

X-003 – OTIMIZAÇÃO DE UMA PLANTA DE TRATAMENTO DE GASES DE INCINERAÇÃO DE RESÍDUOS PERIGOSOS

Marcio Arêdes Martins ⁽¹⁾

Engenheiro Químico pela Universidade Federal de Minas Gerais, mestrado em Engenharia Química pela Universidade Federal de Minas Gerais e doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Minas Gerais. Professor do Departamento de Engenharia Agrícola e Ambiental da Universidade Federal de Viçosa.

Danielle Biajoli Vieira

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa e mestranda em Engenharia Agrícola e Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa.

José Flávio Riqueiras Sampaio

Diretor da RISAM Indústria Metalúrgica.

Leonardo Barbosa Resende

Graduando em Engenharia Química pela Universidade Federal de Viçosa.

Endereço ⁽¹⁾: Av. P.H. Rolfs, s/ nº, Campus Universitário, Departamento de Engenharia Agrícola, sala 192 - Viçosa - Minas Gerais - CEP: 36570-000 - Brasil - Tel: +55 (31) 3899-1922 - Fax: +55 (31) 3899-2735 - e-mail: aredes@ufv.br

RESUMO

O aumento de consumo de bens duráveis pela sociedade moderna proporcionou elevação no volume de resíduos gerados. Consequentemente tecnologias que priorizem a redução de massa dos resíduos tem sido estudadas de maneira a viabilizar a sua implementação em municípios. A incineração de resíduos é uma tecnologia capaz de reduzir os resíduos em torno de 90% em volume e 70% em massa. Porém, há que se ressaltar o potencial poluidor de uma planta de incineração de resíduos, principalmente no que tange às emissões atmosféricas. Desta maneira, na saída das câmaras de incineração, o incinerador em estudo possui uma planta de tratamento de gases, de maneira a minimizar o impacto ambiental gerado.

No entanto, a construção dos equipamentos de controle da poluição do ar é onerosa ao projeto. Os principais custos associados são o consumo de gás liquefeito de petróleo e a energia gasta na exaustão de gases. Considerando-se uma capacidade nominal de incineração fixa, o consumo de GLP mantém-se constante enquanto o consumo de energia elétrica depende da perda de carga no sistema. Esta, por sua vez, depende inversamente do diâmetro da tubulação. Desta maneira quanto maior o diâmetro nominal, menor a perda de carga e, portanto, menor o consumo de energia. Porém, quanto maior o diâmetro dos equipamentos, maior o custo de produção dos mesmos.

Desta maneira este trabalho buscou maximizar o sistema de tratamento de gases, desenvolvendo um estudo de variação da perda de carga e consumo de energia elétrica em função do diâmetro nominal dos equipamentos, coadunado ao custo de produção. O diâmetro que apresentou relação ótima entre custo de produção e de consumo de energia elétrica foi o de 40 cm.

PALAVRAS-CHAVE: perda de carga, diâmetro nominal, custo.

INTRODUÇÃO

O acelerado processo de urbanização, aliado ao consumo crescente de produtos menos duráveis e descartáveis, provocou sensível aumento do volume e diversificação de resíduos gerados e sua concentração espacial (IPT, 2000). Neste cenário, torna-se cada vez mais difícil encontrar áreas disponíveis para a disposição de resíduos sólidos, favorecendo a busca por tecnologias de tratamento que reduzam significativamente o volume de resíduos gerados.

O termo Resíduos Sólidos, segundo a NBR 10004 (ABNT, 2004) pode ser definido como:

“(...) resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades da comunidade de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos também nessa 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.”.

Roth et al. (1999) relatam que a incineração contribui para a redução significativa do volume e do potencial tóxico dos detritos, bem como possibilita a utilização da energia liberada pela queima. Neste contexto, os resíduos perigosos são as melhores opções, tais como os resíduos do serviço de saúde (RSS), e alguns resíduos industriais (RSI). De acordo com Shi et al. (2008), o destino mais comum dos RSS, em países como Alemanha, Estados Unidos, Japão e China é a incineração. Conforme Jangsawang et al. (2005), a incineração de RSS é o tratamento mais usual na Tailândia.

A incineração de resíduos sólidos é definida pela norma NBR 11175 (ABNT, 1990) como o processo de oxidação à alta temperatura que destrói ou reduz o volume ou recupera materiais ou substâncias. Os incineradores são equipamentos que geralmente operam em duas câmaras: na primeira ocorre a combustão do resíduo, com temperaturas entre 400 e 600 °C. Os gases gerados são então oxidados e incinerados em uma segunda câmara com temperaturas entre 800 e 1200 °C. Esta elevada temperatura de trabalho garante não só a detoxificação, pela inativação de organismos patogênicos, bem como a volatilização de aproximadamente 90% do material em volume e 70% em massa (SHI et al., 2008).

No projeto de plantas de incineração de resíduos, grande parte dos custos de construção e operação está associada ao sistema de tratamento de gases. Sistemas de pequeno porte, até 200 kg h⁻¹, apresentam baixo custo de implantação, mas requerem maior potência de ventilação. Já em sistemas de maior porte, as velocidades de escoamento são mais baixas, mas a quantidade de material gasto para sua construção é maior.

OBJETIVOS

O presente trabalho tem por objetivo otimizar o projeto de um sistema de tratamento de gases para uma unidade com capacidade nominal de incineração de 400 kg h⁻¹ de resíduo. O incinerador foi construído por meio da parceria entre a UFV e a JGA Equipamentos e Soluções Ambientais.

MATERIAIS E MÉTODOS

Um incinerador é qualquer dispositivo, aparato, equipamento ou estrutura usada para a oxidação à alta temperatura que destrói ou reduz o volume ou recupera materiais ou substâncias (ABNT, NBR 11175, 1990). A incineração de resíduos sólidos é definida pela norma NBR 11175 (ABNT, 1990) como o processo de oxidação à alta temperatura que destrói ou reduz o volume ou recupera materiais ou substâncias.

O incinerador de resíduos em estudo é apresentado na Figura 1, e tem capacidade nominal de incineração de 400 kg h⁻¹. Verifica-se que a linha de tratamento de gases é constituída de uma série de equipamentos, construídos em aço inox 310, uma vez que vapores ácidos são gerados durante a incineração.

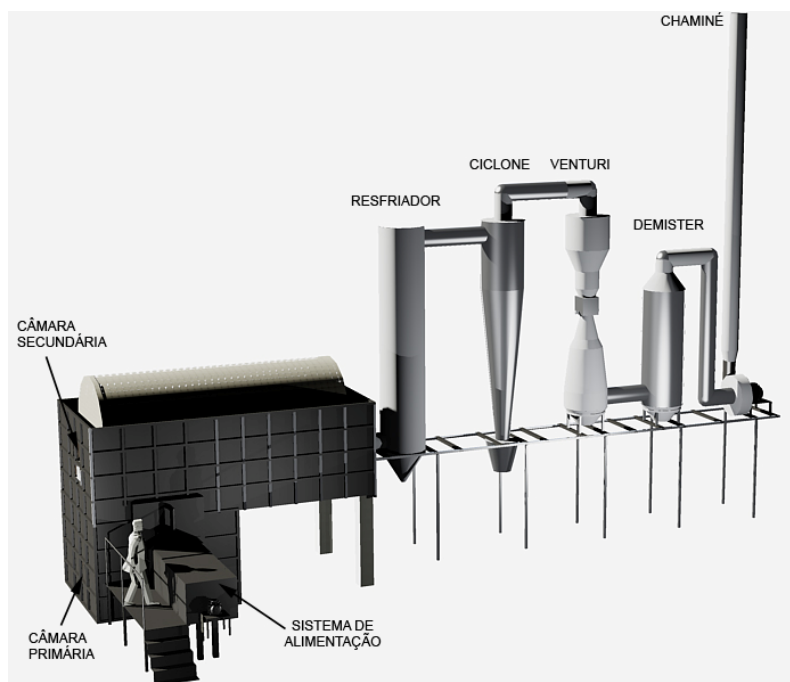


Figura 1: Incinerador e sistema de tratamento de gases.

Os custos operacionais dos incineradores decorrem principalmente no consumo de gás liquefeito de petróleo (GLP) nos queimadores e da energia elétrica no exaustor. O consumo de gás é dependente do poder calorífico do resíduo. Assim sendo, para uma capacidade nominal de incineração fixa, o consumo de gás é mantido constante. No entanto, o consumo de energia no exaustor pode ser minimizado, reduzindo a perda de carga do sistema de tratamento, que oferece as maiores resistências ao escoamento. Com isso, o estudo de otimização foi realizado alterando-se as dimensões dos equipamentos e tubulações da linha de tratamento de gases e avaliando os impactos no custo de produção e no consumo de energia elétrica no exaustor.

Os modelos de perda de carga nas tubulações, acessórios e equipamentos são sumarizados na Tabela 1.

Tabela 1 – Modelos de perda de carga para as tubulações, acessórios e equipamentos.

Dispositivo	Perda de carga (Pa)	Referência
Tubulações (10 m)	$\Delta P = f \frac{L}{D} \frac{\rho V^2}{2}$	Macintyre (1990)
Curvas (5)	$\Delta P = N_c K_c \frac{\rho V^2}{2}$	Macintyre (1990)
Expansões e contrações (7)	$\Delta P = N_e K_e \frac{\rho V^2}{2}$	Macintyre (1990)
Ciclone	$\Delta P = \alpha \frac{\rho V_d^2}{2}$ $\alpha = 11,3 \left(\frac{A_e}{D_e^2} \right)^2 + 3,33$	Perry e Green (2007)
Lavador Venturi	$\Delta P = \rho_a LG \frac{\rho V_g^2}{2}$	Perry e Green (2007)

Na Tabela 1, ΔP é a perda de carga (Pa), f é o fator de atrito, tabelado em função do número de Reynolds, L é o comprimento da tubulação (m), D é o diâmetro da tubulação (m), ρ é a massa específica dos gases de incineração ($0,892 \text{ kg m}^{-3}$), V é velocidade no interior das tubulações e curvas (m s^{-1}), N_c é o número de curvas (5), K_c é a constante de carga para as curvas (0,4), N_e é o número de expansões e contrações (7), K_e é a constante de carga (0,6), V_d é a velocidade de projeto do ciclone (25 m s^{-1}), A_e é a área de entrada do ciclone (m^2), D_e é o diâmetro do tubo de saída do ciclone (m), ρ_a é a massa específica da água (997 kg m^{-3}), LG é a razão líquido-gás no lavador venturi ($0,3 \text{ L m}^{-3}$) e V_g é a velocidade na garganta do venturi (m s^{-1}). As perdas de carga no resfriador e no separador de névoa são desprezíveis devido ao seu elevado diâmetro. A potência nominal (Ws) é a energia necessária para promover o escoamento dos gases a uma vazão Q , sujeito a uma queda de pressão ΔP , sendo definida pela equação:

$$Ws = Q\Delta P \quad (1)$$

RESULTADOS

A perda de carga total foi calculada em função do diâmetro nominal das tubulações, que implicam em variações nas dimensões das curvas e demais equipamentos. A Figura 2a apresenta a variação da perda de carga com o diâmetro nominal.

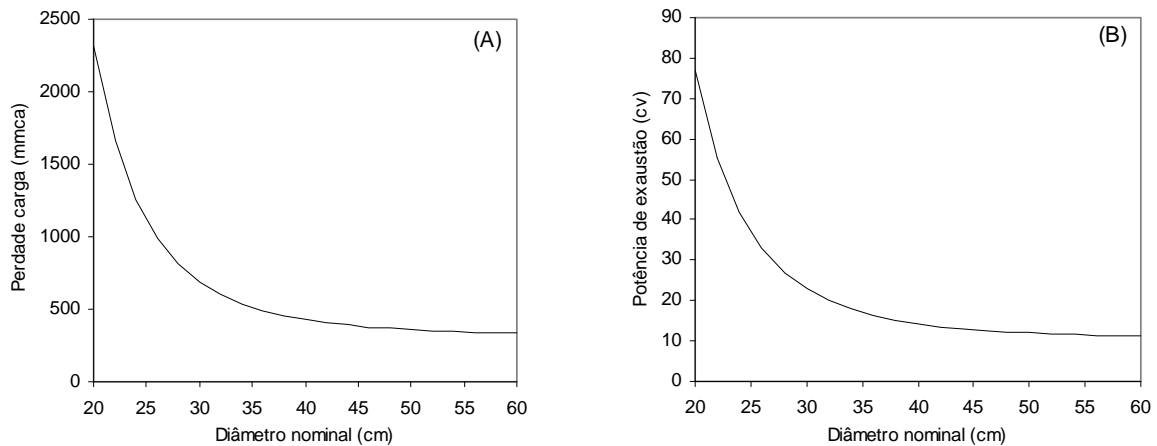


Figura 2: Efeito do diâmetro nominal (a) na perda de carga e (b) na potência de exaustão.

Na Figura 2, verifica-se que a perda de carga e conseqüentemente a potência do exaustor decrescem à medida que o diâmetro nominal aumenta. No entanto, para diâmetros acima de 40 cm, as reduções na perda de carga e nas vazões são pouco expressivas. Este fato se justifica uma vez que alguns equipamentos apresentam limitações quanto à velocidade dos gases, tais como os ciclones, que possuem uma velocidade mínima de funcionamento.

Os efeitos da variação do diâmetro nominal nos custos de produção e no custo associado ao consumo de energia elétrica são apresentados na Figura 3.

Os valores referentes aos custos de energia elétrica foram normalizados dividindo-se o custo final da energia requerida pelo maior custo (diâmetro de 20 cm). Desta forma, observa-se na Figura 3 que o custo relativo da energia elétrica reduz de forma expressiva quando o diâmetro nominal aumenta, uma vez que menores potências mecânicas são necessárias para promover o escoamento dos gases de incineração no sistema.

De forma contrária ao consumo de energia elétrica, o custo de produção é diretamente proporcional ao consumo de material, que aumenta com o aumento do diâmetro nominal. Assim, o custo de produção do incinerador foi normalizado para custo usando diâmetro nominal de 20 cm. Conforme verificado na Figura 3, o aumento do diâmetro nominal de 20 cm para 60 cm apresenta um aumento de cerca de 10 % no custo de fabricação do equipamento, o que justifica, em muito, o emprego de diâmetros maiores.

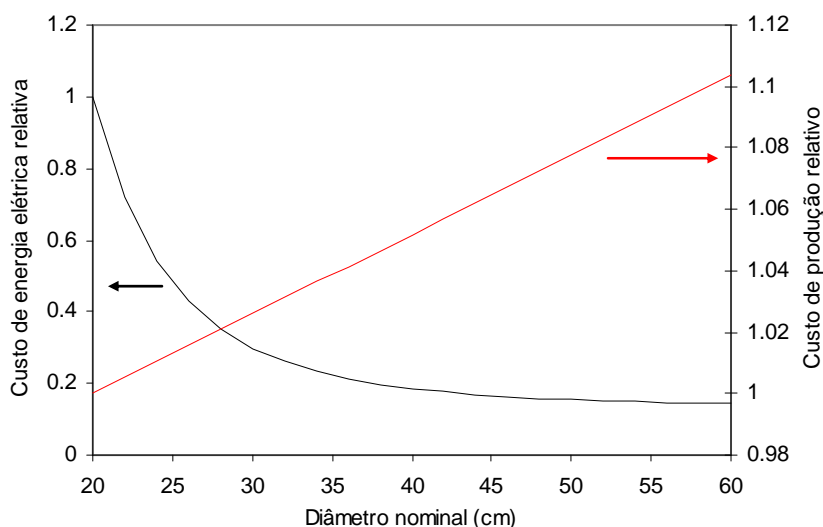


Figura 3: Efeito do diâmetro nominal no custo relativo de produção e consumo elétrico.

CONCLUSÕES

Os incineradores, quando bem projetados e operados são uma alternativa viável técnica e economicamente no tratamento de resíduos sólidos perigosos, assegurando sua redução de volume, a desinfecção e a detoxificação.

Quanto ao potencial poluidor dos incineradores existe uma gama de procedimentos e equipamentos capazes de reduzir o impacto ambiental gerado pelas plantas de incineração. Desta maneira, um forno que segue as normas da ABNT NBR-11175 e dispõe de equipamentos de tratamento de gases é um equipamento ambientalmente seguro.

No dimensionamento do sistema de tratamento de gases, verificou-se por meio deste estudo que o uso de diâmetros nominais maiores é totalmente justificável uma vez que esta variável apresenta grande efeito na redução do consumo de energia, com pequeno impacto na composição final do custo de produção.

O valor do diâmetro nominal considerado ótimo foi o de 40 cm, que requer um exaustor trifásico com 14 cv de potência e implica em um aumento no custo de fabricação de 5,2% em relação ao sistema com 20 cm de diâmetro nominal.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à JGA Equipamentos e Soluções ambientais, a RISAM indústria Metalúrgica e a AmbientAll indústria Metalúrgica pelo financiamento da pesquisa e concessão de bolsas aos alunos de graduação. Os autores agradecem ao CNPq pela bolsa de produtividade em desenvolvimento tecnológico e de extensão inovadora, processo 313823/2009-0, à CAPES pela bolsa de mestrado e à FAPEMIG pelo apoio à participação neste evento, processo PCE-00606-09.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-11175. Incineração de resíduos sólidos perigosos - Padrões de desempenho. Rio de Janeiro, 1990.
2. _____ NBR-10004. Resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 2004.
3. IPT/CEMPRE – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM. *Lixo municipal: Manual de Gerenciamento Integrado*. 2. Ed. São Paulo: IPT, 2000. 370 p.

4. JANGSAWANG W., FUNGTAMMASAN B., KERDSUWAN S. Effects of operating parameters on the combustion of medical waste in a controlled air incinerator. *Energy Conversion and Management*, v. 46, p. 3137- 3149, 2005.
5. MACINTYRE, A. J. Ventilação industrial e controle da poluição, 2ª Edição, Editora LTC, Rio de Janeiro, 1990.
6. PERRY, R., GREEN, D. Perry's Chemical Engineers' Handbook, 8º Edição, Editora McGraw-Hill, 2007.
7. ROTH, B. W.; ISAIA, E. M. B. I.; ISAIA, T. Destinação final dos resíduos sólidos urbanos. *Ciência e Ambiente*, n. 18, p. 25-40, jan./jun. 1999.
8. SHI D.-Z., WU W.-X., LU S.-Y., CHEN T., HUANG H.-L., CHEN Y.-X., YAN J.-H. Effect of MSW source-classified collection on the emission of PCDDs/Fs and heavy metals from incineration in China. *Journal of Hazardous Materials*, v. 153, p. 685 – 694, 2008.