torno de 50 bar, a elevada temperatura, superior a 800°C e o rendimento limitado a 85%.

Para uma melhor avaliação dos fatores de operação na combustão, foram analisados fases do processo de destruição térmica dos resíduos agroquímicos, citados a seguir:

- Uma análise preliminar do resíduo consiste na determinação de umidade, materiais voláteis, carbono fixo e conteúdo de cinzas. A análise elementar do resíduo é necessária para se estimar o suprimento de ar de combustão, os produtos de combustão e a natureza do gás exausto. Normalmente determina-se o teor dos seguintes elementos: carbono, hidrogênio, enxofre, oxigênio, nitrogênio, halogênios, metais pesados e outros elementos que possam afetar a combustão;
- A Câmara de combustão, chamada de câmara primária, em que ocorre a reação de combustão. Foram observados o rendimento e o controle das zonas de combustão a regulagem das temperaturas, que possuem significativa importância, podendo afetar diretamente as emissões de CO (monóxido de carbono), Carbono orgânico e NO<sub>x</sub> (óxido de nitrogênio), que são gases formados no processo de combustão dos resíduos agroquímicos.
- A segunda Câmara, ocorre a fase gasosa gerada na câmara de combustão, com a temperatura mínima de 800°C, é então encaminhada para a câmara secundária, na qual ocorre, de forma complementar, a queima da mistura entre partículas remanescentes da queima, dióxido de carbono, água e cinzas, que são inertes. Na segunda etapa, deve ser operada mediante temperatura ainda mais elevada, compreendida entre 850°C e 1200°C, com tempo de residência muito curto, de forma a propiciar atmosfera extremamente oxidante, e a sobre-elevação da temperatura.
- O ar secundário é, de forma complementar, responsável pela queima da mistura de partículas remanescentes da combustão e gases então gerados. A relação entre a vazão



de ar primário pré-aquecido, na câmara de combustão, e de ar secundário quente recuperado do próprio processo tende a ser da ordem de 2/3 de equivalência.

- O tempo de residência é o tempo no qual as substâncias permanecem na temperatura adequada, tempo este disponível para que as reações de oxidação aconteçam. Este tempo de permanência do resíduo no equipamento, para o correto desempenho do processo de incineração é de 30 a 60 minutos, passando pelas fases de secagem, aquecimento, decomposição, gaseificação, combustão primária e combustão secundária;

- No Sistema de tratamento dos gases, neste processo as partículas mais finas presentes em suspensão nos gases exauridos da câmara de combustão, estas partículas residuais, que são arrastadas pelo processo de fluxo dos gases gerados na combustão e ficam retidas no sistema de tratamento de gases, por tecnologia de separação por filtração;

- A quantidade de material resultante do processo de combustão, quando comparada à quantidade original de resíduos, corresponde valores compreendidos entre 12% e 30% em termos de massa e 4% e 10% em termos volumétricos;

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O desenvolvimento deste estudo fundamentou-se em pesquisas bibliográficas específicas de âmbito nacional, de autores pesquisadores renomados que atuam e discute sobre esse tema, em informações obtidas através do acompanhamento do processo de combustão, toda a operação do incinerador de leito fixo da empresa NEOTECH Soluções Ambientais Ltda. A confiabilidade dos dados obtidos no processo de combustão, buscando: referências, conceitos, instrumentos legais relacionados a essa temática e experiências obtidas na técnica de incineração de resíduos tóxicos.

O processo de incineração depende da manutenção de elevada temperatura em fornos, que na presença de oxigênio em excesso, é capaz de promover a queima de resíduos combustíveis, com a geração de cinzas inertes, isentas de matéria orgânica e inorgânica combustível, como resíduo do processo. A tecnologia de incineração contempla processos baseados em técnicas do tipo *Mass Burning e Refuse-derived Fuel*, e em reatores de incineração do tipo e **Leito fixo**.

Desde a introdução dos resíduos no incinerador, e em função do tipo de sistema utilizado, a massa em combustão é sujeita a diversas temperaturas. Em um primeiro momento, ao ser lançado no compartimento de acesso ao incinerador, sob temperatura da ordem de 100°C, inicia o processo da perda de umidade por mecanismos de radiação ou convecção. Ainda antes de alcançar a câmara de combustão propriamente dita, sob baixa pressão atmosférica e temperatura da ordem de 250°C, inicia-se o processo de volatilização.



Já na câmara de combustão, com a temperatura compreendida entre 600°C e 1.300°C e razão entre ar e resíduo entre 1,5 e 2,0 é que ocorre a completa oxidação.

O processo de Gaseificação e Combustão Combinadas (GCC) é um procedimento térmico, não poluente e adequado para destruir resíduos sólidos e líquidos em instalações da indústria química. No processo, a mistura de resíduos é inicialmente gaseificada em um gaseificador, passando através de um leito incandescente, seguindo-se a combustão dos gases formados a temperaturas acima de 1.100°C.

Após o acompanhamento, por período de aproximadamente doze horas, em dias alternados, a operação do incinerador na empresa NEOTECH, com alimentação de resíduos de diferente poder calorífico (PCI), usualmente processado.

Foram verificadas as eficiências no processo de combustão, na transformação de resíduos tóxicos em cinzas inertes, processo obtido por meio de três variáveis principais que são a temperatura, a turbulência e o tempo de residência do resíduo necessário para reação de combustão.

A temperatura, o tempo de residência dos gases de queima no interior do incinerador, concentração de oxigênio, são as variáveis primárias que afetam a eficiência da combustão em qualquer processo de incineração. Por outro lado, as melhores condições de operação são determinadas somente com base na experiência prévia com resíduo ou testes reais. Dessa forma, o foco da avaliação está em se saber se uma dada condição de operação pode ser atingida ou não, para se destruir um determinado resíduo.

A completa destruição de um resíduo requer valores de liberação de calor, suficientemente alta para atingir a temperatura acima do ponto de ignição dos constituintes do resíduo. Nos casos em que os intermediários de combustão são mais estáveis que o resíduo original, maiores temperaturas serão requeridas para a combustão completa.

Considerando-se que a transferência de calor e massa e que a oxidação requer em um intervalo de tempo finito, a temperatura requerida deve ser avaliada em relação ao tempo proposto de residência na câmara de combustão. A cinética da reação de decomposição aumentam em função da temperatura, diminuindo assim o tempo de residência requerido, podendo definir as melhores condições de incineração, considerando-se as propriedades de incineração de cada resíduo. Conjugados em balanços entálpicos e de massa, pode-se fazer um aproveitamento maior e melhor das condições de incineração, permitindo-se uma adequação da capacidade de incineração em termos mássicos, e respeitando concomitantemente as normas ambientais vigentes na descontaminação de resíduos agroquímicos.

Conforme estudos apresentam, o diagrama de combustão, Figura 1, que representa o campo de funcionamento do forno. Sobre o eixo da ordenadas (y) estão os valores da potência térmica bruta do forno em MW, enquanto no eixo das abscissas (x) é indicada a capacidade térmica da massa expressa em t/h dos resíduos incinerados.



Figura 1 - – Diagrama de Combustão na incineração. (Adaptado de WtERT,2013)

Figura 2 – Combustão dos resíduos agroquímico no incinerador da empresa NEOTECH. (Incinerador NEOTECH -2020)

## 5. CONCLUSÃO

Em vista das temáticas abordadas na presente revisão sobre os agrotóxicos e o seu emprego no cultivo de diversos alimentos, ilustrando a toxicidade e a acumulação desses compostos em diversos compartimentos ambientais, sobretudo nos seres humanos, conclui-se que é de suma importância a realização de pesquisas que esclareçam à sociedade a pertinência do desenvolvimento de programas que monitorem resíduos de agrotóxicos em alimentos. Nesse contexto, as pesquisas revelam que quantidades significativas de resíduos de agrotóxicos têm sido encaminhadas para tratamento térmico em que elimina a toxidade com eficiência de aproximadamente 90%, visto que as cinzas geradas são classe II não perigosos.



O resultado do teste A3, mostrou que não houve quantidade ótima de dispersão das partículas, formando aglomerados e floculações no processo, interferindo no tempo de agitação, velocidade de rotação, viscosidade do produto e apresentou grande quantidade de sólidos em porcentagem mássica, provavelmente devido a encapsulamento de líquido, não sendo favorável para fabricação.

## 6. REFERÊNCIAS

ABES – Assoc. Brasileira de Engenharia Sanitária. “Lixo no Brasil – Uma bomba de efeito retardado”, Bio, Abr/Junho, 1998.

ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária, Clube de Engenharia do Rio de Janeiro, Nov/1999.

ABNT, 2004. Associação Brasileira De Normas Técnicas - ABNT. Classificação de resíduos sólidos. NBR 10.004.

ABNT – NBR 11175 Dez.1989, “Incineração de resíduos perigosos – Padrões de Desempenho”.

Atkins, Gerald. “Integrating material and energy recycling”, Wastes Manegement, Set. 1993.

Bilitewski, B.; Härdtle, G.; Marek, K., 1997: Waste Management. Springer, Berlin, ISBN: 3-540-59210-5.

Bontoux, L.; 1999: The Incineration of Waste in Europe: Issues and Perspectives.

European Commission Joint Research Centre.

CETSB – E1.5011 ver. Fev/97 – “Sistema de incineração de resíduos de serviço de saúde – Procedimento e desempenho”.

CONAMA Resolução Nº 316/2002.

Demajorovic, Jacques. Meio Ambiente e Resíduos Sólidos: Avanços e Limitantes na Cidade de Viena e Lições para São Paulo, Dissertação de Mestrado, São Paulo, Escola de Administração de Empresas de São Paulo, FGV, 1994.

“Dia-a-Dia” – “Incineração de resíduos é tema de publicação” Saneamento Ambiental n.º 57, Mai/Junho 1999.

Lima, Luiz Mário Queiroz. Tratamento de Lixo, São Paulo, 2ª edição Hemus Editora,



1991.

Logan, E., 1999. Thermodynamics Processes and Applications. Marcel Dekker, Inc.

Mavropoulos, A., 2010. "Thermal treatment in transition countries. Is there any future and how?" Seminário Internacional de Tecnologias e Gestão de Resíduos Sólidos, 1, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 26-28 Maio

Menezes, Ricardo A., "Projetos e Tratamento por Destruição Térmica (Incineração) de Resíduos Sólidos Urbanos e Especiais - Indicadores Operacionais" - Capítulo do Curso (apostila) "Gestão Integrada de Resíduos Sólidos" - Menezes, Ricardo A. e Menezes, Marco Antônio A. - "Considerações sobre o Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos (GRS)", Revista Limpeza Pública – ABLP – Associação Brasileira de Limpeza Pública, Ed., 53, Out/1999.

MSPC, 2008. Ciclo de Rankine. Disponível em:  
<http://www.mspc.eng.br/termo/termo0540.shtml>, Acesso em: 18 set. 2013. 16:02:00