

INCINERAÇÃO DE RESÍDUOS

José Paulo Baudini O. Andrade
Bolsista

Leda Coltro
Pesquisadora

Os resíduos sólidos gerados ao final de um processo e/ou atividade podem ser classificados quanto à origem em domiciliar, comercial, hospitalar (ou de saúde), industrial, radioativo, agrícola, da construção civil (ou entulho), além dos resíduos provenientes de portos, aeroportos, terminais rodoviários e ferroviários.

Em relação aos cuidados para disposição final, os resíduos podem ser classificados quanto às seguintes classes (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004):

- Classe 1: resíduos perigosos, por apresentarem riscos à saúde pública e ao meio ambiente exigindo tratamento e disposição especiais em função de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade (capacidade de transmissão de doenças);
- Classe 2: resíduos não inertes, que são os resíduos que podem ter propriedades de combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água;
- Classe 3: resíduos inertes, por não terem nenhum de seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, ou seja, a água permanecerá potável quando em contato com esse resíduo. Nesta classe encontram-se a maioria dos materiais recicláveis.

A classificação dos resíduos sólidos deve ser considerada quando do Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos - GIRS, uma vez que este engloba ações operacionais e de planejamento de uma administração, a fim de coletar, segregar, tratar e dispor adequadamente os resíduos identificados. O GIRS se inicia com políticas para consumo sustentável e redução na fonte e aplica a melhor opção de tratamento, reutilização, reciclagem, incineração e aterro, dependendo da natureza do(s) resíduo(s) coletados.

A incineração é uma das alternativas de tratamento para disposição final dos resíduos das mais diversas fontes, classificações e periculosidades existentes, desde que seja realizada com os devidos controles e seguindo as normas de segurança operacional (CONAMA, 2002). É interessante para redução do volume (eliminação) de resíduo perigoso, como os resíduos de saúde, mas requer controle das emissões para o ar e da disposição final das cinzas.

Em diversos países a incineração, com recuperação de energia (com aproveitamento da energia do resíduo), prevalece sobre a disposição final em aterros, alcançando índices

bastante significativos: a Suíça incinera 80%; o Japão 72%, a Dinamarca 65%; a Suécia 59%; a França 41%; a Holanda 39% e a Alemanha 30% (MENEZES; GERLACH; MENEZES, 2000).

A Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNSB, realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística IBGE informou que, entre os 5.507 municípios brasileiros, apenas 14% das prefeituras afirmaram tratar do resíduos sólidos de saúde de forma adequada (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2000).

Porém, com relação aos resíduos produzidos pela população rural do País, mais de 48% dos moradores em domicílios da área rural ainda praticam a queima de resíduos a céu aberto (Tabela 1). Este tipo de tratamento não é recomendado, pois na queima indiscriminada não há controle das emissões atmosféricas geradas, contribuindo para a poluição do ar.

Apesar de pouco empregada no Brasil para tratar resíduos sólidos, a incineração é um processo térmico de tratamento onde há redução das características de periculosidade dos resíduos com a conseqüente eliminação da matéria orgânica e características de patogenicidade através da combustão controlada. A redução de volume é geralmente superior a 90% e a redução de peso, superior a 75%. Para a garantia do meio ambiente, a combustão tem que ser continuamente controlada, os gases gerados devem ser tratados e seus resíduos, dependendo do material que foi incinerado, podem ainda ser nocivos ao meio ambiente, principalmente no caso de conterem metais pesados, como cádmio, níquel, mercúrio e chumbo e requerem disposição controlada.

TABELA 1. Destino do resíduo sólido gerado pela população rural brasileira.

Grandes Regiões e Unidades da Federação	População Rural (% sobre o total do País)	Destino dos resíduos (%) ¹		
		Resíduos coletados	Resíduos queimados a céu aberto	Outros destinos
Brasil	31.355.208 (18,6%)	12,2	48,2	39,6
Centro-Oeste	1.463.432 (4,6%)	8,8	67,5	23,7
Norte	3.790.924 (12,1%)	4,4	60,6	35,0
Nordeste	14.631.768 (46,7%)	5,7	37,7	56,6
Sudeste	6.757.382 (21,6%)	25,6	53,2	21,2
Sul	4.711.702 (15,0%)	20,0	57,9	22,1

Fonte: IBGE, 2000.

Com o volume atual de resíduos perigosos e o efeito nefasto quanto à sua disposição incorreta, com resultados danosos à saúde humana e ao meio ambiente, é necessário todo cuidado com esse tipo de material, tanto nos processos que antecedem a incineração quanto na sua disposição final em aterros sanitários industriais.

Para que um resíduo chegue a ser incinerado, é necessário que ele esteja apto a ser transportado e esteja devidamente caracterizado, física e quimicamente. Há uma série de atividades preliminares que podem ser desempenhadas pelo gerador ou pelo prestador de serviço de incineração ou por um terceiro (preposto credenciado de um dos dois). Estas atividades são as seguintes: exame de carga e seu acondicionamento (a granel, em sacos, em bombonas, em tambores metálicos ou em contêineres), coleta de amostra composta para caracterização em laboratório, acondicionamento para o transporte, escolha do modal de transporte, definição do roteiro de transporte, obtenção de licenças ambientais junto aos órgãos ambientais nas duas pontas (gerador e incinerador), aviso ou permissão de tráfego de outros Estados situados no roteiro, carregamento do veículo, a documentação da carga e do motorista (INCINERAÇÃO, 2002).

A INCINERAÇÃO NO BRASIL

A incineração é um processo bastante usado nas grandes metrópoles com o objetivo de destruir, principalmente, resíduos sólidos e líquidos industriais e hospitalares. Os resíduos são incinerados em instalações apropriadas capazes de promover a combustão completa e controlada, de modo a assegurar a total transformação do material e dos resíduos em cinzas inertes e em gases de natureza conhecida e ambientalmente aceitáveis.

Os incineradores industriais de médio e grande portes que prestam serviços a terceiros estão localizados nos Estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Bahia, Alagoas e Ceará, com capacidade total de 80.750 toneladas/ano (MENEZES; GERLACH; MENEZES, 2000). Há também no mercado modelos de incineradores compactos para resíduos industriais e de saúde que operam com baixa capacidade e que apresentam custos menores do que os incineradores convencionais. Estes equipamentos podem ser uma alternativa de âmbito regional, em localidades mais distantes das áreas industriais do País.

Grande parte dos resíduos que antes eram encaminhados para essas empresas, atualmente é também encaminhada para a indústria de cimento. Sob essa perspectiva, ou seja com a entrada das indústrias de cimento e, por conseguinte, o acirramento da concorrência no setor, ocorreu uma redução substancial nos preços outrora cobrados pelas empresas incineradoras.

Embora a finalidade com que os incineradores são implantados consista, essencialmente, na redução do peso e do volume dos resíduos, outro benefício significativo é o uso da energia liberada com a queima dos materiais, visando a produção de energia na forma de eletricidade e/ou vapor. Porém, essa forma de reciclagem energética ainda é muito pouco praticada no Brasil, mesmo considerando-se as indústrias de cimento que operam estes processos.

São cada vez mais rigorosas as normas estabelecidas para a construção e a operação de incineradores que processam os diversos tipos de resíduos, tais como: sólidos, líquidos e oleosos (Figura 1), tornando-os cada vez mais seguros ambientalmente e socio-politicamente preferíveis às outras alternativas de tratamento e disposição final de resíduos, principalmente quando diz respeito aos chamados resíduos perigosos e contaminantes. Por esse motivo, os sistemas modernos de incineração de resíduos são dotados com sistemas de controle contínuo das variáveis de combustão, tanto na câmara primária quanto na de pós-combustão, bem como, nas demais etapas de depuração de gases, outros resíduos e geração de energia.



Figura 1. Exemplos de plantas de incineração de resíduos. (Fonte:CETREL, 2005).

Os sistemas de limpeza das emissões da incineração são compostos, principalmente, por lavagem e filtragem, sendo que os principais sistemas de purificação de gases baseiam-se na lavagem a seco ou por via úmida, para a retirada dos gases ácidos (HCl, HF, SO₂).

Os *scrubbers* (lavagem a seco de gases ácidos através de *spray* de cal), seguidos de filtros de tecido (sacos longos, resistentes ao calor, que capturam as partículas finas) são considerados a melhor tecnologia de controle de gases ácidos. Este sistema é usado para controlar as emissões de dióxido de enxofre, ácido clorídrico, particulados, metais e dioxinas e furanos.

Outro sistema de lavagem de gases ácidos é o de injeção de absorvente seco IAS, sendo o carvão ativado o mais utilizado, seguido por resfriamento de gás e um precipitador.

Já os precipitadores eletrostáticos atuam mediante a aplicação de uma voltagem nas partículas que entram no incinerador, tornando-as carregadas negativamente, que são então removidas em placas carregadas positivamente (CAMILO et al., 2003).

A incineração é um tratamento de resíduo indicado para os materiais plásticos, uma vez que estes são altamente combustíveis, com valores energéticos que chegam a superar algumas fontes tradicionalmente usadas como combustíveis de fornos industriais (Tabela 2). No entanto, para os resíduos orgânicos domiciliares não é indicada a incineração, uma vez que estes possuem baixíssimo poder calorífico e elevada umidade, além de características de composição complexas e não-homogêneas, tornando-os, do ponto de vista prático, indesejáveis para a incineração. Os resíduos orgânicos domiciliares devem ser aproveitados via compostagem.

TABELA 2: Diferentes tipos de resíduo sólido e seu respectivo poder calorífico.

Material	Poder Calorífico (kj / kg)	
	INFERIOR	SUPERIOR
Resíduos Sólidos Urbanos - RSU	18.561	19.870
Papel	20.702	22.199
Papel cartão	15.661	16.900
Papelão	16.036	17.280
Polipropileno (PP)	44.158	47.300
Polietilenotereftalato (PET)	21.850	22.767
Polietileno de alta densidade (PEAD)	43.100	40.001
Polietileno de baixa densidade (PEBD)	46.600	43.501
Policloreto de vinila (PVC)	17.800	16.753
Poliestireno (PS)	40.720	42.400
Óleo combustível 1A*	40.478	42.864
Óleo de xisto (tipo W)*	40.503	43.124

CO-PROCESSAMENTO EM FORNOS DE CLÍNQUER: INCINERAÇÃO COM APROVEITAMENTO DE ENERGIA

No Brasil, a destruição de resíduos por tratamento térmico se processa tanto em incineradores industriais quanto em co-processamento em fornos de produção de clínquer (cimenteiras).

Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Lixo - ABETRE, o Brasil produz 2,9 milhões de toneladas de resíduos industriais perigosos a cada 12 meses e apenas 600 mil toneladas (21%) são dispostas de modo apropriado. Do resíduo industrial, 16% são depositados em aterros, 1% é incinerado e os 5% restantes são co-processados (SILVA; ARAÚJO, 2003).

A prática do co-processamento consiste na utilização de matéria-prima ou sucata combustível com alto poder calorífico para a produção de clínquer, utilizado na fabricação do cimento, havendo tanto aproveitamento da energia calorífica gerada na incineração do resíduo quanto a incorporação dos resíduos de incineração ao clínquer. A queima destes resíduos sólidos para recuperação de energia é controlada com o objetivo de não gerar emissões prejudiciais. Segundo a Agência de Proteção Ambiental dos EUA, Environmental Protection Agency - EPA, o co-processamento é uma das tecnologias disponíveis mais viáveis para o gerenciamento de resíduos energéticos, além de contribuir para a economia de recursos naturais, pois os resíduos substituem os combustíveis tradicionalmente usados.

Há cerca de uma década, a co-incineração de resíduos em fornos de unidades cimenteiras é praticada extensivamente e de forma segura em doze países da União

Européia, nos Estados Unidos, no Japão e na Suíça, onde os resíduos pré-tratados atuam como combustível alternativo.

No Brasil, há uma enorme quantidade de fornos de cimento espalhados pelo País que poderiam ser aproveitados para eliminar resíduos perigosos e/ou energeticamente interessantes para se incinerar. Outra vantagem, diz respeito aos resíduos da combustão ou cinzas, que são totalmente incorporadas à matriz do clínquer, promovendo a imobilização de eventuais metais pesados e, desta forma, a eliminação da necessidade de descartá-los em aterros sanitários industriais.

Os fornos de cimento têm características que os recomendam como instalações adequadas para a eliminação de resíduos perigosos, principalmente se esses resíduos forem combustíveis e puderem ser destruídos por reação com o oxigênio atmosférico. Dado o caráter perigoso da incineração destes resíduos, esta tem que ser efetuada de modo que a sua eficiência de remoção e destruição, DRE- Destruction and Removal Efficiency, seja elevada. Usualmente, as normas para o tratamento térmico de resíduos perigosos impõem DRE acima de 99,99% (ou 99,9999% para dioxinas/furanos). A eficiência de destruição em forno de cimento normalmente excede a de um incinerador convencional, capaz de destruir 99,9999% dos contaminantes, devido às altas temperaturas e longos tempos de residência (mais de 5 minutos a $T > 1800\text{ }^{\circ}\text{C}$) (CO-INCINERAÇÃO..., 2005).

MECANISMOS DE FORMAÇÃO DE DIOXINAS E FURANOS

Dioxinas e furanos são produtos químicos perigosos, produzidos como subprodutos em vários processos de combustão. Estes compostos têm sido objeto de atenção para que os seus controles sejam feitos através de normatizações e leis dos órgãos e agências da área ambiental. A toxicidade desses produtos requer sua mitigação e até a extinção dos processos que lhes originam, de forma que as suas ocorrências no meio ambiente sejam em níveis aceitáveis para a saúde humana e dos animais. As estruturas químicas das dioxinas e furanos são basicamente $\text{H}_4\text{C}_4\text{O}_2$ e $\text{H}_4\text{C}_4\text{O}$, respectivamente, encontrando-se associadas a outros elementos e ainda, a quantidades diferentes de átomos de cloro (Cl). Assim, convencionou-se chamá-las de Dibenzenodioxinas Policloradas (PCDD) e Dibenzenofurano Policlorado (PCDF).

Nos fornos de cimento de nosso país, que são os chamados fornos de via seca, a temperatura dos gases na saída é bem elevada, aproveitando-se essa energia para o pré-aquecimento do cru (mistura de matérias-primas), passando esses gases por torres de ciclones. Nessas temperaturas e em presença de atmosfera de condições oxidantes a destruição de moléculas de dioxinas e furanos é dada como certa.

Algumas possibilidades de formação de PCDD e PCDF são (SILVA; ARAÚJO, 2003):

- a presença de PCDD e PCDF no combustível (desde que a temperaturas baixas e com pouco O_2 disponível);
- a partir de precursores presentes nos gases de combustão, como, por exemplo, a partir de clorofenóis, clorobenzenos ou bifenilas policloradas, produtos de combustão incompleta, que na presença de fontes de cloro podem sofrer reações químicas e se transformar em dioxinas e furanos;
- combustão incompleta de combustíveis, cujas moléculas que ao serem quebradas dão origem a um grande número de outros compostos orgânicos, entre eles dioxinas e furanos.

Em estudos feitos em escala-piloto para a EPA, foi constatado que as emissões de monóxido de carbono (CO) e de dioxinas e furanos estão fortemente correlacionadas, confirmando a importância da combustão completa na incineração. Assim, o Conselho de Tecnologia Ambiental dos EUA propôs que os limites de emissões de CO fossem estabelecidos em 100ppm e de outros hidrocarbonetos (precursores) em 20 ppm, a fim de se manter os níveis de emissões dentro dos limites indicados pelas normas da EPA (INCINERAÇÃO, 2002).

TOXICIDADE DAS DIOXINAS E FURANOS

Para medir a toxicidade dos diversos tipos de dioxinas e furanos, foi criado o Fator de Toxicidade Equivalente (FTEQ). Segundo este fator, a toxicidade dos vários tipos de dioxinas e furanos são comparadas com a toxicidade da 2,3,7,8-TCDD (tetracloro-dibenzo-p-dioxina), a qual é conhecida por ser a mais tóxica de todas, cujo fator é igual a 1. Desta forma, pode-se fazer uma tabela de FTEQ com a qual é possível calcular a toxicidade de uma mistura de dioxinas e furanos emitida por um processo qualquer que esteja sendo objeto de estudos (CONAMA, 2002).

É de grande importância que se conheçam os constituintes do resíduo a ser incinerado, pois a partir de sua composição pode-se determinar, para cada tipo de forno utilizado no co-processamento, se o resíduo deve ser introduzido apenas na região do maçarico do forno ou se poderá ser destruído no pré-calcinador ou ainda na câmara de fumaça. Certamente, isto contribui para uma redução dos níveis de formação de dioxinas e furanos, de maneira que o processo possa se realizar dentro dos limites de emissões estabelecidos, mantendo a eficiência de destruição de resíduos acima de 99,99%, bem como a segurança do processo, no que se refere à emissão de poluentes perigosos. A introdução de resíduos junto à chama principal do forno (maçarico), é a melhor opção quando há precursores da formação de dioxinas e furanos na composição do resíduo (SILVA; ARAÚJO, 2003).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sistemas de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos - GIRS eficientes, que incluem a incineração como forma de combustão controlada, visando diminuir a quantidade e periculosidade dos resíduos finais a serem destinados para a disposição de forma adequada e otimizada socio-econômica e ambientalmente requerem gestão profissional, suportados por uma população informada e legislações e políticas apropriadas.

As realidades operacionais diferem grandemente de sistema para sistema, fazendo qualquer comparação quantitativa direta extremamente difícil. Estas diferenças são marcadas por variáveis demográficas, metodológicas, operacionais, financeiras e institucionais, assim como a dificuldade de qualquer comparação entre países.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: Resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 2004.

CAMILO, Y.M.V.; LOPES, T.A.; BARROS, R. de M.; et al. Incineração. In: FÓRUM DE ESTUDOS CONTÁBEIS, 3., 2003, Rio Claro. Anais eletrônicos... Rio Claro: Faculdades Integradas Claretianas, 2003. Disponível em: <<http://www.ceset.unicamp.br/lte/Artigos/3fec2410.pdf>>. Acesso em: 28 fev. 2005.

CETREL. **Incineração**. Disponível em: <<http://www.cetrel.com.br/incinera-gestao-resid.asp>>. Acesso em: 16 fev. 2005.

CO-INCINERAÇÃO em cimenteiras. Disponível em: <<http://www.fe.up.pt/~jotace/gtresiduos/coincim2.htm>>. Acesso em: 06 jan. 2005.

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 nov. 2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res31602.html>>. Acesso em: 28 fev. 2005.

DIFERENTES tipos de resíduos sólidos e seu respectivo poder calorífico. Disponível em <<http://www.ecn.nl/phyllis/search.asp>>. Acesso em: 07 mai. 2003.

INCINERAÇÃO. **Revista Gerenciamento Ambiental**, São Paulo, v. 4, n. 19, p. 19-24, mar. 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA IBGE. **Indicadores de desenvolvimento sustentável - Brasil 2002**. Rio de Janeiro: IBGE, 2002. (Estudos e Pesquisas Informação Geográfica, n. 2). Disponível em: <http://www2.ibge.gov.br/pub/Indicadores_Desenvolvimento_Sustentavel/>. Acesso em: 30 abr. 2003.

MENEZES, A.A.; GERLACH, J.L.; MENEZES, M.A. Estágio atual da incineração no Brasil. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS E LIMPEZA PÚBLICA, 7., 2000, Curitiba. Anais eletrônicos... Disponível em: <<http://www.luftech.com.br/art07.htm>>. Acesso em: 22 fev. 2005.

SILVA, R.J.; ARAÚJO, S. Controles no co-processamento de resíduos em fornos de clínquer e os mecanismos de formação de dioxinas e furanos. **Meio Ambiente Industrial**, São Paulo, v. 7, n. 40, p. 42-46, jan./fev. 2003.

SOUZA, E.J.J. de. **Noções de combustão industrial**. 1998. [S.l.: s.n.]. (Curso oferecido ao CETEA por consultor da PETROBRAS- PR).