

Resíduos renováveis e perigosos como combustíveis industriais. Estudo sobre a difícil sustentação ambiental da fabricação de cimento no Brasil, anos 1990.

- Comunicação apresentada no VIII Congresso Brasileiro de Energia, R.J., 01 dezembro 1999, Sessão temática Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento por :

Auxiliadora Maria Moura Santi⁽¹⁾, Arsênio Oswaldo Sevá Filho⁽²⁾

- (1) Engenheira Química, Mestre em Planejamento de Sistemas Energéticos pela FEM/UNICAMP, Analista de Ciência e Tecnologia da Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais. Aluna do Curso de Doutorado em Planejamento de Sistemas Energéticos da UNICAMP
- (2) Engenheiro Mecânico de Produção, Mestre em Engenharia de Produção pela COPPE/ UFRJ, Doutor em Ciências Humanas (Geografia Humana e Organização do Território) pela Universidade de Paris - I Panthéon-Sorbonne, Professor do Depto. de Energia da Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP

Introdução

1. Energia térmica e eletricidade nas plantas industriais das cimenteiras

2. Uma sinopse histórica do uso de combustíveis na indústria cimenteira

FIGURA 1 – Participação da energia térmica e da energia elétrica na produção de cimento no Brasil: 1980 - 1997

3. Dentre várias fontes de combustíveis, resíduos perigosos são fonte de receita

4. A Regionalização do suprimento de combustíveis

5. Alterações ambientais e riscos associados ao emprego de combustíveis convencionais e resíduos perigosos em fornos rotativos de clínquer

Quadro Sinótico 1 – Potencial de poluição do ar devido à queima de combustíveis de origem fóssil e de origem vegetal

Quadro Sinótico 2: Riscos da produção de cimento com processamento de resíduos

6. Algumas correlações entre o processamento de resíduos e de combustíveis contendo contaminantes, e os agravos à saúde coletiva

Referências Bibliográficas

Resíduos renováveis e perigosos como combustíveis industriais. Estudo sobre a difícil sustentação ambiental da fabricação de cimento no Brasil, anos 1990.

- Comunicação apresentada no VIII Congresso Brasileiro de Energia, R.J., 01 dezembro 1999, Sessão temática Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento por :

Auxiliadora Maria Moura Santi ⁽¹⁾, Arsênio Oswaldo Sevá Filho ⁽²⁾

- (1) Engenheira Química, Mestre em Planejamento de Sistemas Energéticos pela FEM/UNICAMP, Analista de Ciência e Tecnologia da Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais. Aluna do Curso de Doutorado em Planejamento de Sistemas Energéticos da UNICAMP
- (2) Engenheiro Mecânico de Produção, Mestre em Engenharia de Produção pela COPPE/ UFRJ, Doutor em Ciências Humanas (Geografia Humana e Organização do Território) pela Universidade de Paris - I Panthéon-Sorbonne, Professor do Depto. de Energia da Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP

Resumo

Discute-se, com base em casos reais estudados e na formulação de algumas tendências observadas, a sustentação ambiental da produção de cimento sob a perspectiva do emprego de energéticos renováveis, não renováveis e de resíduos de outros processos industriais como combustíveis de fornos de clínquer.

Introdução

O estudo que vem sendo feito pelos autores destaca a diversificação do suprimento energético e, ao mesmo tempo, a alteração ambiental associada ao funcionamento da indústria cimenteira. Suas plantas de mineração e de fabricação estão instaladas em quase todos os Estados brasileiros, e a sua inserção sócio-econômica é internacionalmente associada à infraestrutura do desenvolvimento e à urbanização, pois o consumo do cimento está sempre incluído nas construções de habitações, de edificações, e nas grandes obras de engenharia [SEVÁ & PALITOT, 1985; SANTI & NEBRA, 1996; SANTI, 1997; SANTI & SEVÁ, 1998]. Não foram estudadas as relações existentes entre o volume de venda de cimento, o poder aquisitivo da população e o nível de investimento público e privado em construções, mas elas podem se expressar, numa primeira aproximação, pelos números gerais do Setor durante os últimos vinte anos da economia brasileira, a maior parte deles sob os efeitos de crises recessivas.

A indústria aqui instalada já produzia 27 milhões de toneladas de cimento em 1980, valor que caiu para a faixa de 20 milhões anuais durante três anos, na metade daquela década, e voltou ao patamar de 25 milhões durante dez anos, ultrapassou 28 milhões de toneladas em

1995, e atingiu a produção de 38 milhões de toneladas em 1997. Nesse período foram reativadas capacidades produtivas ociosas em muitas plantas, algumas sofreram ampliações e modernizações, plantas novas foram instaladas. Concentrou-se ainda mais o capital acionário das minas e fábricas de cimento, tornou-se notável o peso dos donos e sócios estrangeiros. Houve mudanças de modalidades de processos de fabricação, e reduções de custo importantes, principalmente no item combustíveis empregados, e ainda algum investimento na redução da poluição mais visível, o material particulado.

As cimenteiras estão sendo, como as demais indústrias de grande porte, e mesmo outras, confrontadas com os dilemas da sustentabilidade, que vão muito além de garantir seus suprimentos de matérias-primas e de insumos energéticos, e de cumprir normas e padrões, aliás, nem sempre abrangendo a totalidade dos problemas técnicos, trabalhistas e ambientais existentes, e nem sempre fiscalizados.

Dilemas, sim, pois elas vão se defrontar, cada vez mais, com os problemas da alteração ambiental decorrente de toda a cadeia produtiva, com a escolha entre usos de recursos renováveis, de não renováveis, e de resíduos de outros processos; e já começam a enfrentar seqüelas do potencial tóxico e dos riscos de seus processos e de seus efluentes. Para deixar isto bem demarcado, foram resumidos tais dilemas, com base nos casos reais estudados e na formulação de algumas tendências observadas.

1. Energia térmica e eletricidade nas plantas industriais das cimenteiras

Cada complexo cimenteiro compreende, além das frentes de lavra, ou canteiros de extração mineral, uma indústria de transformação que é comprovadamente consumidora de grande volumes de combustíveis, pois seu processo de fabricação é, essencialmente, o cozimento, ou melhor, a calcinação e a fusão das matérias-primas constituídas de calcário e argilas (94% e 4%, respectivamente) e quantidades menores de óxidos de ferro e alumínio (2%) num forno rotativo operando em temperaturas da ordem de 1.500°C, para produzir uma massa de mineral sintético - o clínquer.

A carga térmica para manter esses níveis de temperatura de forma contínua é, logicamente, proporcional à produção diária, da ordem de mil toneladas de clínquer nas plantas menores, até mais de cinco mil toneladas, nas plantas de maior porte.

Os processos mais comuns empregados nas cimenteiras brasileiras, denominados “processos por via seca”, com sistemas de pré-aquecimento e pré-calцинаção, apresentam consumos específicos de energia térmica de cerca 3.300 MJ por tonelada de clínquer produzido [SANTI, 1997].

Se for considerado apenas um forno rotativo, do tipo de maior capacidade (3.600 toneladas de clínquer por dia), consumindo somente óleo combustível, seriam necessárias cerca de 300 toneladas diárias desse energético, ou seja, dez caminhões-tanque.

O conjunto das plantas cimenteiras instaladas no Brasil é constituído por 47 fábricas de clínquer e cimento despachado ensacado e a granel, cada uma com as suas frentes de lavra de calcário e de extração de argilas; e por 11 unidades de moagem de clínquer. Em 1997, essas 47 fábricas produziram 38 milhões de toneladas de cimento, e consumiram nas plantas industriais blocos de energia equivalentes à 3,68 milhões de tEP, o que representou 1,75% do consumo final de energéticos do setor industrial, que, por sua vez, consumiu o equivalente à 39,48 % do consumo final de energéticos no País.

O estudo realizado destaca o uso de combustíveis, mas a utilização de eletricidade também é intensa, principalmente em motores, de vários portes, muitos trabalhando continuamente, com uma potência total requerida em cada planta que é proporcional também à vazão de cargas transportadas e processadas (moinhos de cru, moinhos de clínquer/ cimento, esteiras transportadoras, motores para rotação dos fornos, máquinas ensacadoras, dentre outros).

O consumo específico médio de energia elétrica varia entre 82 e 156 kWh por tonelada de cimento produzido na planta industrial, um índice relativamente modesto se comparado, por exemplo, aos índices da fabricação de metais empregando processos de eletrólise, na faixa de milhares de kWh por tonelada [SANTI, 1997]. De toda forma, a produção de cimento também é da ordem de vinte vezes a produção de alumínio.

No conjunto, a indústria brasileira de cimento consumiu 4.021 GWh em 1997, o que correspondeu a 1,41% do consumo total de eletricidade na indústria [BEN, 1998]. O problema energético envolvido não é específico dessa indústria, pois trata-se de reduzir parâmetros de consumo, por exemplo, melhorar o desempenho elétrico e os dispositivos de entrada de força para se trabalhar com fatores de potência mais altos.

Via de regra, as cimenteiras são clientes importantes das redes regionais de eletricidade, têm suas próprias subestações, muitas funcionam dia e noite, inclusive com as frentes de lavra

iluminadas. Por outro lado, é um tipo de planta que perde muita energia associada aos gases quentes de exaustão dos fornos. Parte desses gases são direcionados através dos moinhos para secar as matérias-primas (cru) durante a moagem, e após esse uso, juntam-se a outra parte dos gases de exaustão dos fornos, sendo despoeirados em precipitador eletrostático e, então, lançados na atmosfera através de chaminés.

Fora isso, não se conhece casos de aproveitamento de energia térmica residual para gerar vapor e eletricidade; mas, em algumas regiões, as cimenteiras, como ocorre com várias outras empresas industriais, pensam em ser sócias de eventuais plantas de co-geração, por exemplo, utilizando gás natural fornecido a partir dos gasodutos já em funcionamento ou em fase de construção, mas, apesar disso, no momento, elas não consideram interessante o uso do gás metano fóssil canalizado para fornecer energia térmica aos seus fornos.

2. Uma sinopse histórica do uso de combustíveis na indústria cimenteira

O preço do óleo combustível triplicou em termos reais entre 1979 e 1981 por causa da grande dependência brasileira de petróleo importado, que esteve sob o impacto da grande alta de 1979. A partir daí, as respostas da política econômica incluíram o estabelecimento de cotas para o fornecimento de óleo combustível às indústrias, nunca superiores ao consumo praticado em 1979; a criação de incentivos e subsídios a algumas fontes alternativas de combustíveis e energia térmica, através da assinatura de protocolos para a utilização do carvão mineral nacional pelas indústrias de aço, cimento e papel e celulose; a concessão de subsídios para o emprego da energia elétrica nos sistemas de geração de calor; e os incentivos e subsídios para a produção e o uso do álcool combustível como substituto da gasolina nos automóveis.

Em 1979, a indústria brasileira de cimento utilizava óleo combustível para suprir 92,7% de suas necessidades de energia para fins térmicos [BEN, 1995]. Diante do novo quadro, em 19 de setembro de 1979, as indústrias de cimento assinaram o “*Protocolo de Redução e Substituição do Consumo de Óleo Combustível na Indústria Cimenteira*”, onde se comprometeram a atingir, já no final de 1984, a substituição total do óleo combustível consumido nas plantas produtivas através da utilização do carvão mineral nacional e da adoção de medidas de conservação de energia no nível da fábrica.

Logo após, o Sindicato Nacional da Indústria de Cimento assinou um protocolo com o Sindicato Nacional da Indústria de Extração de Carvão para garantir o fornecimento de carvão mineral ao setor cimenteiro, com a interveniência dos Ministérios das Minas e Energia, Transporte e Indústria e Comércio [SNIC, 1993].

Em 1980, a indústria já havia substituído cerca de 15 % do óleo combustível consumido em 1979, e em 1985, havia substituído quase 95 % daquele valor de referência. Além disso, as medidas de conservação de energia levaram à redução de mais de 20% no consumo específico de energia térmica no período 1980 – 1995 .

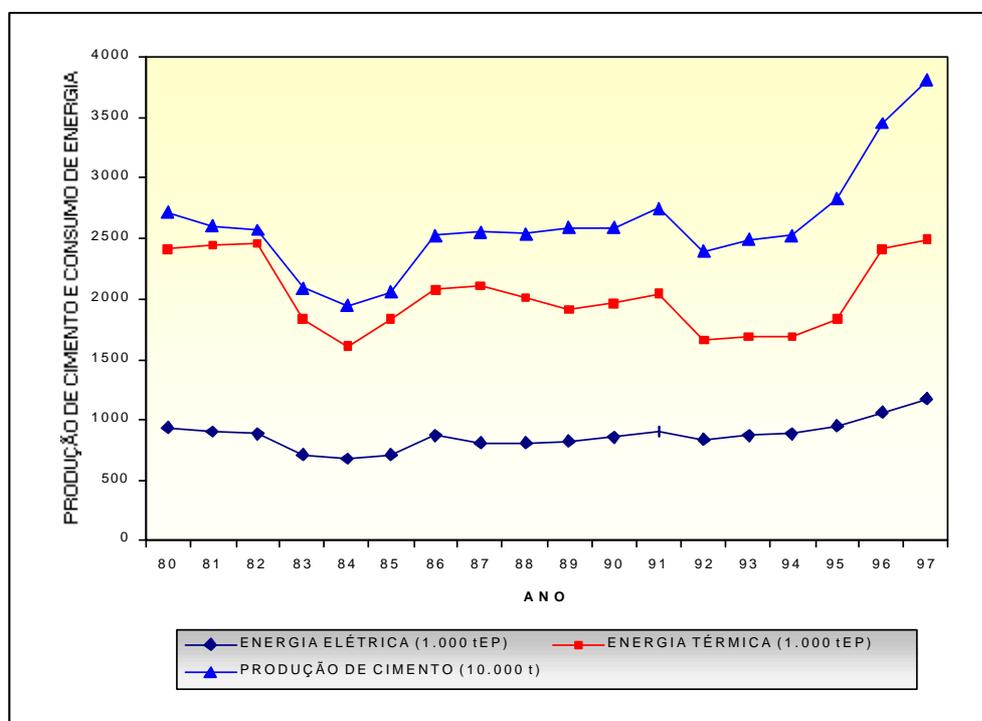


FIGURA 1 – Participação da energia térmica e da energia elétrica na produção de cimento no Brasil: 1980 - 1997

Como se pode inferir da **Figura 1**, que sintetiza o período 1980 – 1997, um índice que medisse a participação, o consumo específico, de energia térmica e da energia elétrica na produção de cimento, teria decrescido no período, refletindo as ações das indústrias para assegurar menores consumos de energia nas plantas de cimento, - isto exceto pelas oscilações ocorridas em 1981 e 1982, que coincidiram com o início do emprego do carvão mineral nacional e com o aumento significativo da utilização de moinha de carvão vegetal.

As medidas adotadas envolveram a melhoria da preparação do cru e da moagem do clínquer; a redução das perdas de energia nos gases de exaustão do forno; a redução do excesso de ar de combustão; a redução das infiltrações de ar falso nos fornos; o aumento da eficiência do resfriador de clínquer pelo aproveitamento do calor sensível para pré-aquecimento do ar de combustão, com a redução das necessidades de ar primário; a redução das perdas de pó; e a redução das perdas por radiação e convecção. Entretanto, os maiores ganhos foram conseguidos através da conversão dos processos por via úmida para os processos por via seca, pela utilização de adições ativas no cimento e pela introdução dos sistemas de pré-aquecimento e de pré-calcinação [SANTI, 1997].

3. Dentre várias fontes de combustíveis, resíduos perigosos são fontes de receita

Os dilemas da sustentabilidade estão presentes há tempos na atividade de produção de cimento, mesmo que tenham sido percebidos apenas pelo seu viés econômico: o custo do suprimento de combustível. Essa indústria já experimentou uma enorme dependência de óleo combustível (derivado de petróleo, ou mais especificamente, de resíduos viscosos do refino) ou seja, dependência do petróleo cru, o qual, na época, anos 60, 70, ainda era majoritariamente importado.

Depois, a indústria cimenteira converteu-se em parte para o carvão mineral e em parte para o carvão vegetal, e nas últimas décadas, especialmente nos anos 1990, acrescentou, no seu já variado “cardápio” de combustíveis para os fornos de clínquer, o uso de resíduos renováveis (vegetais, da agroindústria) e o uso dos resíduos industriais e de sucatas, vários deles classificados como perigosos.

O problema continua sendo percebido pelo viés do custo do combustível posto na porta da fábrica, mas assume uma conotação ambiental explícita, o que, com o passar do tempo, deve tornar-se dramática para essas indústrias e para a população diretamente envolvida com essa atividade produtiva:

a) em muitas regiões cresce o volume de resíduos renováveis (bagaços, cascas, cocos, ramos, galhos, cavacos, serragem, borras de prensagem de alimentos, de extração de óleos, lixívia de extração de celulose etc); em outras, poderia crescer a oferta de carvão vegetal de eucalipto de reflorestamento, ou, pelo menos, a oferta de finos de carvão, descartados no

suprimento dos guseiros e das plantas de ferro-liga; pode-se imaginar também a oferta de alcatrão de carvoejamento, e, tudo isso jogaria a favor da “des-fossilização” do suprimento de combustíveis, que é uma das metas possíveis para a sustentabilidade;

b) em muitas regiões também cresce o volume de resíduos e sucatas de origem industrial, que são cinzas de caldeiras, escórias de fornos, material coletado em despoeiradores, lamas geradas no tratamento de efluentes industriais contendo frações metálicas, emulsões de óleos lubrificantes e de corte, aparas e lotes de resinas fora de especificação, borras de plantas de separação de água/óleo na indústria petrolífera, borras de estações de tratamento de efluentes de plantas químicas e petroquímicas, aos quais se acrescenta os pneus usados;

c) as estratégias de reduzir ou não a geração desses resíduos ou a sua toxicidade, e também as estratégias de como dispô-los após o fato consumado de tê-los produzido, podem jogar a favor e contra, conforme o caso, para uma menor disseminação e uma maior neutralização dos materiais perigosos, em termos da diminuição da contaminação ambiental e humana, uma outra meta para a sustentabilidade.

Ora, esses materiais, pela lógica observada, (por exemplo, na região de Jundiaí, Campinas, Indaiatuba, Paulínia, SP, uma dessas regiões “exportadoras de resíduos”), têm poucas alternativas de destinação possíveis: ou ficam no próprio terreno das empresas geradoras desses resíduos, ou são destinados a aterros e valas, alguns clandestinos, ou são destinados à queima.

Entretanto, essa queima só pode ser realizada em condições especiais, nos incineradores licenciados, que são poucos no País e cobram caro, na faixa de mil dólares ou mais a tonelada processada, ou pode ser feita em condições adaptadas (em pequenas proporções, alguns por cento de resíduos, em relação a toda a vazão de combustível), e ainda em experimentação em fornos industriais, dentre eles os fornos rotativos de clínquer e de cal.

Havia, sim, precedentes para a absorção de resíduos pelas cimenteiras, mas para substituir ou complementar matérias-primas. Por exemplo, algumas cimenteiras próximas de usinas siderúrgicas, em Minas Gerais, no Rio de Janeiro e em São Paulo, podem compor sua carga com uma parte das escórias de base calcária, oriunda dos fundentes dos altos fornos; ou então, para aditivar a massa de clínquer com compostos inorgânicos e metálicos, no caso das cinzas de caldeiras de usinas termelétricas a carvão mineral, produzidas em grande quantidade no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina.

A novidade mesmo é a utilização de resíduos industriais como combustíveis complementares aos convencionais e aos resíduos de origem vegetal, e tem se mostrado como uma das mais controvertidas opções de destinação dos resíduos, embora, do ponto de vista da indústria cimenteira, ela passe a usufruir de uma condição inédita: ao invés de pagar por seu suprimento de combustíveis, ela passa a faturar com a “recepção de resíduos para co-processamento”.

Embora esses fornos apresentem características operacionais desejáveis para o processamento de resíduos (temperaturas elevadas, da ordem de 1.500°C, disponibilidade de oxigênio e turbulência), o fato é que a concepção tecnológica inicial proposta pelos fabricantes da geração atual de fornos baseia-se na utilização de combustíveis convencionais, e muitos resíduos estão bem longe disso, principalmente por causa da presença de metais pesados, de compostos organoclorados, com cadeias vinílicas ou aromáticas, e de compostos que se formam em estágios específicos da combustão ou do resfriamento dos gases, como as dioxinas e os furanos, que estão cada vez mais em evidência no panorama internacional.

Queimando-se resíduos de especificação variável e de comportamento ainda pouco conhecido quando submetidos ao processo de combustão, pode-se deduzir que haverá sempre algum problema com os materiais mais voláteis; que poderá ocorrer algum vazamento ou derramamento no manuseio e transporte e na estocagem dos resíduos; que poderá ocorrer problemas no funcionamento e na durabilidade dos queimadores de combustível, dos materiais de revestimento dos próprios fornos, do precipitador eletrostático e das chaminés; que haverá problemas com os produtos de combustão que saem pela chaminé; e, ainda, com as cracas internas dos fornos quando da sua parada de manutenção. Embora não se disponha de informações, é lícito admitir, também, que poderá haver problemas com as características de durabilidade do cimento produzido e com os efeitos dos seus componentes contaminantes.

Assim, se analisada como um processamento de materiais para neutralizar resíduos perigosos, quimicamente, a toxicidade desses materiais seria diminuída através das reações de oxidação que ocorrem, mas, fisicamente, os compostos resultantes vão se distribuir por três caminhos: uma parte será incorporada ao cimento, a outra parte equivale às retenções de materiais sólidos e de cinzas nos refratários dos fornos, e, enfim, a parte faltante será obrigatoriamente emitida através das chaminés, não previstas para isto, e sem equipamentos de controle de emissão específicos.

Na realidade, essa “alternativa energética”, co-queimar resíduos perigosos, passa a carregar um passivo não desprezível de custos ambientais e sociais, o que põe novamente a indústria do cimento, e junto com ela as indústrias geradoras desses tipos de resíduos, no alvo da dúvida quanto à sustentabilidade.

4. A Regionalização do suprimento de combustíveis

Apesar da grande variedade de resíduos processados - bagaço de cana, casca de arroz, casca de coco, resíduos de madeira, pneus, moinha de carvão vegetal, lenha, alcatrões, coque de petróleo, moinha de coque, rejeitos carbonosos, turfa etc, alguns se destacam, conforme a época e a região consideradas, pelas quantidades empregadas, que significam, às vezes, proporções importantes de outros combustíveis deslocados ou substituídos por esses resíduos.

Segundo MARCIANO Jr. (1997), que relacionou os tipos de resíduos, as quantidades utilizadas pelas fábricas de cimento brasileiras, e a economia de óleo combustível equivalente, num período de 20 anos (1976-95), cerca de 80 % da economia total de óleo combustível se deveu ao emprego de cinco deles: casca de arroz, moinha de carvão vegetal, resíduos de madeira, todos renováveis, e mais coque de petróleo e sucatas de pneus. Nesse período, foram processadas 1,76 milhões de toneladas de resíduos de todos os tipos, o que correspondeu a um deslocamento equivalente à 750 mil toneladas de óleo combustível [SANTI, 1997].

A análise realizada com base nesse resultado e nos dados publicados pelo SNIC [1985/95] comprova que muitos dos principais tipos de resíduos empregados são aqueles disponíveis nas regiões onde as fábricas de cimento estão instaladas, o que tem uma relação direta com a redução de gastos com frete.

Há, do ponto de vista territorial, uma configuração variável com alguns “eixos de coleta” de combustíveis, envolvendo as refinarias e os terminais de derivados de petróleo mais próximos, as zonas de carvoejamento, os arrozais, os pátios de estocagem e descarte dos guseiros e das siderúrgicas, ou ainda, eventualmente, os locais de extração mineral de carvão, ou de estoques de coque fabricado a partir de carvão mineral importado.

As quantidades a serem transportadas são ponderáveis: grandes cimenteiras, que produzem, por exemplo, dois milhões de toneladas anuais, devem ser supridas com mais de cento e cinquenta mil toneladas de óleo combustível, cujo poder calorífico está na faixa de 45,5 mil

kJ/kg. Se esse óleo combustível for substituído por um resíduo vegetal ou industrial, esses fornos consumiriam 250 mil ou 300 mil toneladas desses materiais.

Assim, não podem ser muito grandes as distâncias da última etapa de suprimento de resíduos, ou seja, o combustível na porta da fábrica não pode conter um custo de frete final elevado, como ilustram os exemplos regionais a seguir :

a) as fábricas de cimento instaladas no Rio Grande do Sul, Goiás e Triângulo Mineiro, regiões tradicionalmente produtoras de arroz, processaram 280 mil t, 104 mil t e 23 mil t de casca de arroz, respectivamente, chegando a substituir 30 % dos combustíveis precedentes; no período compreendido entre 1986 e 1995, esse montante de resíduos vegetais equivaleu a 144 mil toneladas de óleo combustível;

b) os finos de carvão vegetal, descartados pelos guseiros e siderúrgicas, cuja queima é hoje considerada um procedimento convencional na indústria de cimento, tem um raio de entrega local, mesmo quando o suprimento de carvão tenha um raio bem maior, de até 1.000 km. Por isso, mais de 60 % do consumo total de finos de carvão vegetal pela indústria cimenteira no País atende as fábricas de Minas Gerais, que queimaram cerca de 3,5 milhões de toneladas desse material entre 1986 e 1995;

c) algumas refinarias de petróleo no Centro-Sul passaram a processar cargas de óleo cru com grande proporção de frações pesadas (provenientes da Venezuela e da Bacia de Campos, RJ), e, para aliviar os excedentes de óleo combustível resultantes do refino dessas cargas ultra-viscosas, foram sendo montadas unidades de coqueamento desses resíduos na Refinaria Presidente Bernardes, em Cubatão, na REGAP, em Betim, MG, e recentemente na REPLAN, em Paulínia, SP.

d) é destas fábricas de coque de petróleo que vem o suprimento, por exemplo, das fábricas de cimento próximas da capital paulista, a Santa Rita, em Salto e em Itapevi, e a Votorantim, na região de Sorocaba: as três queimaram mais de 110 mil toneladas de coque de petróleo desde 1987. Em 1995 passaram a empregar coque de petróleo: a Holdercim – CIMINAS, MG, que processou 19.400 t; a Itaú, MG, que processou 21.300 t, e a Holdercim - Paraíso, RJ, que processou outras 5.200 t [SNIC, 1985/98].

5. Alterações ambientais e riscos associados ao emprego de combustíveis convencionais e resíduos perigosos em fornos rotativos de clínquer

A indústria de cimento é conhecida por seu elevado potencial poluidor associado às emissões de material particulado e de compostos gasosos como o dióxido de enxofre e os óxidos de nitrogênio. Os níveis e as características das emissões dos poluentes atmosféricos primários depende das características tecnológicas e operacionais do processo industrial, em especial, dos fornos rotativos de clínquer, da composição química e mineralógica das matérias-primas, e da composição química dos combustíveis empregados

Quadro Sinótico 1 – Potencial de poluição do ar devido à queima de combustíveis de origem fóssil e de origem vegetal

MECANISMOS DE POLUIÇÃO DO AR	POTENCIAL DE EMISSÃO DE POLUENTES DO AR I . <i>Combustíveis convencionais especificados de origem fóssil, exceto resíduos de fabricação química, de fluidos lubrificantes e de corte e borras de tratamento de efluentes</i> II. <i>Combustíveis convencionais de origem renovável, vegetal: carvão vegetal, lenha, cascas, palhas, cocos, bagaço, exceto lixívia e licor negro da extração da celulose</i>
1. Vazamento, emanções, incêndio e explosão nos estoques e linhas de suprimento	Determinado pelos riscos intrínsecos aos combustíveis fósseis (I) e carvão vegetal, inclusive os riscos de incêndio no transporte de carvão vegetal (granulado e moinha) e de coque de petróleo; Emanções de gás metano na mineração de carvão; Emanções de gás sulfídrico no circuito de produção, transporte e refino do petróleo.
2. Emissão de material particulado	Determinado pela relação ar/combustível para combustíveis dos tipos (I) e (II); Maior emissão associada ao carvão mineral, óleos pesados, lenhas e resíduos vegetais; Emissão muito baixa associada ao gás natural.
3. Emissão de óxidos de enxofre	Determinado pelo teor de enxofre do combustível: significativo no carvão mineral; baixo no gás associado ao petróleo; eventual na lenha e derivados. Emissão de SO ₂ nas plantas de clínquer minimizadas pela reação desse gás com óxidos alcalinos presentes na corrente de matérias-primas, com formação de sulfatos.
4. Emissão de óxidos de nitrogênio	Determinado pelas condições de queima - temperatura de chama, excesso de ar, tempo de retenção do N ₂ na zona de temperaturas altas - e projeto do queimador; formação do "NO térmico"; e pelo teor de nitrogênio no combustível; formação do "NO do combustível"; Potencial de emissão semelhante para combustíveis dos tipos (I) e (II).
5. Emissão de produtos de combustão incompleta (principalmente hidrocarbonetos)	Determinado pela relação ar/combustível, temperatura, tempo de residência e turbulência na câmara de combustão; Maior emissão associada ao carvão mineral, óleos pesados, lenhas e resíduos vegetais; Emissão de alcatrão na destilação da lenha e resíduos vegetais.
6. Emissão de metais pesados e seus compostos	Determinado pelo teor de elementos traços de alta toxicidade (Hg, Pb, Cr, Zn, Tl, Ni, V, Cd etc) nos combustíveis e pelas características do processo de combustão; Teores significativos no carvão mineral, vários tipos de petróleo e seus derivados (em função da especificação do produto no mercado); Maior proporção retida nas cinzas (clínquer); Emissão do metal e seus compostos na forma de vapor ou adsorvidos no material particulado.

Além dos constituintes principais – CaO , SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 –, os minérios empregados como matérias-primas do cimento são constituídos por uma série de outros minerais secundários como haletos, sulfetos e álcalis, e por elementos-traço, em pequenas concentrações, como chumbo, zinco, tálio, cádmio, cromo, níquel e arsênio. Esses materiais, que não interferem muito nas demandas de energia térmica do processo, podem interferir de modo significativo na operação dos equipamentos devido aos ciclos químicos que formam na rota de fabricação, entre o sistema de pré-aquecimento e a zona de clínquerização do forno.

Os compostos formados e depois emitidos pelas chaminés com os demais gases e material particulado não retidos pelos equipamentos de controle da emissão de poluentes podem provocar sérias alterações no meio ambiente próximo à fábrica, e impactos negativos nas populações ali presentes, devido a sua toxicidade e seus efeitos cumulativos, insidiosos, levando as pessoas expostas ao risco de adoecimento.

Se se considera a introdução da queima de resíduos industriais, esses mesmos tipos de compostos químicos, e vários outros contidos nos resíduos, também influirão na cadeia de reações intermediárias que ocorrem no forno de clínquer, formando outros compostos, que aumentarão o potencial tóxico usual dos efluentes atmosféricos dos fornos.

O material particulado, considerado o principal poluente das fábricas de cimento, desempenha um papel especial: quando lançado para o meio ambiente, serve de veículo para a emissão de substâncias tóxicas, uma vez que em sua superfície podem ser condensados compostos de metais pesados como chumbo, mercúrio, cádmio e tálio, bem como compostos orgânicos formados e volatilizados durante o processo de produção de clínquer. A respeito, um estudo recente realizado pelo órgão ambiental americano, a Environmental Protection Agency, mostra que dibenzo-p-dioxinas (PCDD) e dibenzofuranos (PCDF) podem ser emitidos para a atmosfera a partir de plantas de fabricação de cimento.

Esses compostos, de elevada toxicidade para o ser humano, são formados dentro dos próprios equipamentos de controle de emissão de material particulado, que operam com fluxos gasosos provenientes do forno de clínquer em fase de resfriamento, mas ainda em temperaturas superiores à 150°C [USEPA, 1998].

Os fornos de clínquer operam de maneira relativamente uniforme, com ou sem o emprego de resíduos como combustíveis complementares, mas os níveis de emissão de dioxinas e furanos, expressos em TEQ (toxicidade equivalente em relação aos compostos 2,3,7,8, PCDD/PCDF) são muito diferentes: 24,34 ng TEQ por kg de clínquer produzido, quando resíduos são processados, o que multiplica por 80 vezes o nível emitido, de 0,29 ng TEQ por kg de clínquer, quando o clínquer é produzido sem o emprego de resíduos.

Tais fatos, além dos riscos conjuntos do suprimento de resíduos (**Quadro Sinótico 2**), evidenciam a necessidade de se considerar o processo de produção de cimento para além dos limites das fábricas, pois o risco de exposição de pessoas às substâncias tóxicas aumenta com o emprego de resíduos.”

Quadro Sinótico 2: Riscos da produção de cimento com processamento de resíduos

RISCO POTENCIAL	CENÁRIO PROVÁVEL
Transporte de resíduo: acidente com vazamento ou derramamento de substâncias tóxicas	Contaminação do solo, de corpos d'água e poluição do ar; intoxicação da população vizinha; danos à fauna e flora
Manuseio de resíduos: derramamento ou contato acidental	Exposição dos trabalhadores, com intoxicação aguda; desenvolvimento de doença ocupacional
Estocagem de resíduos: vazamento ou derramamento	Intoxicação de pessoas; incêndio (no caso de resíduo inflamável); contaminação do solo e do lençol freático
Identificação incorreta dos resíduos: acidentes em decorrência de operação com material desconhecido	Explosão devido à incompatibilidade de materiais; intoxicação de pessoas; poluição atmosférica
Moagem de resíduos	Emissão de compostos orgânicos voláteis perigosos; explosão; corrosão de equipamentos
Alimentação de resíduos: derramamento ou contato acidental; explosão	Exposição de trabalhadores à substâncias tóxicas; incêndio
Poluição atmosférica: emissão de substâncias poluentes tóxicas pelas chaminés da planta	Comprometimento da saúde pública; danos à flora e fauna; poluição de águas superficiais
Alteração na qualidade do cimento pela incorporação da fração inorgânica dos resíduos	Exposição dos trabalhadores da construção civil aos componentes tóxicos; desenvolvimento de doenças ocupacionais
Acúmulo de resíduos em pontos da planta industrial	Exposição de trabalhadores à substâncias tóxicas em operações de manutenção; desenvolvimento de doenças ocupacionais

6. Algumas correlações entre o processamento de resíduos e de combustíveis contendo contaminantes, e os agravos à saúde coletiva

1^a Casos de intoxicação aguda e impregnação cutânea em motoristas das empresas transportadoras de resíduos químicos destinados às fábricas de cimento instaladas no município de Cantagalo, RJ, foram constatados pela população residente nas proximidades das fábricas e encaminhados à Vigilância Sanitária daquele município e às ONGs Greenpeace e Defensores da Terra.

Também foram identificados pelo Serviço de Saúde local, casos de intoxicação de motoristas por resíduos químicos, e o aparecimento de sintomas de intoxicação, como irritação na pele e nos olhos, vômito e diarreia nos empregados das fábricas de cimento. Os estudos realizados pelo Centro de Estudos de Saúde do Trabalhador e Ecologia Humana/FIOCRUZ e pela SES-RJ/Programa de Saúde do Trabalhador avaliaram o processo industrial de processamento de resíduos em fornos das fábricas de cimento instaladas em Cantagalo “*como sendo de altíssima gravidade para a saúde dos trabalhadores e para o meio ambiente do município*” [MATTOS & RIBEIRO, 1997].

De acordo com PINTO Jr., citado nesse estudo, há muita dificuldade de ser construído o nexo de causalidade, ou seja, de estabelecer como causa da ocorrência de determinadas doenças nos trabalhadores e na população o processamento de resíduos perigosos em fornos de clínquer. Isso, porque a diversidade de resíduos e a mistura de resíduos como lodos de ETE, borras oleosas, borras de tinta e tantos outros, com concentrações e composição química diferentes, impede a definição de um padrão de toxicidade.

2^a Já outro estudo médico, realizado por DUARTE & MENDES (1997) sobre o perfil de doenças do trato respiratório inferior constatou que, dentre 1.780 crianças residentes no município de Pedro Leopoldo, MG, onde estão instaladas duas fábricas de cimento, praticamente na área urbana, a bronquite foi o diagnóstico mais freqüente no ano de 1996, aparecendo em 81,6% dos casos diagnosticados incluídos na amostra, seguida da asma, com 10,0 % dos casos registrados.

O que dá entender que o estabelecimento do nexo é menos difícil quando se analisa, no geral, os efeitos da poluição atmosférica usual, incluindo os efeitos da queima de resíduos e das poeiras da mineração sobre as condições respiratórias da população que vive na área de influência imediata de uma dada fábrica de cimento.

3^a Um caso similar, que ocorreu durante a fabricação de cal possivelmente com utilização de resíduos ou aditivos contendo organoclorados, foi destacado pela mídia no mês de junho de 1999 devido à disseminação de dioxinas nas várias etapas da cadeia de produção, atingindo-se a alimentação humana.

Autoridades alemãs descobriram, em 1998, níveis alarmantes de contaminação do leite e da manteiga com dioxina. Pesquisas identificaram que a fonte de contaminação desses produtos estava na ração diária do gado: o farelo de polpa cítrica utilizado na fabricação da ração continha concentrações de dioxina de dez a doze vezes superiores ao máximo permitido pelas autoridades sanitárias européias.

Devido à constatação, a Comunidade Européia proibiu a importação do farelo de polpa cítrica brasileiro em abril de 1998, mas no ano anterior já haviam sido expedidas pelo Porto de Santos mais de 1,3 milhão de toneladas do insumo.

Nova investigação permitiu identificar a causa da contaminação do farelo: a cal utilizada para neutralizar a polpa cítrica estava contaminada com dioxina, o mesmo produto encontrado na ração animal belga, o que levou à proibição do consumo, por parte das autoridades sanitárias européias, de cerca de 1.100 produtos belgas de origem animal; e a indústria produtora da cal contaminada: a Solvay, uma multinacional belga, instalada no município de Rio Grande da Serra, Região do ABC Paulista [FOLHA DE SÃO PAULO, 1999].

Ainda neste 3^o caso, há provas de uma das rotas de contaminação, mas, não se sabe, por exemplo, se a cal contaminada com dioxina fabricada pela Solvay, foi ou não vendida para indústrias que produzem ração animal no Brasil, o que, se ocorrido, expõe a população brasileira aos riscos do consumo de alimentos contaminados.

4^a Um outro caso, bem menos conhecido, foi a contaminação mercurial de dois tipos de óleo cru (procedências Marib, do Oriente Médio, e Santa Cruz, argentino) e um tipo de condensado de gás associado (LGN, procedência Argélia) processados, no período 1994 – 1997, pela REFAP, em Canoas, RS. O teor de contaminação das matérias- primas chegou à 1.500 - 3.800 µg Hg/ kg de petróleo, nos resíduos pastosos dos vasos de carga, o teor atingiu 650.000 µg Hg/ kg, e no efluente líquido lançado no arroio Sapucaia, o teor foi cinco vezes superior ao limite de 9 µg Hg/ litro de efluente permitido pela legislação ambiental. (cf. documentação da Ass.Leg.RS-Comissão de Saúde, 1996, e do MPE-RS).

A contaminação passou também para os combustíveis residuais (óleo combustível e gás combustível) queimados em fornos e caldeiras da própria REFAP, e, provavelmente para os combustíveis vendidos pela refinaria em todo aquele período, inclusive para os fornos de cimento daquela região.

.....

Os processos e tendências aqui analisados são, no mínimo preocupantes, e cabem indagações de interesse científico para os estudiosos da Energia e do Meio Ambiente, e também, de interesse público: Estariam sendo preteridos, desprezados, os resíduos de origem renovável, já experimentados, e com possibilidade de suprimento regular em várias regiões? Estariam os contaminantes oriundos de indústrias e contidos em combustíveis de má qualidade se disseminando pelas regiões cimenteiras brasileiras? Estariam sendo devidamente controlados, mensurados e monitorados os riscos associados ao emprego de resíduos pelos organismos ambientais e de saúde?

O estudo apresentado espera assim contribuir para a difusão desses informes e dessas indagações no meio profissional, e colaborar para que novas pesquisas similares sejam feitas, na tentativa de se encontrar vias menos insustentáveis para esta atividade tão fundamental que é a fabricação de cimento, e também equacionar, em termos de saúde e de qualidade ambiental, a questão dos insumos energéticos renováveis e não renováveis, e o enorme problema de destinação dos resíduos industriais perigosos.

Auxiliadora M.M.SANTI e A. Oswaldo SEVÁ Fo. , 01dez1999, R.J

Referências Bibliográficas

- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Balanço Energético Nacional – BEN 1996 [Ano Base 1995]. Brasília: Departamento Nacional de Desenvolvimento Energético. 1996. 150p.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Balanço Energético Nacional – BEN 1998 [Ano Base 1997]. Brasília: Departamento Nacional de Desenvolvimento Energético. 1998. 152p.
- DUARTE, A. A. & MENDES, R. O.. Perfil de Doenças do Trato Respiratório Inferior com Possível Etiologia Alérgica em Crianças Atendidas na Rede Ambulatorial da Secretaria Municipal de Saúde de Pedro Leopoldo no Ano de 1996. Monografia. Belo Horizonte. Fundação Ezequiel Dias. Escola de Saúde de Minas Gerais. 1997. 53 p.
- FOLHA DE SÃO PAULO, 19/06/99. Cotidiano. *São Paulo tem maior depósito de cal contaminada*. p.3. São Paulo.
- MARCIANO JR., E. & KIHARA, Y.. Looking green. *World Cement*. Apr. 1997. p: 82-88.
- MATTOS, U. A. O. & RIBEIRO, F. S. N.. Co-processamento de resíduos químicos e o impacto na saúde do trabalhador e no meio ambiente: o caso da indústria de cimento de Cantagalo, RJ. In: XVIII ENEGEP, 1997. Anais ... Gramado: ABEPRO/ UFRGS, sp.
- SEVÁ Fº, A. O. & PALITOT, S. P.. Processo de Trabalho, Risco Industrial e Crise. Os trabalhadores e a sustentação da produção cimenteira. In: V ENEGEP – Congresso Nacional de Engenharia da Produção. 1985. Anais ... Florianópolis: ABEPRO. p: 591-618.
- SANTI, A. M. M. & NEBRA, S. A.. Fornos de cimento: incineração de resíduos ou queima de combustíveis alternativos? In: VII Congresso Brasileiro de Energia, 1996. Anais ... Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ. p: 645-57.
- SANTI, A. M. M.. O Emprego de Resíduos como Combustíveis Complementares na Produção de Cimento na Perspectiva da Energia, da Sociedade e do Meio Ambiente. Estudo de caso: Minas Gerais no período 1980 – 1997. Campinas, SP: [s.p.]. Tese (mestrado). Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. 1997. 157 p.
- SANTI, A. M. M. & SEVÁ Fº, A. O.. Análise do emprego de resíduos como combustíveis complementares em indústrias de cimento no Sudeste do Brasil: Anos 1980-1990. In: III Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, 1998. Anais[cd-rom]... São Paulo. p: 1-7.
- SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE CIMENTO [SNIC]. Revista do SNIC. Relatórios Anuais. Rio de Janeiro: SNIC. 1980 -1998.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY [USEPA]. The Inventory of Sources of Dioxin in the United States. EPA/600/P-98/002-Aa. Washington DC: Office of Research and Development. Apr. 1998. sp.
-