

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA  
COORDENAÇÃO GERAL DE GRADUAÇÃO  
WILLIAN DINIZ LEMOS**

**IMPACTOS DO COPROCESSAMENTO DE RESÍDUOS EM UM FORNO DE  
CLINQUER**

**FORMIGA  
2009**

**WILLIAN DINIZ LEMOS**

**IMPACTOS DO COPROCESSAMENTO DE RESÍDUOS EM UM FORNO DE  
CLINQUER**

**Monografia apresentada como exigência  
parcial, para obtenção do grau no curso  
de Engenharia de Produção do Unifor -  
MG, sob a orientação da Profa. Luciana  
Castanheira**

**FORMIGA  
2009**

*“Embora ninguém possa voltar atrás e fazer um novo começo  
qualquer um pode começar agora e fazer um novo fim”  
(Chico Xavier)*

*Dedico esta monografia especialmente aos meus pais pelo incentivo, aos meus filhos que renunciaram a muitos momentos para que este sonho se concretizasse, aos amigos e irmãos que apoiaram durante toda a árdua caminhada e ao nosso Deus que em tudo me capacitou. Deus seja eternamente louvado pela graça da maravilhosa família que eu tenho.*

*Agradeço primeiro à Deus, que me deu a vida, a sabedoria, a graça e cuja maravilhosa presença e proteção me permitiu atingir mais uma meta em minha caminhada. Agradeço aos meus pais, que sempre me incentivaram e acreditaram muito em minha capacidade. Agradeço a meus amados filhos que respeitaram e entenderam minha ausência sempre com sorrisos, carinhos e total apoio a minha empreitada. Agradeço também aos meus amigos de sala de aula, que se tornaram quase uma extensão de minha família nestes quatro anos de jornada. Que Deus seja eternamente louvado por tudo o que está me acontecendo, e por ainda me dar a graça de concluir este curso.*

## SUMÁRIO

RESUMO .....	11
<b>1 INTRODUÇÃO</b>	
1.1 Contextualização da empresa .....	13
1.2 Apresentação do trabalho.....	14
1.3 Objetivos .....	15
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b>	
2.1 Cimento e a indústria cimenteira .....	16
2.2 Clínquer.....	17
2.3 Coprocessamento .....	18
2.4 Importância do coprocessamento .....	18
<b>3 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE CIMENTO</b>	
3.1 Definição.....	21
3.2 Tipos de cimento.....	22
3.3 Fabricação de Cimento .....	24
3.3.1 Mineração.....	24
3.3.2 Moagem de Cru.....	29
3.3.3 Clinquerização .....	33
3.3.4 Moagem de Cimento .....	36
<b>4 RESIDUOS</b>	
4.1 Definição.....	39
4.2 Resíduos que podem ser coprocessados .....	39
4.3 Processo de Coprocessamento .....	42
4.4 Vantagens do Coprocessamento .....	42
<b>5 ESTUDO DE CASO</b>	
5.1 Coprocessamento na Lafarge em Arcos.....	48
5.2 Simulação do Blend.....	56
5.3 Resultados obtidos .....	57
5.4 Discussão dos resultados .....	59
<b>6 CONCLUSÃO E SUGESTÃO</b> .....	60
<b>7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	61
<b>8 ANEXOS</b> .....	62

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Nomenclatura usual de Cimento Portland.....	23
Figura 2	Vista de uma mina .....	25
Figura 3	Vista de uma instalação de britagem .....	26
Figura 4	Extração e armazenamento de matérias-primas .....	26
Figura 5	Retomadora e empilhamento.....	27
Figura 6	Modelo de pré-homogeneização <i>Chevron</i> .....	27
Figura 7	Retomadora.....	28
Figura 8	Método de homogeneização <i>Windrow</i> .....	28
Figura 9	Formação da pilha de argila.....	29
Figura 10	Retomadora de argila tipo alcatruz .....	29
Figura 11	Silo e balança dosadora .....	30
Figura 12	Moinho de bolas com três compartimentos .....	31
Figura 13	Moinho Vertical .....	32
Figura 14	Fluxograma de alimentação do forno.....	33
Figura 15	Sistema de estocagem e retomadora de coque .....	34
Figura 16	Vista externa de um forno de clínquer.....	34
Figura 17	Vista interna de um resfriador tipo grelha .....	35
Figura 18	Transporte de clínquer .....	35
Figura 19	Silo de armazenamento de clínquer .....	36
Figura 20	Vista interna de um moinho de cimento .....	37
Figura 21	Ensacadeira modelo <i>Haver</i> .....	37
Figura 22	Transporte de sacarias de cimento.....	38
Figura 23	Fluxograma da fabricação de cimento .....	38
Figura 24	Consumo mundial de energia.....	44
Figura 25	Galpão de resíduos para coprocessamento .....	48
Figura 26	Pilha de estocagem de coque de Petróleo .....	49
Figura 27	Baias de estocagem de combustível e <i>blend</i> .....	49
Figura 28	Baias de <i>blend</i> e MPA .....	50
Figura 29	Estoque de chip de pneu .....	50
Figura 30	Área de mistura de combustíveis.....	50
Figura 31	Injeção de combustíveis no forno .....	51

<b>Figura 32</b>	<b>Injeção de combustível na torre de ciclones.....</b>	<b>51</b>
<b>Figura 33</b>	<b>Moagem de combustíveis.....</b>	<b>51</b>
<b>Figura 34</b>	<b>Dosador tipo <i>coriolis</i> .....</b>	<b>51</b>
<b>Figura 35</b>	<b>Balança dosadora de <i>blend</i> .....</b>	<b>51</b>
<b>Figura 36</b>	<b>Tela de operação do forno .....</b>	<b>52</b>
<b>Figura 37</b>	<b>Caracterização de resíduo em laboratório interno .....</b>	<b>53</b>
<b>Figura 38</b>	<b>Caracterização de resíduo em laboratório interno.....</b>	<b>54</b>



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Composição provável dos tipos de cimento.....	23
Quadro 2	Cimento e suas aplicações.....	24
Quadro 3	Fontes de emissões atmosféricas.....	47
Quadro 4	Análise química do resíduo.....	54
Quadro 5	Análise elementar da farinha .....	55
Quadro 6	Análise elementar do clínquer .....	56
Quadro 7	Simulação de resíduos.....	57
Quadro 8	Mix de combustível sem utilização de <i>blend</i> .....	58
Quadro 9	Mix de combustível com utilização de <i>blend</i> .....	58

## LISTA DE ABREVIATURAS

*ABCP = Associação Brasileira de Cimento Portland*

*Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = óxido aluminoso*

*CaO = Óxido de Cálcio.*

*CaCO<sub>3</sub> = Carbonato de Cálcio*

*CO = Monóxido de carbono*

*CONAMA = Conselho Nacional de Meio Ambiente*

*COMINCI = Companhia de Mineração e Cimento*

*EDR = Eficiência de remoção e destruição*

*FEAM = Fundação Estadual do Meio Ambiente*

*Kcal = kilo caloria*

*Kg = kilograma*

*MgO = Óxido de magnésio*

*MPA = Matéria prima alternativa*

*Nm<sup>3</sup> = Normal metro cúbico*

*NO<sub>2</sub> = Dióxido de nitrogênio*

*PCI = Poder calorífico inferior*

*PCS = Poder calorífico superior*

*PCOP's = Principais compostos orgânicos perigosos*

*°C = Graus Celsius*

*SiO<sub>2</sub> = Óxido de Silício*

*SO<sub>x</sub> = Óxido(x) de enxofre*

*SO<sub>3</sub> = trióxido de enxofre*

*t/h = tonelada/hora*

## RESUMO

O presente trabalho trata do processo de utilização de resíduos industriais em fornos de clínquer seja como substituição de matéria prima ou de combustível. Esta técnica é denominada coprocessamento e está em constante crescimento porque, desde que aplicada de forma ecologicamente correta e responsável, permite a destruição de passivos ambientais, redução de custos para a obtenção do cimento e desenvolvimento de outras indústrias. Este trabalho tem como objetivo demonstrar que a técnica de coprocessamento é importante para o desenvolvimento da sustentabilidade do planeta. Será apresentado um caso real de aplicação de coprocessamento para diferentes tipos de resíduos industriais. Como contribuição para as futuras gerações recomenda-se o constante estudo de resíduos e desenvolvimento de técnicas de blendagem para sua destruição ecologicamente correta.

**Palavras chaves: resíduos, coprocessamento, indústria, *blendagem*, destruição**

## **ABSTRACT**

This work deals with the process of using industrial residues in clinker kilns as raw material or as fuel. This technique is called coprocessor and is constantly growing, because since it's applied in ecologically correct and responsible manners, it permits the destruction of environmental liabilities, reduction of costs for obtaining cement and the development of other industries. This work aims to demonstrate that the technique of coprocessor is important for the development of the sustainability of the planet. It will be presented a real case of applying different types of coprocessors for industrial residues. As a contribution to future generations it is recommended the constant study of residues and development of blending for their ecologically correct destruction.

**Key word: residues, coprocessor, industry, blending, destruction**

## **1 INTRODUÇÃO**

O presente trabalho trata os impactos do coprocessamento em um forno de clínquer. O aumento da concorrência obriga as empresas a se especializarem cada vez mais em busca de alternativas que possibilitem reduzir os gastos na geração da energia térmica. O maior custo da produção de clínquer se deve primeiro a geração de energia térmica e em segundo plano a energia elétrica. Os cuidados ambientais, a consciência ecológica e o aprimoramento da legislação forçam a cada dia que produtores apresentem destinação aos resíduos provenientes de sua cadeia produtiva.

### **1.1 Contextualização da empresa**

O presente trabalho foi desenvolvido em parceria com LAFARGE BRASIL S/A, que atua no ramo cimenteiro, utilizando a técnica de coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer, co-processando pneus inservíveis, desde 2003; sendo licenciada para utilização de combustível alternativo sólido, em 2006. A Lafarge está localizada na região Sudeste, estrategicamente em Minas Gerais, na cidade de Arcos, centro-oeste do Estado, devido à grande facilidade de sua principal matéria-prima, o calcário.

Trate-se de uma multinacional em sociedade anônima que, até 2004, possuía 245 mil acionistas em todo o mundo, com sede em Lion, na França.

Está presente em 75 países, com 77.000 funcionários, tendo em seu portfólio de negócios a produção e comercialização de cimento Portland. A Lafarge é líder mundial em materiais de construção no mundo, especialmente em cimento.

A sua história foi iniciada, em 1833, por Le Teil, na Vila do Sul, na França, em sua pequena fábrica de cal, onde a família Lafarge já se dedicava a fomentar os conceitos empresariais, que se tornariam padrão, no século seguinte: priorizar a qualidade de seu produto como foco principal em todo o processo de produção.

Décadas foram necessárias para que o alto desempenho do produto de Le Teil chegasse a ser conhecido fora da França, de onde a marca Lafarge se expandiu em busca de novos nichos de mercado. Aquisições estratégicas, na França e em todo mundo, permitiram que, em meados do século XX, a Lafarge passasse a ocupar uma posição de liderança no mercado mundial.

No Brasil, contam-se seis unidades, sendo quatro em Minas Gerais, uma em São Paulo e outra no Rio de Janeiro. O início das atividades, no país, foi no dia 17 de dezembro de 1959, por meio da Cia. de Mineração de Cimento (COMINCI), em Matozinhos (MG).

Recentemente, em setembro de 2006, adquiriu-se a cimento Davi S.A., unidade de Santa Luzia, em Minas Gerais, que detinha 0,67% de fatia de mercado.

O grupo no Brasil atua somente no Sudeste, ocupa o 6º lugar na posição nacional em cimentos, agregados e concretos. Detém 7% do mercado nacional tendo como principais concorrentes no mercado cimenteiro:

- Grupo Votorantin, que detém 40% do mercado;
- Grupo João Santos com 13%;
- Cimento *Cimpor* com 10%;
- Grupo *Holcim* com 8,5%;
- Empresas Camargo Correia com 8,0%;

No âmbito mundial, é a primeira em cimento e telhas e segunda em concreto, agregados e gesso (placas). Torna-se, assim, um mercado sólido onde atua, tendo como filosofia intrínseca - respeitar crenças e valores de cada região presente.

No intuito de agilizar e facilitar os trabalhos para com os resíduos a serem coprocessados, a Lafarge Brasil efetuou *joint venture* com o grupo Cimpor (indústria portuguesa).

Estas duas maiores produtoras de cimento do mundo, em 2004, uniram-se no Brasil e geraram a Eco-Processa, que trabalha em linha de *staff* para os grupos Lafarge e Cimpor nas questões de resíduos no mercado brasileiro.

## **1.2 Apresentação do trabalho**

Primeiramente será feita uma apresentação sobre o desenvolvimento da indústria do cimento no Brasil e no mundo. Nesta etapa serão definidos os objetivos e apresentados os princípios da atividade de coprocessamento e suas definições. Também será apresentado o histórico da empresa onde o presente trabalho foi desenvolvido.

Realizado este passo, a próxima etapa do trabalho apresentará de forma sucinta o uma explanação sobre o cimento, definições de clínquer e coprocessamento bem como a importância deste para a indústria moderna. O terceiro capítulo relatará todo o processo de fabricação de cimento, inserindo algumas fotos no intuito de facilitar o entendimento das principais etapas do processo produtivo desde a matéria prima até a obtenção do cimento acabado.

O quarto capítulo tratará de definições de resíduos, sua classificação e aplicação (se como matéria prima ou energético) bem como elucidará os que podem ou não ser aproveitados na obtenção de clínquer.

Por meio de um estudo de caso, o quinto capítulo retratará um estudo de caso onde demonstrará a viabilidade econômica para a Lafarge Arcos, em função da utilização das técnicas de coprocessamento.

### **1.3 Objetivos**

O objetivo deste trabalho é desenvolver uma alternativa de gestão de recursos energéticos que possa ser usado como referencial básico para facilitar a operação de coprocessamento de resíduos industriais em fornos de clínquer. Como objetivos específicos pretende-se desenvolver uma metodologia aplicada à forma de operação de uma gestão de recursos energéticos que possibilite a redução de custos na geração de energia térmica em indústrias cimenteiras, oferecer uma forma prática para desenvolvimento da operação de coprocessamento através da utilização de resíduos industriais de forma ecologicamente correta, demonstrando os ganhos econômicos reais gerados na aplicação de combustíveis alternativos.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Cimento e Indústria Cimenteira

Segundo Battagini (2006) a palavra cimento é originada do latim *caementu*, que designava na velha Roma espécie de pedra natural de rochedos e não esquadrejada. A origem do cimento se deu a mais de 4.500 anos. As imponentes construções Greco romanas foram executadas com uso de solos formados por rochas vulcânicas da ilha grega de Santorino ou das proximidades da cidade italiana de *Pozzuoli*, que possuíam propriedades de endurecimento sob a ação da água.

O marco no desenvolvimento do cimento remonta o século XVIII pelo inglês *John Smeaton*, que pela primeira vez na história obteve um produto que endurecia em contacto com a água e apresentava alta resistência, sendo obtido através da calcinação de calcários macios que continham veios de material argiloso. Passados aproximados 60 anos, o francês *Vicat* obteve resultados semelhantes aos de *Smeaton*, pela mistura de componentes argilosos e calcários.

A diferença básica é que o primeiro calcinava apenas o calcário enquanto *Vicat* fazia dosagens de calcário e argila. Ele é considerado o inventor do cimento artificial. Contudo, em 1824, o construtor inglês *Joseph Aspdin* implementou além da calcinação a moagem deste material resultando em um fino pó que após a mistura com água e secagem apresentava resistências mecânicas tão altas quanto as apresentadas pelas rochas calcárias em seu estado natural. A esta mistura deu-se o nome de cimento *Portland*, por apresentar cor e propriedades de durabilidade e solidez semelhantes às rochas da ilha britânica de *Portland*.

No Brasil, a primeira tentativa em implementar uma indústria cimenteira ocorreu em 1888, por iniciativa do Comendador Antônio Proost Rodovalho que se empenhou em instalar uma fábrica em sua fazenda em Santo Antônio, Estado de São Paulo. Outras tentativas aconteceram, mas o produto continuava sendo importado.

Em 1924, tem-se registro da primeira indústria cimenteira nacional com a construção da Companhia Brasileira de Cimento *Portland* em Perus, Estado de São Paulo, considerada como o marco da implantação da indústria brasileira de cimento.



## 2.2 Clínquer

Clínquer é o nome dado ao produto proveniente da reação de clinquerização que ocorre a aproximadamente 1500°C através da fusão de calcário, argila e corretivos (minério de ferro, bauxita, areia, dentre outros). O forno é um equipamento rotativo feito de chapa de aço carbono e que tem seu interior revestido com material refratário.

Por não agredir o meio ambiente e trabalhar com um produto (clínquer) que não sofre alterações químicas, o forno de clínquer se apresenta como excelente alternativa para destinação de resíduos seja sólidos, líquidos ou pastosos. Os resíduos provenientes de outras indústrias ou empresas agridem o meio ambiente através da contaminação de nascentes de águas, solos, ar, chuva ácida etc., que podem inclusive comprometer o funcionamento dessas empresas geradoras, bem como comprometer a sobrevivência de gerações futuras.

Além disso, esta operação chamada de coprocessamento torna-se considerável fonte de receita para as cimenteiras.

## 2.3 Coprocessamento

Conforme relata Carpio (2005), a energia térmica é a mais onerosa forma de energia na obtenção do clínquer seguida da energia elétrica. Isto aliado à alta concorrência do mercado, avanço de tecnologias e necessidade de sobrevivência levou a indústria cimenteira a desenvolver técnicas para reduzir seus gastos com a produção. Frente a esta necessidade de redução de custos foi desenvolvido o segmento que hoje está em plena ascensão que é denominada por coprocessamento, cuja técnica se resume a captar e destruir resíduos industriais em fornos de clínquer como alternativa de substituição aos combustíveis de fontes não renováveis. Vejamos abaixo outras definições para o termo coprocessamento.

É a extinção dos resíduos industriais gerados de um processo produtivo que, dependendo de suas características, será utilizado como substituição energética e/ou substituição de matéria-prima no processo da produção de clínquer na fabricação de cimento, conforme a Resolução 264 (CONAMA, 1999).

Orth (2002) define que o coprocessamento é uma técnica de destruição, em fornos de clínquer, de resíduos industriais devidamente licenciados, que será utilizada como substituição energética e/ou substituição de matéria-prima.

Coprocessamento é uma atividade que valoriza os subprodutos de outros industriais como fonte de energia ou matéria-prima na produção de clínquer; sendo esta a mais simplória dentre várias definições lidas e observadas na documentação da *LAFARGE*( 2003).

Coprocessamento é uma técnica de destruição térmica, a altas temperaturas, de resíduos industriais, devidamente licenciados, em fornos de clínquer.

Esta queima é feita com utilização de aproveitamento do conteúdo energético e/ou da fração mineral; como matéria prima. Com importância altamente relevante, esta prática é sem a geração de novos resíduos, sendo esta definição ministrada em treinamento na *LAFARGE*, 2004.

De acordo com Ribeiro (2000), o coprocessamento em fornos de clínquerização é a utilização do processo de fabricação de cimento para destinação final de resíduos.

Isto significa que, numa fábrica de cimento, à medida que o cimento vai sendo produzido, os mais diversos tipos de resíduos industriais vão sendo reaproveitados, inertizados e /ou destruídos termicamente, em uma operação simultânea. Tem-se, portanto, a ocorrência de dois processos em um único.

É notório nas definições apresentadas que, mesmo com construção textuais diferenciada, ambas apresentam o mesmo propósito que são: substituição energética e reaproveitamento de matérias-primas com a utilização de resíduos industriais em fornos de clínquer.

Embora a atividade de coprocessamento date de início de atividades em 1970 em diversos países da união européia, no Brasil o marco da atividade aponta para 1991. Portanto pode-se afirmar que é uma atividade nova que tem muito a se desenvolver.

Segundo Ribeiro (2000), as diversas cimenteiras utilizam resíduos como insumos alternativos, obtendo uma economia equivalente a um milhão de toneladas de carvão anuais.

## **2.4 Importância do processo de coprocessamento**

O coprocessamento tem enorme participação para o meio ambiente bem como para a economia de combustíveis não renováveis e matéria prima. O coprocessamento proporciona o aproveitamento térmico do resíduo, evitando a queima desnecessária de combustíveis fósseis não-renováveis, além de dar uma destinação correta ao resíduo industrial.

Uma das formas para a minimização da poluição é a destruição dos resíduos fabricados pelas indústrias que geram mais de 3 milhões t/ano.

Muitas não tratam seus resíduos corretamente e degradam o meio ambiente. O coprocessamento é uma ótima alternativa para a minimização desse impacto.

De acordo com Ribeiro (2000), novas tecnologias para manuseio e disposição de resíduos são diariamente testadas, mas infelizmente o projeto e a construção de sistemas exclusivos para o tratamento e/ou disposição de resíduos perigosos são extremamente caros e nem sempre seguros ou definitivos. Como existem mais de 70 filiais de indústrias de cimento no mundo, é uma tecnologia já existente e, para as adaptações das cimenteiras ao processo de co-incineração não são necessários grandes investimentos e não são criadas novas fontes de emissão.

O resíduo com características compatíveis ao da matéria-prima do cimento entrará junto com o calcário e argila. Se o resíduo for utilizado como combustível ele será injetado no forno junto com óleo ou carvão pelo maçarico principal ou pelo calcinador, dependendo das características dos resíduos. Nos dois casos, ele será destruído pelas altas temperaturas do forno de cimento sem causar nenhum impacto ambiental, além de manter todas as qualidades do cimento.

Segundo Ribeiro (2000), o processo de fabricação de cimento é altamente consumidor de energia, sendo que os custos com energia representam de 20 a 25% do custo total da produção do cimento. Com isso, a utilização de resíduos, além de reduzir consideravelmente os custos, promoverá a substituição dos combustíveis fósseis não renováveis, aumentará a competitividade com os preços internacionais e manterá os níveis de produção e emprego.

Tomando como exemplo neste cenário de competitividade industrial e desenvolvimento sustentável, embora não seja a principal fonte de coprocessamento, apenas para reflexão vale observar o caso dos pneus inservíveis como fonte de energia térmica para as cimenteiras.

O Brasil produz cerca de 35 milhões de pneumáticos inservíveis por ano. Apesar do alto índice de recauchutagem no país, que prolonga a vida desses pneus em 40%, a maior parte deles acaba parando nos lixões, na beira de rios e estradas e até no quintal das casas, onde acumulam água, que atrai insetos transmissores de doenças.

No Rio de Janeiro, os pneumáticos inservíveis e artefatos de borracha em geral correspondem a 0,5% do lixo urbano. Em São Paulo, eles correspondem a aproximadamente 3%.

Esse descarte, feito de forma apropriada, pode ser reaproveitado, uma vez que o poder calorífico do pneu é cerca de 7.000 kcal/ kg e, utilizando-o em uma cimenteira, ele contribui para a diminuição do consumo de combustíveis não renováveis (como carvão, coque e óleo), poupando desta forma os recursos naturais.

### 3 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE CIMENTO

#### 3.1 Definição de cimento Portland

O cimento é um sólido, muito fino, resultante de uma mistura de clínquer e aditivos em proporções bem definidas que apresenta propriedades adesivas, cerâmico que, em contacto com a água, produz uma reação exotérmica de cristalização de produtos hidratados, ganhando assim, resistência mecânica (Taylor, 1992).

O clínquer é obtido através da transformação térmica em fornos rotativos e elevadas temperaturas, uma mistura denominada farinha ou cru, cujos principais componentes são um material carbonático ou calcário, normalmente, 80% de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), 15% de dióxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ) normalmente proveniente da argila ou areia, 3% de óxido de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) e, quantidades menores de outros constituintes como o ferro, o enxofre e outros. As instalações utilizadas para produção de clínquer, geralmente, baseiam-se na existência central de um forno rotativo cilíndrico colocado em posição horizontal, porém, com uma ligeira inclinação onde circulam os gases de aquecimento resultantes da queima de um combustível em contracorrente com a matéria-prima para produção do clínquer.

Além disso, o forno de clínquer sofre uma baixa rotação empurrando a matéria-prima que entra na parte mais elevada para a extremidade inferior, já na forma de clínquer. Já o combustível utilizado é fornecido e queimado na parte mais baixa e, em contracorrente com a matéria-prima até a extremidade oposta.

Os fornos de clínquer são revestidos com material refratário compatível com a massa fluida do clínquer, visando minimizar a perda de calor para o exterior, permitindo, assim, que a temperatura no interior do forno atinja temperaturas de até 2000 °C (Taylor, 1992).

Na empresa em questão a instalação consiste em um forno *Polysius* de 56 metros de comprimento e 3,80 metros de diâmetro. Os combustíveis utilizados são coque de petróleo (ou pet coque), moinha de carvão vegetal e *blend* (mistura de chip de pneu com outros resíduos que serão melhor definidos no quarto capítulo deste trabalho).

Outra boa definição é que o cimento é normalmente um aglomerante hidráulico que é constituído basicamente de compostos de cálcio, silício, alumínio e ferro, que misturado em água em proporções definidas, endurece tanto exposto ao ar como submerso em água. Apresenta como principal característica uma alta resistência mecânica (Gomides, 1996).

O cimento como produto final apresenta-se sob forma de diversas misturas que constituem os diversos tipos existentes, cada um com características específicas de aplicação.

Dos componentes do cimento, o principal é o clínquer Portland. É da composição química e cristalina do clínquer que surgem as propriedades aglomerantes e hidráulicas dos diferentes tipos de cimento (Forster, 1997).

Todo e qualquer tipo de cimento tem em sua composição a adição de gesso para controlar o seu processo de endurecimento, ou seja, define o tempo de pega. Caso contrário o cimento endureceria imediatamente ao ser misturado com água, impedindo que o profissional trabalhasse a massa para aplicação. Existem outros compostos que podem ser adicionados ao cimento, por exemplo, calcário puro, escória de alto forno, pozolanas, escórias etc. Estes componentes contribuem em geral para garantir algumas propriedades específicas de cada tipo de cimento (Gomides, 1996).

Abaixo estão representadas as principais etapas (macro) na obtenção do cimento:

Calcário ( $\text{CaCO}_3$ ) + Argila (corretivo)----- moagem -----> Farinha.

Farinha-----> pré-aquecimento -----> CaO + Argilas.

CaO + Argilas -----> aquecimento -----> clínquer.

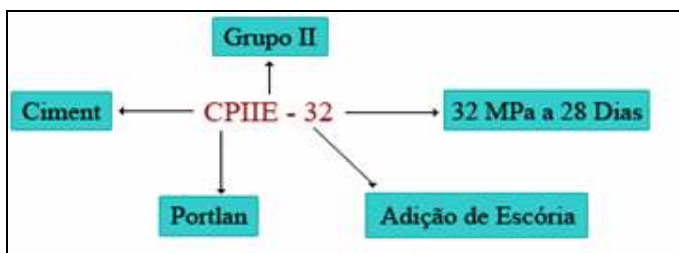
Clínquer + Gesso + Aditivo -----> moagem -----> Cimento.

### 3.2 Tipos de cimento *Portland*

A classificação do tipo de cimento se dá em função de sua composição química e esta é previamente definida em função da aplicação a qual o cimento será destinado. Os principais tipos de cimento fabricados no Brasil são:

- *CPIS – 32 ;*
- *CPIIF – 32 ;*
- *CPIIZ – 32 ;*
- *CPIV – 32 ;*
- *CPV – ARI ;*
- *CPIIE – 32 ;*
- *CPIII – 32/40.*

Veja agora o que significa cada uma das letras acima. De acordo com Forster (1997) a Fig.1 mostra o significado da nomenclatura usual usada atualmente:



**Figura 1-** Nomenclatura usual de Cimento Portland.  
**Fonte:** VOTORANTIN CIMENTOS, 2000.

O grupo depende do tipo de adição utilizada no cimento. O Quadro 1 apresenta a composição provável dos tipos de cimento :

**Quadro 1 –** Composição provável dos tipos de cimento

Tipos de Cimento	% dos Materiais Utilizados			
	Clínquer + CaSO <sub>4</sub>	Escória Granulada	Material Pozolânico	CaCO <sub>3</sub>
CPIS - 32	99 - 95		1 - 5	
CPV - ARI	100 - 95	-	-	0 - 5
CPIV - 32	85 - 45	-	15 - 50	0 - 5
CPIIF - 32	94 - 90	-	-	6 - 10
CPIIE - 32	94 - 56	6 - 34	-	0 - 10
CPIII - 32	65 - 25	35 - 70	-	0 - 5
CPIIZ - 32	94 - 76	-	6 - 14	0 - 10

**Fonte:** Forster, 1997, p.1.

Os cimentos identificados acima como CPV – ARI e CPIV – 32, são destinados ao segmento técnico e apresentam como derivados os cimentos CPV – ARI RS e CPIV – 32 RS onde RS significa “resistente a sulfatos”. São especialmente destinadas a aplicação em regiões litorâneas ou construções de barragens, onde há uma grande exposição à maresia e umidade, e também em sapatas para edifícios em locais com presença de grande umidade.

De acordo com suas características, cada tipo de cimento apresenta aplicações específicas. O Quadro 2 mostra algumas aplicações e o tipo de cimento mais indicado para cada aplicação :

**Quadro 2 - Cimento e suas aplicações**

<b>Aplicações</b>	<b>Característica</b>	<b>CPIS</b>	<b>CPIIF</b>	<b>CPIIE</b>	<b>CPIIZ</b>	<b>CPIII</b>	<b>CPIV</b>	<b>CPV-ARI</b>
Fundações	Res. meio agressivo			X	X			
Estrutura	Desforma curto prazo	X						X
Assentamento	Aderência/Plasticid.							X
Artefatos	Res. curto prazo	X						X
Tubos Concreto	Res. meio agressivo					X	X	
Concreto Protend.	Alta resistência inicial	X						X
Obras Marítimas	Res. cloret. e sulfatos					X	X	
Barragens	Baixo calor de hidrat.					X	X	
Argamas. Armada	-		X					
Concreto Projetad.	Aderência		X					

**Fonte:** VOTORANTIM CIMENTOS, 2000.

### 3.3 Fabricação de cimento

De acordo com Gomides (1996), o processo de fabricação de cimento é um processo físico-químico de transformação de minerais naturais como calcário, argila, minério de ferro e areia em uma mistura de minerais sintéticos que possuem a capacidade de reagir com a água e desenvolver propriedades de resistência à compressão.

Para um melhor entendimento do processo, pode-se dividi-lo em 5 grandes etapas.

- 1 Mineração;
- 2 Moagem de cru;
- 3 Clinquerização;
- 4 Moagem de Cimento;
- 5 Ensacamento e expedição.

A descrição das atividades desenvolvidas nos próximos cinco tópicos refere-se a fabrica onde este trabalho foi desenvolvido.

#### 3.3.1 Mineração

Segundo Ribeiro (2000), a mineração consiste na etapa onde são extraídas as matérias-primas com composição química adequada à fabricação do cimento. Procede-se então a perfuração e desmonte da rocha calcária com explosivos ou escavação da matéria-prima argilosa selecionada.



O plano de lavra é planejado para ser cumprido pelos próximos dois anos. Faz-se uma malha (varias perfurações ao longo de toda a jazida coletando amostras que permitirão conhecer o perfil químico do calcário que compõe a mina. Uma vez conhecida a qualidade química do calcário fica determinado de quais bancos será feita a extração e em quais proporções.

A Fig.2 mostra uma mina já em exploração.



**Figura 2** - Vista de uma mina  
**Fonte:** VOTORANTIM CIMENTOS, 2000

O calcário oriundo da mina é classificado de acordo com o óxido presente. Essa classificação é feita da seguinte maneira:

- Calcário calcítico: alto teor de CaO.
- Calcário dolomítico: alto teor de MgO.

Após a extração ou desmonte, o calcário é levado ao setor de britagem. Aqui há um britador Hazemag cuja capacidade de produção supera 350 t/ h e poder de admissão de material com aresta máxima de 1m<sup>3</sup>.

A Fig. 3 mostra uma instalação de britagem de rocha calcária.

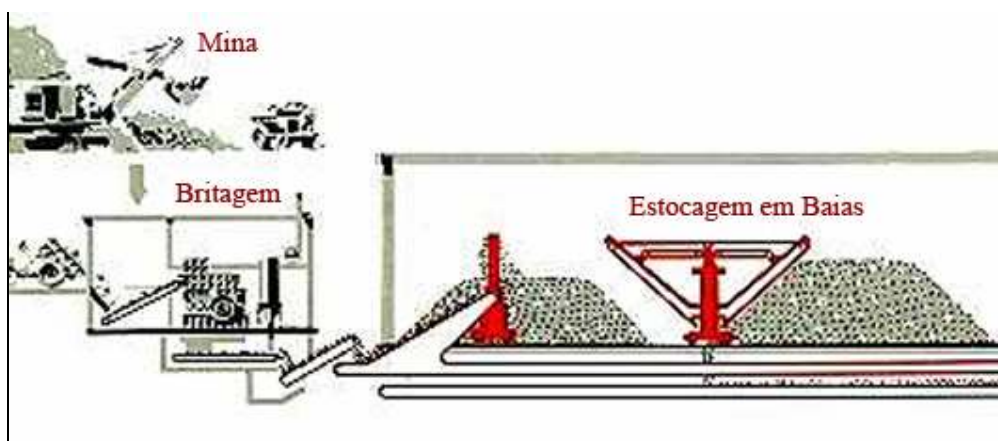


**Figura 3** – Vista de uma instalação de britagem  
**Fonte:** VOTORANTIM CIMENTOS, 2000

A extração de argila também é feita em mina própria e segue o mesmo procedimento de análise e determinação de lavra que foi descrita para a mina de material carbonático. Este conhecimento prévio das minas de matérias primas permite um plano de lavra tão eficiente que dispensa a presença de pré-homo.

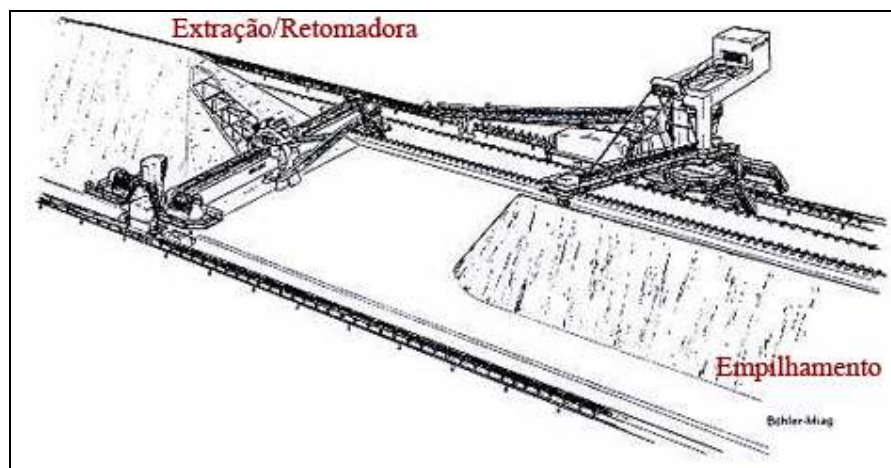
O calcário será armazenado em silos enquanto a argila (depois de britada), areia e minério de ferro serão depositados em baias, conforme a ilustração abaixo. A extração destes materiais das baias se dá por um equipamento denominado retomadora, controlado a distância pelo operador de painel central. A dosagem de cada insumo é determinada em conformidade com o clínquer que se deseja produzir, levando a composição química de cada componente.

Fig.4 mostra o fluxo de extração armazenamento das matérias-primas.



**Figura 4** – Extração e armazenamento de matérias-primas  
**Fonte:** VOTORANTIM CIMENTOS, 2000.

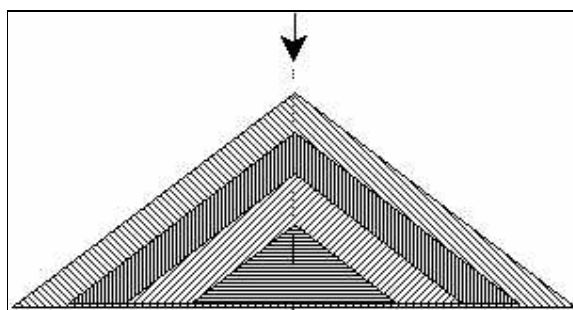
A Fig.5 ilustra o funcionamento e a disposição de um empilhamento tipo *Chevron* :



**Figura 5** – Retomadora e empilhamento  
**Fonte:** VOTORANTIM CIMENTOS, 2000.

Com o objetivo de se promover uma homogeneização apreciável, as pilhas de areia, minério de ferro e argila são compostas de tal forma que enquanto está se formando uma pilha, retoma-se de outra.

O *tripper* é o equipamento utilizado para formar as camadas de argila. Ele desloca-se longitudinalmente sobre dois trilhos paralelos, formando assim, uma camada em cada percurso. Este método de pré-homogeneização é caracterizado como *Chevron* (Fig.6) (Gomides, 1996).



**Figura 6** – Modelo de pré-homogeneização *Chevron*  
**Fonte:** VOTORANTIM CIMENTOS, 2000.

A retomadora (Fig.7) é um equipamento que tem por objetivo extrair as matérias primas da pilha de maneira transversal, de modo que possibilite assim um alto grau de homogeneização.

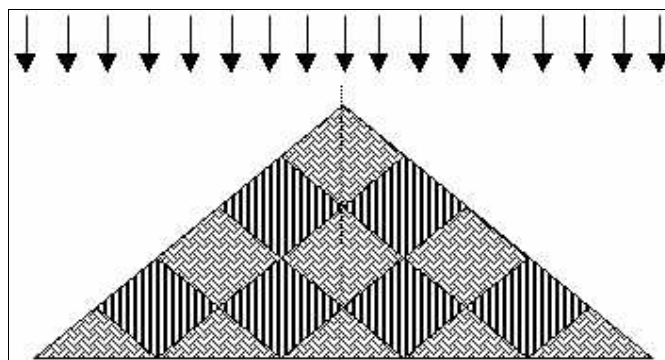
Ela desloca-se longitudinalmente enquanto um dispositivo de demolição que executa um movimento de vai e vem faz o movimento do material, desde a base até o topo. A cadeia raspadora de lâminas recolhe as matérias e as arrasta despejando-as em uma cinta transportadora que as conduzem as moegas donde posteriormente são alimentadas ao moinho.



**Figura 7 - Retomadora**

**Fonte:** VOTORANTIM CIMENTOS, 2000

De acordo com Gomides (1996), um método de pré-homogeneização de materiais pegajosos como a argila é o de empilhamento *Windrow* (Fig.8)



**Figura - 8 – Método de homogeneização *Windrow***

**Fonte:** VOTORANTIM CIMENTOS, 2000.

Este tipo de empilhamento se caracteriza pela distribuição do material em camadas longitudinais, lado a lado, uma após a outra. Desta forma as partículas apresentam pequena chance de segregação. Este método é bastante empregado para materiais como a argila. Contudo, uma deficiência no setor de britagem da argila é facilmente perceptível porque haverá segregação de material mais grosso na base da pilha. As baias são cobertas para evitar que o material estocado apresente grandes flutuações no seu teor de umidade.

A Fig. 9 representa a disposição, em escala industrial, da estocagem de argila.



**Figura 9** – Formação da pilha de argila  
**Fonte:** VOTORANTIM CIMENTOS, 2000

A Fig.10 mostra a retomadora tipo alcatruz de argila



**Figura 10** – Retomadora de argila tipo alcatruz  
**Fonte:** VOTORANTIM CIMENTOS, 2000

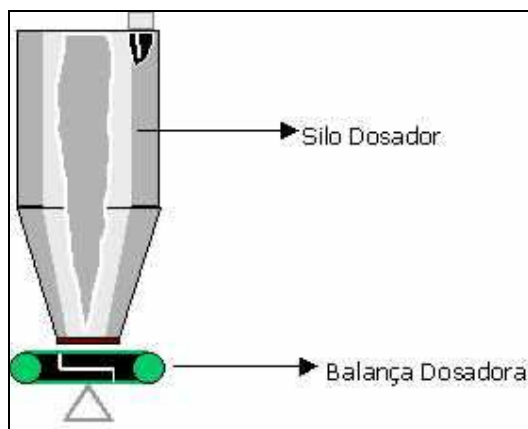
### 3.3.2 Moagem de cru (matérias-primas)

Depois de colocados nas baias ou silos vimos que os componentes do cru (ou farinha) são estocados em moegas que são dotadas de balanças dosadoras em sua saída. A dosagem de cada insumo será feita pelas balanças e a cada três horas nova análise do cru é feita e lançada no aparelho de raios-X, que em caso de necessidades de pequenas necessidades de correção comunica-se direto com as dosadoras e corrige as quantidades através de um software de controle (QMC).

A unidade dispõe de um moinho *Loeshe* cuja capacidade nominal é de 95 t/h e o tempo médio de permanência do material em seu interior é de aproximadamente um minuto. Ao sair do moinho a granulometria do material é de 8% de retido na peneira de 170 mesh. Quanto maior a regularidade do cru em finura e composição química, maior será a estabilidade do forno.

Uma farinha homogênea tem por finalidade propiciar uma marcha regular do forno e do moinho de cimento, pois só com base numa farinha homogênea é possível manter um nível elevado de silicato tricálcico no clínquer, responsável por assegurar boa resistência ao cimento (Gomides, 1996).

Sob cada uma das moegas de dosagem há uma balança dosadora (Fig.11) que é responsável pela extração controlada e em quantidade adequada de cada um dos insumos alimentados ao moinho (Calcário, Argila e Aditivos) (Forster, 1997).



**Figura 11** – Silo e balança dosadora  
**Fonte:** VOTORANTIM CIMENTOS, 2000.

A mistura preparada de calcário, argila e minério de ferro caem contra uma corrente de gás quente e adentram o moinho.

De acordo com a empresa *Lafarge* Brasil S.A., unidade de Arcos, (1998), os moinhos verticais são constituídos de 3 rolos que exercem uma pressão sobre uma mesa giratória. A alimentação entra lateralmente ao moinho, caindo no centro da mesa de moagem. O movimento giratório da mesa aplica sobre as partículas uma força centrífuga que as conduz para a periferia da mesa, de encontro aos rolos de moagem.



Por compressão, os rolos realizam o trabalho de cominuição. Logo abaixo da mesa, existe um duto por onde entra o gás quente do forno. Este gás passa por um anel periférico vazado (com aletas) que fica situado após o final da mesa de moagem e bem rente a parede do moinho. Como o fluxo do gás é ascendente, ele arrasta as partículas para o compartimento superior onde se encontra o separador.

O separador tem formato cônico, com aletas, e apresenta movimento giratório. As partículas finas, com a granulometria ideal, passam por entre as aletas e são arrastadas juntamente com o gás até o filtro de mangas onde ocorre a separação. As partículas grossas retornam à mesa de moagem, em que cai o material.

A Fig.12 mostra esquematicamente o funcionamento do moinho vertical

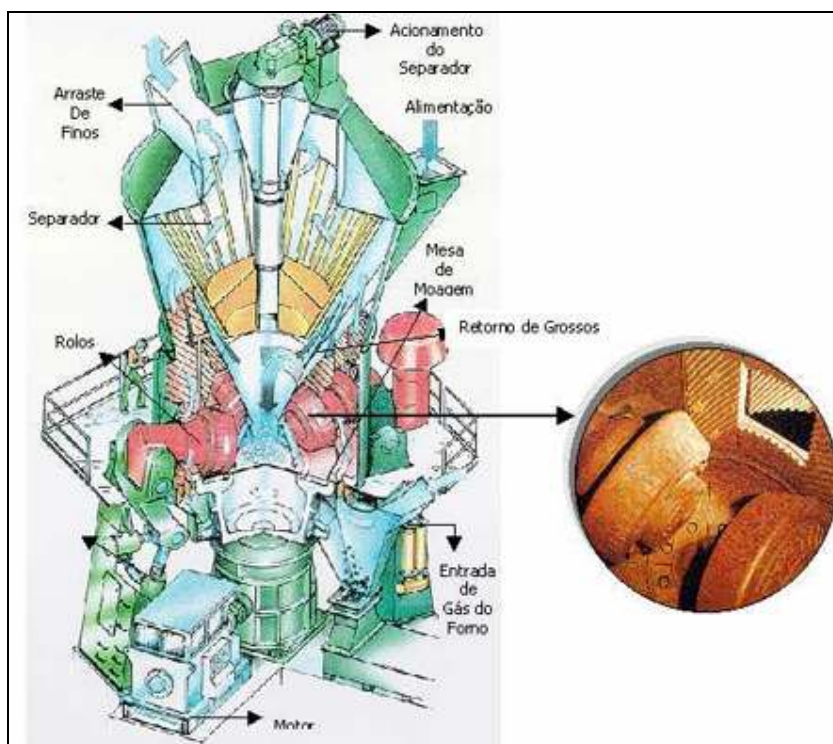


Figura 12 – Moinho Vertical  
Fonte: LOESCHE 1998.

Após a moagem, das matérias-primas denomina-se o material resultante de farinha. Esta é encaminhada ao silo de onde será extraída e alimentada ao forno.

A farinha é depositada em um silo onde será movimentada por sistema de aeração denominado “air slide” que consiste em um sistema de regueiras onde o ar é insuflado durante a extração da farinha em quadrantes distintos, forçando a extração em diversos pontos distintos o que provoca a homogeneização na alimentação do forno.

O sistema de extração se dá pela injeção de ar comprimido alternado em cada uma dos quadrantes de extração, por um período de 180 segundos. A farinha é encaminhada a um silo pulmão que abastece o dosador coriolis, que alimentará o forno.

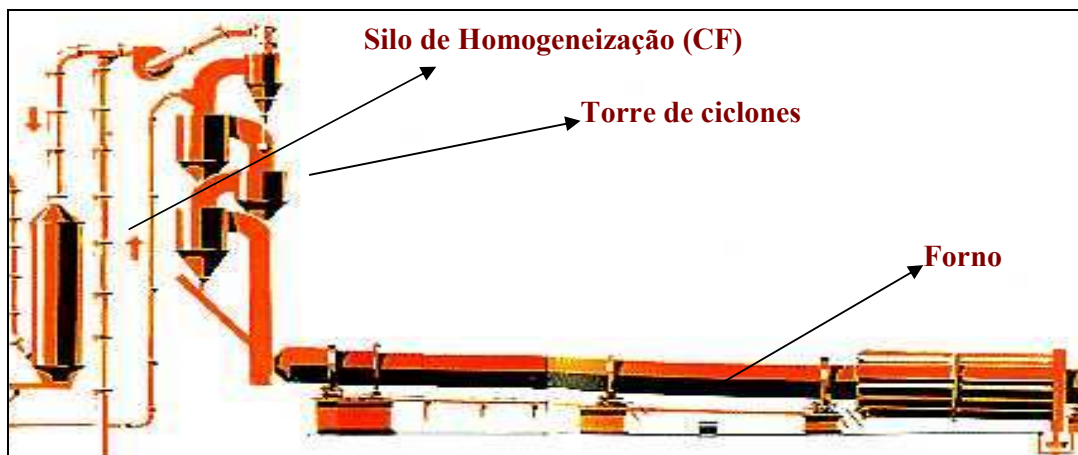
A Fig.13 mostra o modelo do um silo de homo.



Figura 13 – Silo de homo  
Fonte: VOTORANTIM CIMENTOS, 2000.

O dosador coriolis descarrega a farinha em um elevador de caçambas e este descarrega na torre de ciclones, onde se dá a alimentação do forno. Após passar por toda torre de ciclones a farinha percorre o forno onde atinge temperaturas superiores a 1500°C, formando o clínquer. A Fig.14 mostra um fluxograma de alimentação do forno.





**Figura 14** - Fluxograma de alimentação do forno  
**Fonte:** VOTORANTIM CIMENTOS, 2000.

### 3.3.3 Clinquerização

Clinquerização é a reação que ocorre quando a farinha atinge uma temperatura superior a 1500°C, processo que requer grandes quantidades de energia térmica e elétrica.

A qualidade do clínquer depende diretamente da composição química da farinha, do combustível usado na queima, das condições de queima, condições de resfriamento do material. Esses fatores aliados determinam a microestrutura do clínquer (formação de cristais, tipos, formas, tamanhos, etc.) (Gomides, 1996).

De forma bem resumida, podemos evidenciar como principais etapas da formação do clínquer:

Reações que ocorrem na torre de ciclones:

**Até 100°C** - processo de evaporação da água livre.

**>500°C** - processo de desidroxilação dos argilo-minerais.

Reações que ocorrem na junção torre de ciclones e forno (caixa de fumaça)

**>900°C** - processo de decarbonatação.

Reações que ocorrem no forno:

**900°C a 1200°C** - Início da reação CaO com silicatos e aluminatos.

**1250 a 1280°C** - Início da formação da fase líquida.

**1450°C** - Formação do C<sub>3</sub>S (3CaO.SiO<sub>2</sub>).

**1450°C a 100°C** - Resfriamento processado nos resfriadores de grelha (Marchiori, 1998).

Ao processo de produção de clínquer diz-se ser um processo de contracorrente, porque os combustíveis são adicionados ao processo juntamente com o ar de transporte em um lado oposto à alimentação de farinha.

Desta forma, gases e combustível deslocam em sentido inverso ao deslocamento da farinha, sendo que esta absorve energia térmica daqueles até que no forno a temperatura necessária para clinquerização é atingida e ocorre a formação do clínquer.

Na empresa em questão usamos como combustível uma mistura de coque de petróleo, moinha de carvão vegetal e material de coprocessamento, que é o alvo deste estudo. A Fig. 15 mostra um barracão de armazenamento (empilhamento e retomada) de coque (Ribeiro, 2000).

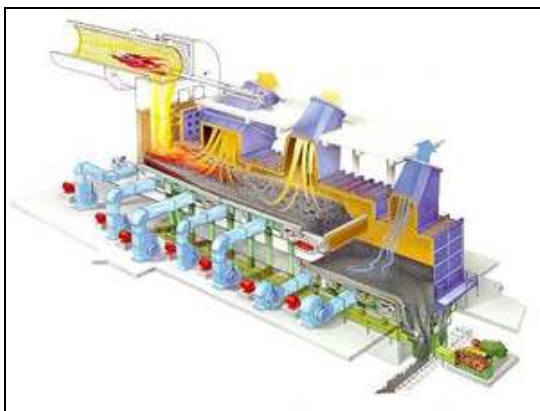


**Figura 15** – Sistema de estocagem e retomada de coque  
**Fonte:** VOTORANTIM CIMENTOS, 2000.

O clínquer é lançado em um resfriador tipo grelhas onde ocorrerão trocas térmicas (resfriamento do clínquer e aproveitamento do calor absorvido pelo ar na queima como ar secundário (representa mais de 85% do ar de combustão)).



**Figura 16** – Vista externa de um forno de clínquer  
**Fonte:** VOTORANTIM CIMENTOS, 2000.



**Figura 17** – Vista interna de um resfriador tipo grelha  
**Fonte:** VOTORANTIM CIMENTOS, 2000.

O clínquer passa pelo resfriador de grelhas onde entra a uma temperatura de aproximadamente 1000°C e sai a 150°C. Após o resfriamento o produto passa por um britador de rolos e a partir daí, é levado ao silo de clínquer por um arrastador metálico, também conhecido por arrastados de canecas.

A Fig.18 mostra o transporte de clínquer e a Fig.19 mostra o silo de armazenamento de clínquer.



**Figura 18-** Transporte de clínquer  
**Fonte:** VOTORANTIM CIMENTOS, 2000.



**Figura 19**– Silo de armazenamento de clínquer  
**Fonte:** VOTORANTIM CIMENTOS, 2000.

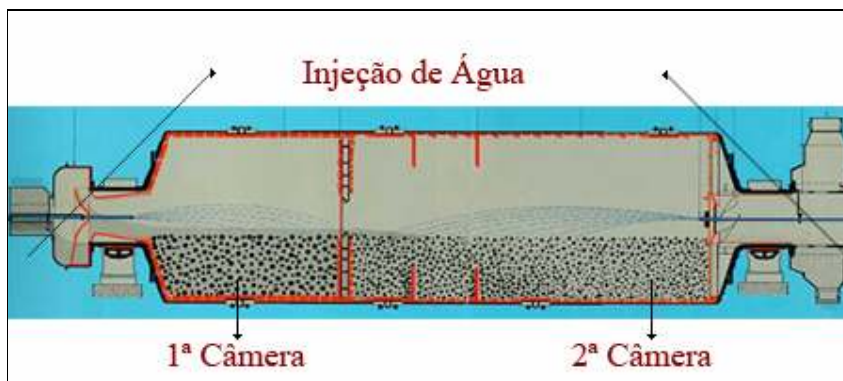
### **3.3.4 Moagem de cimento**

A empresa em questão é dotada de um moinho *FL SDMITH*, de bolas cuja capacidade nominal é de 66 toneladas por hora para CPIIE 32 e 45 para CPV ARI. Os insumos (clínquer, gesso, escória de alto forno, calcário, *filler*, bauxita, etc.) que serão adicionados ao moinho, a finura do produto acabado, proporção de cada insumo, vai depender do tipo de cimento que se deseja fabricar.

Segundo Gomides (1996), na primeira câmara do moinho ocorre a britagem e na segunda a moagem propriamente dita. Normalmente a segunda câmara tem o dobro de comprimento da primeira. Outro ponto de controle muito importante é a temperatura de saída do moinho, porque se superior a 128°C pode desidratar o gesso comprometendo a aplicabilidade do cimento.

A temperatura excessiva do moinho pode levar à desidratação do gesso, ocorrendo a pega falsa do cimento, causando, também, incrustações (*coaching*) das bolas, diafragmas e revestimento do moinho, diminuindo a eficiência de moagem.

A Fig.20 mostra o modelo interno de um moinho de cimento.

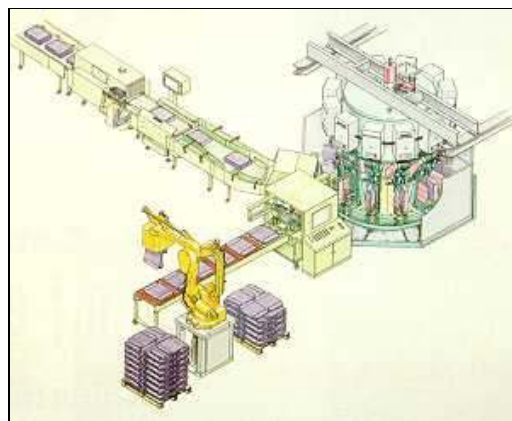


**Figura 20** – Vista interna de um moinho de cimento  
**Fonte:** VOTORANTIM CIMENTOS, 2000.

O processo de fabricação do cimento é em circuito fechado onde a parte fina, material acabado, é levada ao silo por correia transportadora e a parte grossa retorna ao processo de moagem. A partir do silo o cimento é expedido seja a granel, ensacado ou paletizado.

### 3.3.5 Ensacamento e expedição

A empresa é dotada de uma ensacadeira da HAVER com capacidade de 2800 sacos por hora. A Figura 21 mostra um modelo de ensacadeira HAVER, cuja capacidade é 1 saco de cimento 50Kg / segundo, 3600 sacos/h.



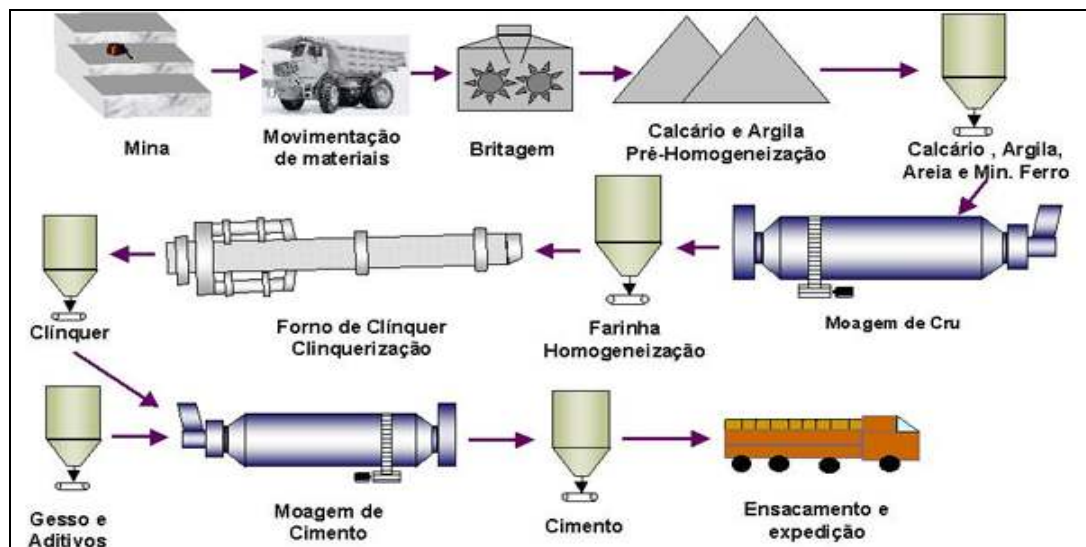
**Figura 21** – Ensacadeira modelo HAVER  
**Fonte:** VOTORANTIM CIMENTOS, 2000.

A Fig. 22 mostra o transporte de sacarias de cimento pelas cintas transportadoras.



**Figura 22** – Transporte de sacarias de cimento  
**Fonte:** VOTORANTIM CIMENTOS, 2000.

A fig.23 mostra um fluxograma de fabricação de cimento.



**Figura 23** – Fluxograma de fabricação de cimento  
**Fonte:** VOTRANTIM CIMENTOS

## 4 RESÍDUOS

### 4.1 Definição

Segundo *Scoreco* (1997), o termo resíduo aponta para uma situação, uma etapa transitória no ciclo de vida de um dado produto/ material. O resíduo por si só pode não apresentar condições de riscos sendo que isto não depende apenas de suas características e propriedades, mas também da forma que será gerido, podendo se transformar em fonte de matéria prima, combustíveis, reciclagem, aterros, subprodutos, etc.

### 4.2 Resíduos que podem ser coprocessados em um forno de clínquer

Antes vejamos a diferença básica entre os processos de coincineração (operação realizada em incineradores) e de coprocessamento (realizado em um forno de clínquer).

De acordo com Ribeiro (2000) não se deve confundir a técnica de incineração com a técnica de coprocessamento, porque se dão a temperaturas muito diferentes e por isso, esta última apresenta cinzas inertes que são naturalmente incorporadas ao processo produtivo sem quaisquer prejuízos para a qualidade do produto final.

As vantagens do coprocessamento em relação à incineração são inúmeras, como se pode observar:

- Alta temperatura da chama, aproximadamente 2000° C;
- Maior tempo de permanência em altas temperaturas;
- Características alcalinas das matérias primas (neutralização do ácido clorídrico ou outros);
- Incorporação das cinzas ao clínquer (incorporação de metais na estrutura cristalina);
- Estabilidade térmica.

Embora o co-processamento se mostre extremamente adequado e viável ao tratamento de resíduos industriais, a sua utilização não pode ser indiscriminada, ou seja, há casos em que resíduos não se prestam à queima por esse processo, e por isso são regulamentados por lei (*Scoreco*,1997).

Segundo a *Scoreco* (1997), para que um resíduo possa ser usado em um forno de clínquer ou como matéria prima alternativa (MPA) é necessário cumprir alguns critérios técnicos de aceitação, que visam assegurar:



- A saúde e segurança dos trabalhadores e da comunidade adjacente;
- Limites das emissões para atmosfera;
- Condições de operacionalidade da fábrica;
- A qualidade do cimento produzido.

Por isso a Lafarge desenvolveu a ECOPROCESSA, que tem a finalidade de desenvolver novos fornecedores de resíduos, tratar das condições de segurança, captar amostras e identificar se são aplicáveis e economicamente viáveis.

Também cabe a esta empresa o monitoramento na formação dos lotes que serão encaminhados as fabricas, assegurando junto ao fornecedor o respeito aos limites químicos e ambientais de cada resíduo a ser destruído.

O forno de clínquer se torna um grande atrativo para coincineração porque suas elevadas temperaturas destroem totalmente os resíduos e as cinzas geradas são incorporadas ao cimento sem que haja riscos para manuseio ou aplicação. A evolução das técnicas de preparação e injeção de resíduos e a tecnologia do processo de fabrico do cimento permitem eliminar uma vasta gama de resíduos:

De acordo com Scoreco (1997), pode-se citar:

- 1 Resíduos líquidos orgânicos – resíduos que contêm solventes ou hidrocarbonetos:
  - Solventes de limpeza;
  - Solventes de indústria química, tintas e vernizes;
  - Hidrocarbonetos de limpezas de fundos de depósitos, óleos usados;
  - Óleos de corte;
  - Água contaminadas com solventes;
  - Reveladores de fotografia usados.
- 2 Resíduos orgânicos, sólidos ou pastosos:
  - Alcatrões, betumes;
  - Resinas;
  - Lamas de estações de tratamento de águas;
  - Inqueimados de fuel ou carvão;
  - Resíduos industriais de curtumes;
  - Plásticos;
  - Borrachas;
  - Resíduos de biomassa.



3 Resíduos minerais sólidos ou pastosos – Constituídos por alguns dos compostos necessários ao fabrico do cimento:

- Catalisadores usados;
- Areias de fundição;
- Hidróxido de cálcio;
- Algumas lamas de hidróxidos metálicos;
- Finos de despoeiramento;
- Cinzas;
- Escórias metalúrgicas.

Conforme já foi citado, vale lembrar que nem todo o tipo de resíduo pode ser destruído em fornos de clínquer.

#### **4.2.1 Resíduos que não podem ser coprocessados em um forno de clínquer**

Conforme afirma Scoreco (2000), alguns resíduos não podem ser aplicados nos fornos de clínquer, a saber:

- Resíduos hospitalares;
- Resíduos radioativos;
- Resíduos de explosivos ou com características explosivas;
- Gases e gases liquefeitos;
- Pesticidas;
- Corrosivos.

Segundo Scoreco (2000), também não se pode introduzir nos fornos resíduos que não satisfaçam os critérios de aceitação vistos anteriormente.

### **4.3 Processo de coprocessamento**

Conforme a citação da RESOLUÇÃO CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente) e leis internacionais, a atividade de coprocessamento consiste na aplicação de resíduos industriais como meio de substituir parcialmente o combustível tradicional (óleo, coque, carvão etc.) de forma responsável e ecologicamente correta.

Podemos verificar então que há economia de recursos energéticos, além de um tratamento para resíduos até pouco tempo sem destino adequado ou viável. Os produtos com alto PCI (Poder calorífico inferior) são tratados de forma a produzirem dois processos em um só, ou seja, além da queima há também o tratamento térmico do resíduo (Ribeiro, 2000).

Conforme já foi dito, a ECOPROCESSA capta e credencia novos fornecedores de resíduo e toda etapa de tratamento do resíduo (receber, analisar, estocar, manusear, definir quantidade de resíduo por lote a coprocessar, cabe a RECITEC (empresa prestadora de serviços exclusiva ao grupo *Lafarge* que atende as unidades de Arcos e Matozinhos)).

Depois de definido a composição de cada lote (análise granulométrica, química, física, teor de umidade, condições de mistura, proporção, PCI, tempo de estocagem) um funcionário da Lafarge acompanha esta logística e faz o aceite do lote que será encaminhado as unidades fabris. O resíduo que apresenta um PCI superior a 2800 Kcal/Kg será usado em substituição aos combustíveis (coque de petróleo e moinha de carvão vegetal) e os demais podem ser aplicados em substituição a matéria prima (argila, calcário, areia).

Não é foco apresentar as técnicas de tratamento de resíduos uma vez que a Lafarge dispõe de duas empresas (Ecoprocessa e Recitec) para fazer este trabalho.

### **4.4 Vantagens do coprocessamento**

#### **4.4.1 Vantagens apresentadas pela queima de resíduos em fornos de clínquer**

Segundo Oficimen (1998) o coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer desde que com características bem definidas e processo de queima bem controlado traz vantagens como a preservação da natureza, seja no aspecto de despoluição como também sobre o aspecto de não exploração de recursos já existentes e nem sempre renováveis.

Outra grande vantagem é a inexistência de cinzas que são geradas em processos de incineração convencional. Oficimen (1998) cita ainda a não variação na qualidade do cimento em função das técnicas de coprocessamento.

Segundo Ribeiro (2000), quando se avalia as vantagens do coprocessamento conclui-se que todas as partes envolvidas são beneficiadas. A natureza com a não exploração, a comunidade com a preservação ambiental e despoluição, a empresa através da geração de receitas ou ainda com a economia nos gastos com matéria prima ou combustível. Já que há geração de receitas e economias de exploração, haverá aumento na competitividade. Os empregados não sofrem nenhuma alteração na sua rotina de trabalho, fazem parte de uma empresa que adota atitudes que preservam o meio ambiente e contribui para uma melhor qualidade de vida. A comunidade não sofrerá nenhum impacto ambiental e quanto ao meio ambiente, eliminará os resíduos industriais que contaminam o solo e a água.

#### **4.4.2 Paralelo entre forno de clínquer e incinerador convencional**

##### **4.4.2.1 Temperatura elevada e longo tempo de residência.**

Os incineradores normalmente trabalham com temperaturas que variam de 850°C a 1100°C, que segundo seus critérios são suficiente para destruição de resíduos e um tempo médio de permanência de 2s. Este processo não assegura a destruição total de alguns compostos. Para a fabricação de cimento é necessário que o material atinja uma temperatura superior a 1450°C, sendo que a chama ultrapassa a 2000°C.. Isto assegura a destruição térmica dos resíduos (Scoreco,1997).

O tempo que o material permanece na zona de alta temperatura (zona de queima) chega a ser três a quatro vezes superior aos 2 segundos exigidos no Art. 6º, da *Directiva Europeia 94/67/EC* sobre a Incineração de Resíduos perigosos. As condições e monitoramentos da combustão são bem mais refinados que nos incineradores assegurando a total destruição dos compostos orgânicos presentes no resíduo (Scoreco,1997).

##### **4.4.2.2 Impossibilidade de chuva ácida**

A principal vantagem que assegura a inexistência de chuva ácida é porque os compostos de cloro e enxofre são absorvidos pelo clínquer, sem prejuízo da qualidade, já que o enxofre é desejável e acrescentado pelo gesso durante o processo de moagem de cimento. Esta incorporação assegura que os compostos de cloro e enxofre não serão lançados na atmosfera o que causaria em presença do ar atmosférico a formação de chuva ácida.

O cloro já é composto conhecido na indústria cimenteira através da matéria prima e devidamente controlado para que seja totalmente incorporado ao produto. (Scoreco, 1997).

#### 4.4.2.3 Não geração de rejeito

A fração orgânica é totalmente incorporada ao clínquer e a parte inorgânica quando elevadas as altas temperaturas formam cinzas inertes que também são incorporadas sem alterar a composição química do cimento. A fração inorgânica é fixada no clínquer em combinações químicas extremamente estáveis;

#### 4.4.2.4 Redução da exploração de recursos naturais

A fabricação do cimento produz mais de 10 milhões de toneladas por ano o que implica em um consumo energético superior a 1.000.000 de toneladas de carvão ou coque. Sendo assim, a injeção de resíduo como fonte alternativa de matéria prima ou combustível significa economia de jazidas ou combustível de origem fóssil (Scoreco,1997).

A fig.24 mostra o consumo mundial de energia no ano de 2000. Nota-se que: mais da metade da energia utilizada ainda virá dos combustíveis de origem fóssil.



**Figura 24** – Consumo mundial de energia  
**Fonte:** VOTORANTM CIMENTOS, 2000.

### 4.4.3 Coprocessamento e os aspectos ambientais

#### 4.4.3.1 Aspectos ecológicos

O resíduo normalmente é adaptado para ser destruído em fornos de clínquer. Esta adaptação se dá através da combinação de diferentes tipos e quantidades de resíduos de fontes diversas para compor lotes. A estes lotes chamamos *blend* ou *waste*. Conforme relata *Scoreco* (1997), é extremamente necessário que se tenha um profundo domínio do processo de coprocessamento de resíduos. Deste estudo abstraem-se algumas diretrizes que possibilitam a melhora da gestão de resíduos industriais, a saber:

Em todo o processo de coprocessamento é preciso observar que a prática de destinação de resíduos industriais para destruição em fornos de clínquer apresenta todas as garantias de ser um processo ecológico, sem impacto global negativo no meio ambiente:

1) Os compostos químicos que são incorporados ao cimento já estão em sua maioria presentes na matéria prima e mesmo os que não estão, são dosados com acompanhamento rigoroso, cuja concentração não prejudicaria o meio ambiente. Jamais foi detectado qualquer tipo de reação ou mesmo lixiviação de subprodutos ou compostos indesejados na aplicação do concreto ou cimento.

2) Após o processo de coprocessamento os resíduos são destruídos totalmente tendo sua parte orgânica destruída e sua parte mineral fixada ao clínquer.

3) Desde que os lotes sejam constituídos de forma responsável, não há nenhum caso onde se detectou aumento nas emissões atmosféricas em razão da utilização de resíduos tratados sob a forma de combustíveis alternativos ou matérias-primas secundárias.

Vale citar ainda que a legislação para coprocessamento é muito mais rigorosa que para incineradores.

4) Não há mudança na composição química do cimento que possa inibir seu uso ou trazer prejuízos ao usuário ou meio ambiente em virtude do coprocessamento.

#### 4.4.3.2 Controle ambiental

O monitoramento ambiental na fábrica, realizado na emissão de efluentes gasosos contínuos (SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, HCL e material particulado em suspensão), contém 04 estações, sendo uma delas monitorada próxima à fonte, que é a fábrica em si, e as outras, na região circunvizinha, em que o ponto mais distante é a 09 km da fábrica.

O monitoramento de efluentes periódicos é:

- SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, HCL;
- Dioxinas e furanos;
- Principais compostos orgânicos perigosos (PCOP's);
- Eficiência de remoção destruição e remoção (EDR) de metais, Cl, HF E CN;
- Monitoramento do lençol freático, através de amostras dos poços artesianos;
- Análises de lixiviação do clínquer.

O monitoramento de efluentes gasosos contínuos é realizado pela própria fábrica com equipamentos de medição *on-line*, como o medidor de gases (Opacímetro).

Os particulados têm monitoramento *on-line* e são medidos em quatro pontos diferentes pelo equipamento denominado *hi-vol*, que é programado pelo técnico de co-processamento, para que seja realizada a leitura de particulados em suspensão, em 04 pontos distintos.

Quanto ao monitoramento periódico, este se refere àqueles realizados por empresas específicas capacitadas em periodicidade pré-marcada, sendo realizados anualmente.

No monitoramento periódico, as amostras dos efluentes gasosos são coletadas nas chaminés, por procedimento específico de cada empresa; acondicionadas de forma correta e enviadas para seus laboratórios; para que sejam realizadas as análises, conforme exigência por legal.

De acordo com Ribeiro (2000), com o início do processo de coprocessamento, também não haverá o surgimento de novas fontes de emissão atmosférica e sim, apenas uma modificação nas cargas atualmente emitidas.

Todas as fontes de emissão atmosféricas relacionadas com as etapas do processo de co-processamento são listadas no Quadro 3.

Quadro 3 - Fontes de emissões atmosféricas

<b> FONTE DE EMISSÃO</b>	<b> EMISSÕES</b>	<b> SISTEMA DE CONTROLE</b>
<b>Tremonha de recebimento de resíduos sólidos granulados</b>	<b>Material particulado</b>	<b>Filtro de mangas</b>
<b>Pontos de transferência entre tremonha e depósito de moinha</b>	<b>Material particulado</b>	<b>Filtro de mangas</b>
<b>Moinho de carvão</b>	<b>Material particulado</b>	<b>Filtro de mangas</b>
<b>Silo de alimentação de carvão</b>	<b>Material particulado</b>	<b>Filtro de mangas</b>
<b>Pré-calcinador</b>	<b>Material particulado e gases</b>	<b>Filtro eletrostático ou Filtro de mangas</b>
<b>Forno de clínquer</b>	<b>Material particulado e gases</b>	<b>Filtro eletrostático ou Filtro de mangas</b>
<b>Resfriador coolax/unax do forno</b>	<b>Material particulado e gases</b>	<b>Filtro eletrostático ou Filtro de mangas</b>

Fonte: RIBEIRO, 2000.

## 5 ESTUDO DE CASO

### 5.1 Coprocessamento na Lafarge em Arcos

Fazendo uma rápida retrospectiva da história da unidade Jazida, como é conhecida a mais nova fábrica do grupo *Lafarge* no Brasil, é sabido que o início de suas operações industriais se deu em janeiro de 1999. Nesta ocasião se usava somente combustível líquido (óleo 7 A que foi o combustível para o qual o forno foi desenvolvido). Em outubro do mesmo ano, se inicia o consumo de combustível sólido (mistura de coque de petróleo e moinha de carvão vegetal). Em 2003 se inicia o uso de *WASTE* (combustível alternativo – *chip* de pneus) em substituição coque de petróleo. A partir daí se inicia a busca constante de alternativas de coprocessamento seja como matéria prima ou como combustível alternativo. Nasce a Ecoprocessa, cujo principal papel é captar e desenvolver parceiros fornecedores de waste. Em 2006 se inicia em maior escala o uso de MPA (matéria prima alternativa) que é o coprocessamento usado em substituição a matéria prima também o uso do blend (mistura de resíduos industriais para substituição ao combustível sólido).

O processo de queima de resíduo ou mesmo sua utilização como MPA é demorado porque é necessário todo um processo de licenciamento ambiental que regulamenta e autoriza tal prática. Embora a *Lafarge* em Arcos esteja trabalhando com o coprocessamento tanto de MPA como de *Waste (Blend)* o foco deste estudo será a aplicação como combustível alternativo em substituição ao mix de coque e moinha.

Tanto o combustível sólido (coque e moinha de carvão vegetal) como o *blend* (mix de resíduos industriais) e o chip de pneu são recebidos no galpão de resíduos mostrado abaixo.



Figura 25: Galpão de resíduos para coprocessamento  
Fonte: Lafarge – Arcos 2006



O coque e a moinha são estocados em baias distintas. Conforme o potencial energético do blend (PCI) e disponibilidade deste e do chip de pneu, é determinado através de simulação qual a dosagem usar.

### 5.1.1 Fluxo dos combustíveis sólidos

Uma vez feita a captação do resíduo pela ECOPROCESSA ou RECITEC, cabe a esta definir o *blend* (mix de resíduos) para compor o lote que será enviado a fábrica para destruição. A empresa recebe os combustíveis e o blend acondicionando-os em baias, conforme fotos abaixo.



**Figura 26:** Pilha de estocagem de coque de petróleo  
**Fonte:** Lafarge – Arcos 2009



**Figura 27:** Baias de estocagem de combustíveis e *blend*  
**Fonte:** Lafarge - Arcos 2009

O *blend* é colocado em baias e o chip de pneu em uma área próximo ao galpão de combustíveis.



**Figura 28:** Baias de *blend* e MPA  
**Fonte:** Lafarge – Arcos 2009



**Figura 29:** Estoque de *chip* de pneu  
**Fonte:** Lafarge – Arcos 2009

Neste momento são coletadas amostras de *blend* e *chip* que serão encaminhadas ao laboratório para análise, embora a análise do *blend* já tenha sido feita pela Recitec antes de compor o lote. Confirmando a composição química e o PCI, dependendo da disponibilidade dos combustíveis, fica definido o *blend* (agora mistura do *blend* de resíduos e do *chip* de pneu) que será formado.

Na foto abaixo se contempla a área de mistura de *chip* e *blend* para destinação final no forno de clínquer.



**Figura 30:** área de mistura de combustíveis  
**Fonte:** Lafarge – Arcos 2009-04-05

Os combustíveis sólidos (coque de petróleo e moinha de carvão vegetal) passam por um processo de moagem antes de serem inseridas no maçarico. A Lafarge conta com dois pontos de injeção de combustíveis, sendo o primeiro no forno (maçarico principal) e o segundo na torre de ciclones.



**Figura 31:** injeção de combustível no forno  
**Fonte:** Lafarge – Arcos 2009



**Figura 32:** injeção de combustível na torre  
**Fonte:** Lafarge – Arcos 2009

A mistura de coque e moinha são injetados nos pontos de queima através de um dosador tipo *coriólis* e o *blend* através de uma balança dosadora.



**Figura 33:** moagem de combustíveis  
**Fonte:** Lafarge – Arcos 2009



**Figura 34:** Dosador tipo *Coriólis*  
**Fonte:** Lafarge – Arcos 2009



**Figura 35:** Balança dosadora de *blend*  
**Fonte:** Lafarge – Arcos 2009

A tela de operação abaixo permite ao coordenador de produção monitorar toda a operação da planta e os parâmetros operacionais controlam a injeção de combustível.

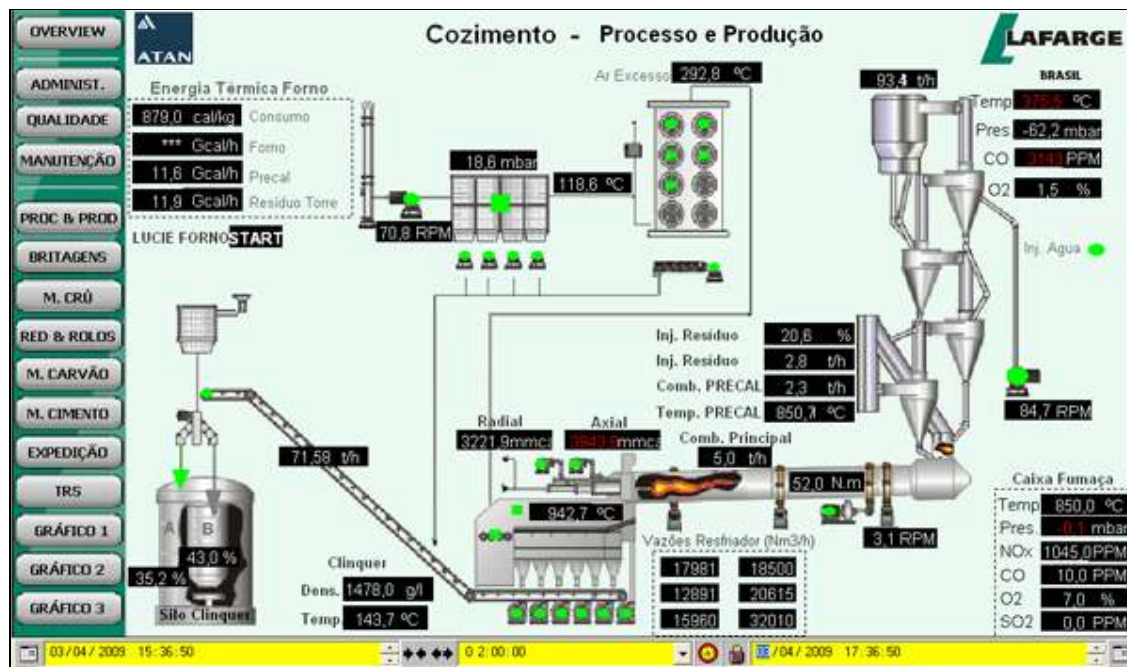


Figura 36: Tela de operação do forno  
Fonte: Lafarge – Arcos 04/05/2009

### 5.1.2 Acompanhamento do blend

Todo o combustível que adentra a unidade da Lafarge em Arcos é devidamente amostrado, caracterizado no laboratório interno e algumas análises são feitas em laboratórios externos para controle quanto ao uso. A legislação está a cada dia mais rigorosa e é necessário atendê-la na íntegra.



Análise de Resíduos

Caracterização: SemiQ

Data: 26/03/2009 Hora: 10:00 Fornecedor: Recitec Produto: Blend Local: Recebimento

Quantidade (t): 0 Lote:

Amostra Liberação de Lote?   
 Amostras Diversas?   
 Carga/Lote Rejeitado?

Granulometria:

ÓXIDOS - FLUORESCÊNCIA - Quantitativa

Si	Al	Fe	Ca	Mg	SO <sub>3</sub>	K	Na
							6,03

pH: 0,00  
 H<sub>2</sub>O: 13,23  
 Radioatividade:  
 PCS: 2238  
 P. Fulgor:  
 Silício:  
 Cinzas: 57,55  
 PF: 42,44  
 CL: 0,15  
 F: 0

Análise Elemental

Hidrogênio:  
 Carbono:  
 Nitrogênio:

PCI:

Observações:  
 Média semanal 23/03/09 à 27/03/09  
 LOTE: 25

Responsável: Júlio Teixeira

Cálculos da Rotina

PF/H<sub>2</sub>O R-I  
 CINZAS SO<sub>3</sub>  
 CL- G-C

FECHAR

Cálculos Voltar

**Figura 37:** Caracterização de resíduo em laboratório interno

Fonte: Lafarge – Arcos 2009

A próxima figura apresenta as análises processadas em laboratório externo. Este controle visa assegurar que a destruição do resíduo está em conformidade com a legislação vigente e não trará nenhum tipo de risco ou dano a comunidade, equipamentos e meio ambiente.

A destruição de resíduos deve ser feita de forma responsável e ecologicamente correta.

**Figura 38:** Análise de resíduo em laboratório externo

Fonte: Lafarge – Arcos 2009-04-05

O próximo passo é analisar o resíduo e simular qual seu impacto na farinha e conseqüentemente no clínquer. Este passo é decisivo para definir os limites máximos aceitáveis em coprocessamento. As próximas tabelas mostram o resultado da simulação feita na farinha e seus impactos no clínquer. Observa-se que não há alteração significativa na composição química do clínquer para um percentual de até 30% de *blend*.

Recebimento					Blend							Recitec									
Data	pH	PCS	Cl	F	S	CZ	H2O	PF	Rad	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	K2O	Na2O	SO3	MS	MA		
<b>2009</b>																					
<b>MARÇO 2009</b>																					
13/03/2009	0,00	640,00	0,1	0,0		48,3	9,2	51,7							0,02	5,97					
17/03/2009	0,00		0,1	0,0			15,2	16,4							0,05	5,79					
20/03/2009	0,00	385,00	0,1	0,1		42,4	15,7	57,6							0,00	5,92					
26/03/2009	0,00	238,00	0,1	0,0		57,6	13,2	42,4							0,00	6,09					
<b>MAR 2009</b>	<b>N</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>		
	<b>X</b>	<b>0,00</b>	<b>421,00</b>	<b>0,1</b>	<b>0,0</b>		<b>49,4</b>	<b>13,3</b>	<b>42,0</b>						<b>0,02</b>	<b>5,94</b>					
	<b>S</b>	<b>0,00</b>	<b>203,40</b>	<b>0,02</b>	<b>0,0</b>		<b>7,64</b>	<b>2,97</b>	<b>16,16</b>						<b>0,02</b>	<b>0,12</b>					
<b>2009</b>	<b>N</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>		
	<b>X</b>	<b>0,00</b>	<b>421,00</b>	<b>0,1</b>	<b>0,0</b>		<b>49,4</b>	<b>13,3</b>	<b>42,0</b>						<b>0,02</b>	<b>5,94</b>					
	<b>S</b>	<b>0,00</b>	<b>203,40</b>	<b>0,02</b>	<b>0,0</b>		<b>7,64</b>	<b>2,97</b>	<b>16,16</b>						<b>0,02</b>	<b>0,12</b>					

**Quadro 4:** Análise de resíduo

Fonte: Lafarge – Arcos 2009-04-05

BRASIL													Moinho de Farinha					Rev.: 1	
																		Pág.: 1 de 6	
Data	Hora	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	SO3	Na2O	K2O	F	Cl	CaCO3	Mn2O3	Cr2O3	TiO2	P2O5	PF	Total	
<b>2009</b>																			
<b>MARÇO 2009</b>																			
03/03	00:00	14,11	4,00	1,67	42,59	1,77	0,20	0,09	0,83	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	35,35	100,41	
	01:30	13,78	3,96	1,69	42,39	1,71	0,18	0,05	0,82	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	35,35	99,75	
	03:00	13,12	3,79	1,69	42,08	1,62	0,16	0,05	0,79	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	35,35	98,49	
	06:00	13,40	3,77	1,73	42,27	1,56	0,24	0,09	0,79	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	35,35	98,96	
	09:00	12,88	3,70	1,73	42,38	1,55	0,27	0,04	0,84	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	35,35	98,47	
	12:00	12,57	3,62	1,66	42,18	1,45	0,16	0,03	0,78	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	35,77	98,06	
	15:00	12,93	3,71	1,64	42,06	1,39	0,17	0,02	0,79	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	35,77	98,31	
	18:00	13,21	3,69	1,61	42,24	1,31	0,18	0,02	0,80	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	35,77	98,65	
	21:00	13,08	3,73	1,58	42,02	1,26	0,17	0,02	0,82	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	35,77	98,28	
	04/03	00:00	13,21	3,84	1,62	42,16	1,26	0,16	0,03	0,82	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	35,77	98,71
03:00		13,41	3,98	1,65	42,11	1,28	0,16	0,03	0,83	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	35,77	99,07	
06:00		13,28	3,88	1,70	42,07	1,30	0,16	0,03	0,83	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	35,77	98,86	
09:00		13,24	3,84	1,68	41,98	1,29	0,17	0,03	0,82	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	35,77	98,65	
12:00		12,41	3,76	1,65	42,14	1,28	0,23	0,03	0,84	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	35,82	97,93	
15:00		12,48	3,78	1,72	42,51	1,27	0,16	0,03	0,78	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	35,82	98,39	
18:00		12,26	3,77	1,70	42,14	1,31	0,15	0,02	0,76	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	35,82	97,78	
21:00		12,48	3,91	1,76	42,02	1,52	0,14	0,04	0,77	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	35,82	98,32	
05/03		00:00	12,70	4,12	1,75	41,92	1,65	0,13	0,04	0,76	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	35,82	98,76
		03:00	12,85	3,97	1,76	41,61	1,65	0,17	0,05	0,78	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	35,82	98,49
	06:00	12,98	4,15	1,81	41,95	1,66	0,13	0,04	0,79	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	35,82	99,20	
	09:00	12,85	3,87	1,69	42,14	1,75	0,14	0,04	0,80	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	35,82	98,76	
	12:00	13,03	4,04	1,71	41,75	1,85	0,13	0,06	0,80	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	35,82	99,06	
	15:00									0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00			
	18:00	12,46	3,88	1,62	41,87	1,70	0,26	0,04	0,85	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	35,21	97,63	
	21:00	12,53	3,85	1,62	41,98	1,72	0,14	0,05	0,79	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	35,21	97,75	
	06/03	00:00	12,51	3,82	1,64	41,74	1,93	0,12	0,05	0,79	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	35,21	97,69
		03:00	12,56	3,78	1,62	41,35	2,12	0,12	0,05	0,79	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	35,21	97,48
06:00		12,91	3,83	1,59	41,51	2,09	0,13	0,03	0,81	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	35,21	97,99	
09:00										0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00			
09:30		12,94	3,74	1,49	41,67	2,14	0,15	0,05	0,81	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	35,21	98,06	
12:00		13,09	3,81	1,56	41,24	2,16	0,23	0,06	0,83	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	35,56	98,32	
15:00		12,91	3,70	1,54	41,36	2,09	0,15	0,04	0,81	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	35,56	98,01	
17:00		13,21	4,02	1,59	41,71	2,07	0,33	0,05	0,86	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	35,56	99,08	

**Quadro 5:** Análise elementar da farinha

Fonte: Lafarge – Arcos 2009

Resfriador																				
Data	Hora	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	SO3	Na2O	K2O	F	Cl	Mn2O3	Q2O3	TiO2	P2O5	Rl	PF	CaO Live	Total	
<b>2009</b>																				
<b>MARÇO 2009</b>																				
03/03	00:00	20,39	5,48	3,76	63,48	2,96	1,06	0,15	1,2	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,10	0,20	1,33	98,68	
	03:00	20,54	5,32	3,59	64,08	3,01	1,02	0,15	1,2	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,10	0,20	2,18	99,09	
	06:00	19,99	5,42	3,75	64,06	2,52	1,09	0,15	1,2	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,10	0,20	3,49	98,40	
	09:00	20,61	5,29	3,67	64,81	2,29	0,85	0,14	1,1	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,10	0,20	1,65	98,87	
	12:00									0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0					
	13:00	20,43	5,32	3,67	64,35	2,68	1,18	0,15	1,1	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,10	0,20	2,17	99,09	
	15:00	20,75	5,42	3,76	63,57	2,43	1,04	0,15	1,3	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,10	0,20	1,30	98,59	
	17:00	20,41	5,25	4,25	64,45	2,16	1,05	0,14	0,9	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,10	0,20	1,24	98,83	
	18:00	20,51	5,42	4,11	63,89	2,10	1,49	0,15	1,1	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,10	0,20	1,12	98,77	
	21:00	20,23	5,43	3,87	63,39	2,06	2,08	0,15	1,2	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,10	0,20	1,08	98,60	
04/03	00:00	20,53	5,47	3,71	63,58	2,05	1,41	0,15	1,3	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,10	0,20	1,04	98,39	
	03:00	20,80	5,51	3,82	64,27	2,05	0,86	0,15	1,1	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,10	0,20	0,91	98,76	
	06:00	20,47	5,63	3,94	63,59	2,07	1,41	0,15	1,3	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,10	0,20	1,32	98,79	
	09:00	20,21	5,46	4,24	63,85	1,98	1,07	0,15	1,2	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,10	0,20	1,30	98,33	
	12:00	19,98	5,65	3,88	63,98	2,04	1,40	0,16	1,4	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,10	0,20	2,39	98,66	
	15:00	19,87	5,45	3,80	64,65	1,89	0,96	0,15	1,1	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,10	0,20	2,38	98,11	
	18:00	19,83	5,51	3,53	64,77	2,03	1,18	0,15	1,2	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,10	0,20	1,81	98,40	
	21:00	20,30	5,45	3,66	64,88	2,53	0,72	0,15	1,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,10	0,20	0,57	98,91	
	05/03	00:00	20,05	5,96	3,51	64,05	2,95	0,99	0,16	1,3	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,10	0,20	1,86	99,16
		03:00	19,76	5,97	3,72	64,09	2,83	0,89	0,16	1,2	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,10	0,20	1,63	98,80
06:00		19,87	5,89	3,90	64,13	3,21	1,14	0,16	1,2	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,10	0,20	1,29	99,66	
09:00		19,86	5,97	3,75	64,33	3,52	1,25	0,17	1,2	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,10	0,20	2,33	100,23	
12:00										0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0					
15:00		20,16	5,76	3,52	63,52	3,06	1,62	0,16	1,3	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,10	0,20	1,88	99,32	
18:00		20,09	5,76	3,42	61,93	2,38	2,42	0,16	1,6	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,10	0,20	1,26	97,96	
21:00		20,24	5,63	3,86	64,81	2,90	1,09	0,16	0,9	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,10	0,20	0,61	99,63	
06/03		00:00	20,03	5,46	3,75	64,04	3,94	1,15	0,15	1,2	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,10	0,20	0,84	99,84
		03:00	20,08	5,83	3,79	63,86	4,76	0,98	0,16	0,8	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,10	0,20	1,27	100,46
	06:00	19,91	5,71	3,68	63,89	4,47	0,99	0,16	1,1	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,10	0,20	0,91	100,15	
	09:00	20,05	5,76	3,51	63,07	4,42	1,18	0,16	1,2	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,10	0,20	0,86	99,57	
	12:00	20,21	5,36	3,78	63,47	4,20	1,37	0,15	1,2	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,10	0,20	0,65	99,95	
	15:00	19,83	5,47	3,66	62,89	4,56	1,83	0,16	1,4	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,10	0,20	1,52	99,96	
	18:00	20,59	5,36	3,27	63,59	4,21	1,06	0,15	1,3	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,10	0,20	1,92	99,70	
	21:00	20,41	5,39	3,51	63,24	4,39	1,51	0,16	1,3	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,10	0,20	1,82	100,15	

**Quadro 6:** Análise elementar do clínquer  
**Fonte:** Lafarge – Arcos 2009

Agora que já se conhece a análise química, física e PCI do blend bem como a sua interferência na produção de clínquer basta injetar em substituição a mistura coque e moinha mantendo o forno em condições normais de operação.

## 5.2 Simulação do blend

Conforme já foi dito, temos duas fontes de recebimento de blend sendo a primeira de resíduos capitados pela Recitec e a outra pela Ecoprocessa.

Depois de receber o lote da Recitec, o chip de pneu de fornecedores distintos e demais resíduos (pó de serra, raspa de borracha, terra contaminada com óleo, dentre outros) e criteriosas análises como visto no item anterior, usa-se a tabela abaixo para definir qual a melhor composição do lote de blend que será destinado ao forno.



Simulações de Resíduos																													
<b>Pesos (Caçambas) kg</b>		<b>PCI kcal</b>	<table border="1"> <tr><td>% Substituição Resíduos</td><td>20</td></tr> <tr><td>Consumo forno (Kcal/kg)</td><td>888</td></tr> <tr><td>Produção Forno (t/H)</td><td>53</td></tr> <tr><td>Consumo forno (Gcal/h)</td><td>47,06</td></tr> <tr><td>Consumo de Resíduo (Gcal/h)</td><td>9,41</td></tr> <tr><td>Consumo de Resíduo Total (t/h)</td><td>1,926</td></tr> <tr><td>Consumo de Pneumáticos (t/h)</td><td>1,030</td></tr> <tr><td>Consumo de Blend (t/h)</td><td>0,896</td></tr> <tr><td>Consumo de Raspas (t/h)</td><td>0,000</td></tr> <tr><td>Consumo de SPL (t/h)</td><td>0,000</td></tr> <tr><td>Consumo de Serragem (t/h)</td><td>0,000</td></tr> <tr><td>Ganho R\$/t kk</td><td>4,81</td></tr> <tr><td>Ganho R\$/t Cim</td><td>3,67</td></tr> </table>	% Substituição Resíduos	20	Consumo forno (Kcal/kg)	888	Produção Forno (t/H)	53	Consumo forno (Gcal/h)	47,06	Consumo de Resíduo (Gcal/h)	9,41	Consumo de Resíduo Total (t/h)	1,926	Consumo de Pneumáticos (t/h)	1,030	Consumo de Blend (t/h)	0,896	Consumo de Raspas (t/h)	0,000	Consumo de SPL (t/h)	0,000	Consumo de Serragem (t/h)	0,000	Ganho R\$/t kk	4,81	Ganho R\$/t Cim	3,67
% Substituição Resíduos	20																												
Consumo forno (Kcal/kg)	888																												
Produção Forno (t/H)	53																												
Consumo forno (Gcal/h)	47,06																												
Consumo de Resíduo (Gcal/h)	9,41																												
Consumo de Resíduo Total (t/h)	1,926																												
Consumo de Pneumáticos (t/h)	1,030																												
Consumo de Blend (t/h)	0,896																												
Consumo de Raspas (t/h)	0,000																												
Consumo de SPL (t/h)	0,000																												
Consumo de Serragem (t/h)	0,000																												
Ganho R\$/t kk	4,81																												
Ganho R\$/t Cim	3,67																												
Pneumáticos	1150	Pneumáticos	6700																										
Blend	3000	Blend	2800																										
Raspas	1420	Raspas	8500																										
SPL	2000	SPL	0																										
Serragem	925	Serragem	4500																										
<b>Nº Caçambas</b>		<b>Composição Total (kg)</b>																											
Pneumáticos	3	Pneumáticos	3450																										
Blend	1	Blend	3000																										
Raspas	0	Raspas	0																										
SPL	0	SPL	0																										
Serragem	0	Serragem	0																										
		Total	6450																										
<b>% Composição (massa)</b>		<b>% Composição (Térmico kcal)</b>																											
Pneumáticos	53	Pneumáticos	3584	73,3																									
Blend	47	Blend	1302	26,7																									
Raspas	0	Raspas	0	0,0																									
SPL	0	SPL	0	0,0																									
Serragem	0	Serragem	0	0,0																									
		Total	4386	100																									

**Quadro 7:** Simulação de resíduos

Fonte: Lafarge - Arcos

Primeiro se determina qual o peso em quilos que é comportado pela caçamba da pá carregadeira para cada tipo de resíduo participante na formação do *blend*. Em paralelo o laboratório já determinou as análises químicas e poder calorífico de cada fração de resíduo. Em conformidade com a disponibilidade de cada insumo, basta simular na planilha acima qual o melhor mix de blend que deve ser formado e destinado ao forno de clínquer.

### 5.3 Resultados obtidos

Apresentarei agora duas tabelas sendo que a primeira apresenta o valor gasto em combustíveis quando se consome apenas coque de petróleo e moinha de carvão vegetal e a segunda demonstra o valor para a mesma produção de clínquer, porém com uma adição de mix de combustível alternativo composto por *chip* de pneu e *blend*. Os valores destacados em vermelho nas tabelas indicam que o combustível gera receita enquanto os demais valores indicam os gastos.

UTILIZAÇÃO DE COMBUSTÍVEIS / RESÍDUOS										
	kcal	PCI	Kg / t KK	% Utilização	Produção Clinker	Consumo t	Preço R\$	Custo Total R\$	Custo Total R\$/t KK	Custo Total R\$/t Cim
Fornos	888,00				1.300					
Coque	732,39	7.696	115,4	82,48%		124	380,00	47.011,63	36,16	27,64
Óleo	0,00	9.400	94,5	0,00%		0	906,80	0,00	0,00	0,00
Moinha	155,61	4.550	195,2	17,52%		44	160,00	7.113,59	5,47	4,18
Pneu	0,00	7.459	119,0	0,00%		0	(12,77)	0,00	0,00	0,00
Blend	0,00	3.874	229,2	0,00%		0	(48,14)	0,00	0,00	0,00
Pó de Serra	0,00	3.300	269,1	0,00%		0	0,00	0,00	0,00	0,00
Carvão Minei	0,00	5.000	177,6	0,00%		0	0,00	0,00	0,00	0,00
SPL	0,00	1	888000,0	0,00%		0	(30,00)	0,00	0,00	0,00
Raspa	0,00	8.500	104,5	0,00%		0	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Total</b>	<b>888,00</b>			<b>100,00%</b>				<b>54.125,22</b>	<b>41,63</b>	<b>31,82</b>

Quadro 8: Mix de combustível sem utilização de *blend*

Fonte: Lafarge - Arcos

UTILIZAÇÃO DE COMBUSTÍVEIS / RESÍDUOS										
	kcal	PCI	Kg / t KK	% Utilização	Produção Clinker	Consumo t	Preço R\$	Custo Total R\$	Custo Total R\$/t KK	Custo Total R\$/t Cim
Fornos	888,00				1.300					
Coque	510,39	7.696	115,4	57,48%		86	380,00	32.761,50	25,20	19,26
Óleo	0,00	9.400	94,5	0,00%		0	906,80	0,00	0,00	0,00
Moinha	155,61	4.550	195,2	17,52%		44	160,00	7.113,59	5,47	4,18
Pneu	158,85	7.459	119,0	17,89%		28	(12,77)	(353,63)	(0,27)	(0,21)
Blend	63,15	3.874	229,2	7,11%		21	(48,14)	(1.020,01)	(0,78)	(0,60)
Pó de Serra	0,00	3.300	269,1	0,00%		0	0,00	0,00	0,00	0,00
Carvão Minei	0,00	5.000	177,6	0,00%		0	0,00	0,00	0,00	0,00
SPL	0,00	1	888000,0	0,00%		0	(30,00)	0,00	0,00	0,00
Raspa	0,00	8.500	104,5	0,00%		0	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Total</b>	<b>888,00</b>			<b>100,00%</b>				<b>38.501,45</b>	<b>29,62</b>	<b>22,64</b>

Quadro 9: Mix de combustível com utilização de *blend*

Fonte: Lafarge - Arcos

A segunda planilha considera uma substituição térmica em torno de 25%, ou seja, 25% da energia térmica total consumida no processo de fabricação de clínquer está sendo gerada pelo uso de combustível alternativo.

A próxima tabela contempla o ganho econômico na produção de clínquer:

	Produção diária (t)	Produção mensal (t)	Ganho diário(R\$)	Ganho mensal (R\$)	Ganho /t (R\$)
C clínquer	1300	39000	20.000	609.000	12,02

Esta planilha representa uma real aplicação do coprocessamento em fornos de clínquer, mas vale a ressalva que o ganho vai depender do tipo de resíduo e quantidade aplicada.

#### **5.4 Considerações e discussão dos resultados**

É indiscutível que a atividade de destruição de resíduos em fornos de clínquer através da atividade de coprocessamento é viável e a cada dia mais assegura a competitividade de empresa. A unidade fabril em questão produz mais de 400.000 toneladas de clínquer por ano. A economia no processo produtivo com os gastos na geração de energia térmica supera os R\$ 4.000.000,00.

Contudo a empresa necessita investir em licenciamento ambiental, equipamentos, treinamento e desenvolvimento de pessoas e processos para que a atividade seja desenvolvida de forma responsável, segura, ecologicamente correta e economicamente viável.

A *Lafarge* em Arcos está preparada para a queima de resíduos sólidos, mas para isto o investimento (construção do galpão de resíduos, impermeabilização do solo, adequação do sistema de transporte, aquisição de equipamentos para controle de qualidade do resíduo, contratação e desenvolvimento de equipe, aquisição de EPI's e sistema de segurança, etc.) superou R\$ 7.000.000,00.

## 6.0 CONCLUSÃO

O presente trabalho demonstrou a viabilidade econômica da atividade de coprocessamento de resíduos industriais em fornos de clínquer, bem como sua importância na preservação ambiental, tendo apresentado uma alternativa de gestão de recursos para a prática responsável e eficaz da atividade de coprocessamento em fornos de clínquer.

### 6.1 Sugestão de trabalhos futuros

A própria planilha apresentada no item 5.3 demonstra que novos resíduos estão sendo avaliados pela empresa. A sugestão é que a empresa que pretende desenvolver a atividade de coprocessamento saiba identificar as oportunidades na região onde atua se informando sobre tipos de empresas instaladas na região, produtos existentes ou em desenvolvimento, e o tipo de resíduo gerado nessas empresas. Sugiro ainda que seja contratada uma empresa de consultoria ambiental porque esta legislação é muito vasta e está em constantes mudanças. Uma infração ambiental pode inviabilizar a continuidade da empresa. Não se deve praticar o coprocessamento sem o devido licenciamento e investimentos necessários para que a atividade seja feita de forma segura e responsável. Em uma análise a planilha abaixo se observa novas possibilidades de resíduos que podem futuramente ser aplicada a formação do mix de *blend*.

Oportunidades									
Tipos Combustíveis	Fornecedor	Geração t/dia	PCI	Preço Úmido R\$ / m3	Densidade	Umidade %	Preço Seco R\$/t	Frete R\$/t	Preço Total R\$/t
Pó de Serra			3.300	1,00	1,000	30,00%	1,30	0,00	1,30
Casca de Arroz		100	5.000	100,00	1,000	0,00%	100,00	16,00	116,00
Cêbo		70	9.000	900,00	1,000	0,00%	900,00	20,00	920,00
Pó de Serra		18	2.900	13,00	0,200	3,00%	66,95	12,00	78,95
Pó de Serra		24	2.900	56,00	1,000	3,00%	57,68	16,00	73,68
Farinha Biodiesel		15	5.600	50,00	1,000	7,00%	53,50	7,50	61,00
Raspa de Pneu			8.500	125,00	1,000		125,00	20,00	145,00

A análise de viabilidade econômica deve considerar não apenas o ganho econômico, mas também a possibilidade de se substituir combustíveis não renováveis (caso do coque de petróleo de derivados), mas também a preservação ambiental e possibilidade de desenvolvimento sustentável.

## 7.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BATTAGINI, Arnaldo Forti **Uma breve história do cimento** Portland [online]. [citado 14Junio2006]. Disponível em a WorldWideWeb [http://www.abcp.org.br/basico\\_sobre\\_cimento/historia.shtml](http://www.abcp.org.br/basico_sobre_cimento/historia.shtml)

CÁRPIO, Ricardo Carrasco – Tese de doutorado em otimização na indústria de cimento envolvendo custo, qualidade e impacto ambiental – Área de conservação de energia, engenharia mecânica – Unifei- 2005

CONAMA - <http://www.lei.adv.br/conama01.htm>, Acesso em 12/09/2008 as 23:45h.

FORSTER, Hebert. *Apostila do curso básico sobre fabricação de cimento*. Rio Branco: Votorantim Cimentos, nov. 1997. 54p.

GOMIDES, W. M. *Processo de fabricação de cimento*. Mato Grosso: Cimento Itaú, 1996. 24p.

LAFARGE BRASIL, **CURSO DE FORMAÇÃO CONCEITUTUAL DE CO-PROCESAMENTOS - CECIL**. ARCOS, 2003. [s.e.].

LAFARGE BRASIL, **Dados da empresa Lafarge Brasil**. disponível em: [www.lafarge.com.br](http://www.lafarge.com.br) Acessado em 22/09/2008 as 19:45hs.

CETESB. *Procedimento para utilização de resíduos em fornos de produção de clínquer*: documentos. São Paulo, jan. 1998. 74p.

MARCHIORI, Ernesto Ubiratan. *Tecnologia de Fabricação de Cimento*. Itaú de Minas, 1998. 20p.

OFICEMEN – Agrupación de fabricantes de cemento de Espãna. *Combustibles alternativos en la fabricación del cemento*: valorización energética de resíduos mediante su empleo como combustibles alternativos em hornos de hornos de cemento. Madrid, oct. 1998. 21p.

ORTH, Maria Helena de Andrade. **Curso de Administração de Resíduos Sólidos** . Ecolatina, 2002. 5ª Conferencia Latina América Sobre o Meio Ambiente. Belo Horizonte.

RIBEIRO, Carlos Luiz Ramos. *Co-processamento de resíduos industriais em fornos de clínquer*. 2000, 57p. Monografia (graduação em Ciências Ambientais). Universidade de Franca, Franca, 2000.

SCORECO Valorização de Resíduos. *A co-incineração de resíduos industriais em fornos de cimento*: documento ambiental. Prior Velho: Facsimile, out. 1997. 15p.

SCORECO Valorização de Resíduos. *A co-incineração de resíduos industriais em fornos de cimento*: documento técnico. Prior Velho: Facsimile, out. 1997. 21p.

SCORECO Valorização de Resíduos. *A co-incineração de resíduos industriais em fornos de cimento*: documento informativo. Prior Velho: Facsimile, out. 1997. 31p.

TAYLOR, G. D. Materials In Construction. London: Longman Scientific & Technical, 2ed., 1992.284p.

VOTORANTIM CIMENTOS. Programa Trainee 2000: engenharia de processo. Rio Branco, 2000.

## 8.0 ANEXOS

### Anexo 1 - Licenciamento Ambiental

Licenciamento ambiental é o procedimento administrativo pelo qual o órgão ambiental competente licencia a localização, instalação, ampliação, modificação e operação de atividades e empreendimentos utilizadores de recursos ambientais considerados efetiva ou potencialmente poluidores ou daqueles que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental, desde que verificado, em cada caso concreto, que foram preenchidos pelo empreendedor os requisitos legais exigidos.

O CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente, através da Resolução nº 237, de 19 de dezembro de 1997, definiu os empreendimentos e atividades que estão sujeitos ao licenciamento ambiental. Esse licenciamento será efetuado em um único nível de competência, repartindo-se harmonicamente as atribuições entre o IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, em nível federal, os órgãos ambientais estaduais e os órgãos ambientais municipais.

Em linhas gerais, ao IBAMA compete o licenciamento de empreendimentos e atividades com impacto ambiental de âmbito nacional ou que afete diretamente o território de dois ou mais Estados federados, considerados os exames técnicos procedidos pelos órgãos ambientais dos Estados e Municípios em que se localizar o empreendimento.

Aos órgãos ambientais municipais compete o licenciamento de empreendimentos e atividades de impacto local e dos que lhes forem delegados pelos Estados através de instrumento legal ou convênio.

Compete aos órgãos ambientais estaduais ou do Distrito Federal o licenciamento ambiental dos empreendimentos e atividades cujos impactos diretos ultrapassem os limites territoriais de um ou mais Municípios ou que estejam localizados em mais de um Município, em unidades de conservação de domínio estadual ou em florestas e demais formas de vegetação natural de preservação permanente. Além disso, pode haver delegação do IBAMA para os Estados, por instrumento legal ou convênio.

Em Minas Gerais, o licenciamento ambiental é exercido pelo COPAM – Conselho Estadual de Política Ambiental, por intermédio das Câmaras Especializadas, da FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente, no tocante às atividades industriais, minerárias e de infra-estrutura e do IEF – Instituto Estadual de Florestas, no tocante às atividades agrícolas, pecuárias e florestais.

As bases legais para o licenciamento e o controle das atividades efetiva ou potencialmente poluidoras em Minas Gerais estão estabelecidas na Lei nº 7.772, de 8 de setembro de 1980 e no Decreto nº 39.424, de 05 de fevereiro de 1998, que a regulamenta, compatibilizados com a legislação federal.

Complementar ao Decreto, as deliberações normativas e resoluções do COPAM normatizam as condições para o sistema de licenciamento ambiental, classificam os empreendimentos e atividades segundo o porte e potencial poluidor, estabelecem limites para o lançamento de substâncias poluidoras no ar, na água e no solo, de forma a garantir a qualidade do meio ambiente e definem os procedimentos a serem adotados pelo empreendedor para a obtenção das licenças ambientais.

Há três tipos de licença: Licença Prévia (LP); Licença de Instalação (LI) e Licença de Operação (LO), as quais poderão ser expedidas isolada ou sucessivamente, de acordo com a natureza, características e fase do empreendimento ou atividade. Para os empreendimentos já existentes em Minas Gerais antes de março de 1981, quando foi regulamentada a Lei Ambiental do Estado, é adotado o chamado licenciamento corretivo, através de convocação a registro. Nesse caso, a regularização é obtida mediante a obtenção da Licença de Operação, condicionada ao cumprimento de Plano de Controle Ambiental – PCA, aprovado pela competente Câmara Especializada do COPAM.

O licenciamento corretivo é aplicado também aos empreendimentos instalados depois de março de 1981, à revelia da Legislação Ambiental, com o objetivo de permitir a regularização de suas atividades.

Os órgãos e entidades da administração estadual, direta e indireta somente aprovam projeto de implantação ou ampliação de atividades efetiva ou potencialmente degradadoras do meio ambiente após o licenciamento ambiental, sob pena de responsabilização administrativa e nulidade de seus atos. Dessa forma, para a liberação de recursos referentes à concessão de incentivos fiscais ou financeiros, a empresa beneficiária deve apresentar a licença do COPAM.

### **Licença Prévia - LP**

A Licença Prévia é requerida na fase preliminar de planejamento do empreendimento ou atividade. Nessa primeira fase do licenciamento, a FEAM avalia a localização e a concepção do empreendimento, atestando a sua viabilidade ambiental e estabelecendo os requisitos básicos a serem atendidos nas próximas fases.

Para a formalização do processo de Licença Prévia são necessários os seguintes documentos:

- requerimento da licença pelo empreendedor;
- declaração da Prefeitura Municipal declarando que o tipo de empreendimento e o local de sua instalação estão de acordo com as leis e regulamentos administrativos aplicáveis ao uso e ocupação do solo;
- Formulário de Caracterização do Empreendimento – FCE, preenchido pelo representante legal;
- Relatório de Controle Ambiental – RCA, elaborado de acordo com as instruções da FEAM, por profissional legalmente habilitado, e acompanhado da anotação de responsabilidade técnica;
- Estudos de Impacto Ambiental – EIA e respectivo Relatório de Impacto Ambiental – RIMA, no caso de empreendimentos de elevado impacto ambiental, listados no artigo 2º da Resolução CONAMA nº001/86 ou outros, definidos pela FEAM;
- certidão negativa de débito financeiro de natureza ambiental, expedida pela FEAM, a pedido do interessado;
- para o setor elétrico, documentação especificada na Resolução CONAMA nº 006/87;
- comprovante de recolhimento do custo de análise do pedido de licença, de acordo com as Deliberações Normativas nº 01/90 e 15/96;
- autorização do IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas para derivação de águas públicas, quando for o caso;
- autorização do IEF – Instituto Estadual de Florestas para supressão de vegetação, quando for o caso;
- cópia da publicação do pedido de Licença Prévia em periódico, regional ou local, de grande circulação na área do empreendimento, de acordo com a Deliberação Normativa nº.13/95.

Durante a análise da Licença Prévia pode ocorrer a audiência pública, nos termos da Deliberação Normativa nº 12/94, cuja finalidade é expor o projeto e seus estudos ambientais às comunidades interessadas, dirimindo dúvidas e recolhendo do público críticas e sugestões.

A Licença Prévia não concede qualquer direito de intervenção no meio ambiente, correspondendo à etapa de estudo e planejamento do futuro empreendimento.

O seu prazo de validade é definido pelo cronograma apresentado pelo empreendedor para a elaboração dos planos, programas e projetos, não podendo ser superior a 4 anos, conforme dispõe a Deliberação Normativa nº 17/96, modificada pela Deliberação Normativa nº 23/97.

### **Licença de Instalação**

A Licença de Instalação é a segunda fase do licenciamento ambiental, quando são analisados e aprovados os projetos executivos de controle de poluição e as medidas compensatórias, que compõem o documento denominado Plano de Controle Ambiental.

A LI gera o direito à instalação do empreendimento ou sua ampliação, ou seja, a implantação do canteiro de obras, movimentos de terra, abertura de vias, construção de galpões, edificações e montagens de equipamentos. A Licença de Instalação concedida especifica as obrigações do



empreendedor no que se refere às medidas mitigadoras dos impactos ambientais, sendo exigido o emprego da melhor tecnologia disponível para prevenir a poluição.

Para a formalização do processo de Licença de Instalação são necessários os seguintes documentos:

- requerimento da licença pelo empreendedor;
- Plano de Controle Ambiental – PCA, elaborado de acordo com as instruções da FEAM, por profissional legalmente habilitado, e acompanhado da anotação de responsabilidade técnica;
- Certidão negativa de débito financeiro de natureza ambiental, expedida pela FEAM, a pedido do interessado;
- comprovante de recolhimento do custo de análise do pedido de licença, de acordo com as Deliberações Normativas nº 01/90 e 15/96;
- cópia da publicação da concessão da Licença Prévia e do pedido de Licença de Instalação em periódico, regional ou local, de grande circulação na área do empreendimento, de acordo com a Deliberação Normativa nº 13/95.

Quando o empreendimento já iniciou as obras de implantação sem haver se submetido à avaliação ambiental prévia, é cabível a Licença de Instalação, de caráter corretivo, estando o interessado obrigado a apresentar os documentos referentes à etapa de obtenção da Licença Prévia, juntamente com os relativos à fase de LI.

O prazo de validade da Licença de Instalação corresponde, no mínimo, ao estabelecido pelo cronograma de implantação do empreendimento, não podendo ser superior a 6 anos. A LI pode ter seu prazo de validade prorrogado por 2 anos, desde que não seja ultrapassado o limite máximo de 6 anos

### **Licença de Operação - LO**

A Licença de Operação autoriza a operação do empreendimento, após a verificação do efetivo cumprimento do que consta das licenças anteriores, com as medidas de controle ambiental e condicionantes determinadas para a operação. Assim, a concessão da LO vai depender do cumprimento daquilo que foi examinado e deferido nas fases de LP e LI.

A LO deve ser requerida quando o novo empreendimento, ou sua ampliação está instalado e prestes a entrar em operação (licenciamento preventivo) ou já está operando (licenciamento corretivo).

Para a formalização do processo de Licença de Operação são necessários os seguintes documentos:

- requerimento da licença pelo empreendedor;
- certidão negativa de débito financeiro de natureza ambiental, expedida pela FEAM, a pedido do interessado;
- comprovante de recolhimento do custo de análise do pedido de licença, de acordo com as Deliberações Normativas 01/90 e 15/96;
- cópia das publicações da concessão da Licença de Instalação e do pedido de Licença de Operação em periódico, regional ou local, de grande circulação na área do empreendimento, de acordo com a Deliberação Normativa nº 13/95.

Para os empreendimentos em operação, sem haver obtido as licenças ambientais, a formalização do processo requer a apresentação conjunta dos documentos, estudos e projetos previstos para as fases de Licença Prévia, Licença de Instalação e Licença de Operação.

A Legislação Ambiental prevê dois tipos especiais de Licença de Operação:

- Licença Sumária, cabível somente para os empreendimentos e atividades de pequeno porte, não listados na Deliberação Normativa nº 01/90, cujas especificidades, a critério da FEAM, não exijam a elaboração de estudos ambientais. Nesse caso, o licenciamento compete ao Secretário Executivo do COPAM, mediante a apresentação a FEAM do Formulário de Caracterização do Empreendimento, preenchido pelo requerente.
- Licença Precária, concedida quando for necessária a entrada em operação do empreendimento exclusivamente para teste de eficiência de sistema de controle de poluição, com validade nunca superior a seis meses.

O prazo de validade da Licença de Operação deve considerar o Plano de Controle Ambiental, sendo de, no mínimo, 4 anos e, no máximo, 8 anos, em função da classificação do empreendimento, segundo o porte e o potencial poluidor, estabelecida pela Deliberação Normativa nº 01/90.

### **Roteiro Básico de Licenciamento Ambiental**

Empreendedor preenche o Formulário de Caracterização do Empreendimento. (FCEI)

- FCEI é protocolado na Divisão de Documentação e Informação da FEAM - (DIINF/FEAM) em duas vias.
- A DIINF/FEAM emite o Formulário de Orientação Básica (FOBI) de imediato ou envia ao empreendedor através do correio por AR (Aviso de Recebimento), incluindo custos de ressarcimento de análise para o Licenciamento Ambiental (DN. 01/90)
- Empreendedor terá até 180 dias ou de acordo com determinação específica da Câmara especializada do COPAM, contados do recebimento do FOBI, para protocolar e, conseqüentemente formalizar o seu pedido de licença na FEAM
- Empreendedor protocola o pedido de licença, que deverá estar acompanhado de toda documentação exigida através do FOBI, e recibo de pagamento dos custos para análise do processo de licenciamento.
- Caso o empreendimento tenha débito de natureza ambiental, o processo não será formalizado. A empresa deverá quitar o débito que pode ser parcelado de acordo com a DN 35/99.
- A DIINF/FEAM confere toda a documentação apresentada pelo solicitante e formaliza o processo de licença, que recebe numeração própria.
- DIINF publica no Diário Oficial "Minas Gerais" requerimento de Licença. Caso o empreendimento esteja sujeito a apresentação de EIA/RIMA deverá ser aberto o prazo de 45 dias para solicitação de audiência pública por parte da comunidade afetada – Deliberação Normativa COPAM n.º 12, de 13 de dezembro de 1994. Dispõe sobre a convocação e realização de audiências públicas.
- Empreendimento recebe número de processo e faz publicar requerimento em jornal de grande circulação na área de influência do mesmo, de acordo com a DN 013/95.
- Após a formalização do processo de licenciamento na DIINF, o mesmo é encaminhado à Diretoria Técnica para as análises, vistorias e elaboração de um parecer técnico.
- Após análise de toda documentação e elaboração do parecer pela Diretoria Técnica, o processo é enviado à Assessoria Jurídica para análise e parecer e encaminhamento ao fórum de decisão.
- Após parecer da Assessoria Jurídica da FEAM, o processo é considerado formalmente concluído e é enviado às Câmaras Especializadas do COPAM para análise e julgamento da Licença Requerida ou pela Presidência e Diretorias da FEAM de acordo com a classe do empreendimento registrado no FOBI.
- A DIINF incluirá o processo de licenciamento na pauta da Câmara Técnica competente para análise e julgamento e decisão da licença requerida, e publicará a pauta no "Minas Gerais", com cinco dias de antecedência da data prevista da reunião, bem como disponibiliza a pauta no endereço [www.feam.br/copam](http://www.feam.br/copam)
- As Câmaras Técnicas do COPAM, em reuniões programadas avaliam, julgam e decidem sobre os processos de licenciamento.
- Após decisão das Câmaras, o processo de licenciamento é encaminhado ao Presidente da FEAM, através da DIINF, para assinatura do certificado ou da notificação do indeferimento e posterior comunicação ao interessado.

#### **SIGLAS:**

- COPAM - Conselho Estadual de Política Ambiental
- DIINF - Divisão de Documentação e Informação
- CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente
- FCEI - Formulário de Caracterização do Empreendimento

- FOBI - Formulário de Orientação Básica
- LP - Licença Prévia
- LI - Licença de Instalação
- LO - Licença de Operação
- DN - Deliberação Normativa do COPAM

#### **Formulários e Manuais para o Licenciamento e Autorizações**

- FCEI – Formulário de Caracterização de Empreendimento
  - FOB – Formulário de Orientação Básica
  - EIA/RIMA – Termo de Referência para Elaboração do Estudo de Impacto Ambiental/Relatório de Impacto Ambiental.
  - RCA – Termo de Referência para Elaboração do Relatório de Controle Ambiental.
- PCA – Termo de Referência para Elaboração do Plano de Controle Ambiental.

## **Anexo 2 - Resolução para coprocessamento de pneumáticos**

### **RESOLUÇÃO CONAMA Nº 258, de 26 de agosto de 1999**

*. Alterada pela Resolução CONAMA 301/03*

"Obriga as empresas fabricantes e as importadoras de pneumáticos a coletar e dar destinação final, ambientalmente adequada, aos pneus inservíveis existentes no território nacional, na proporção definida nesta Resolução relativamente às quantidades fabricadas e/ou importadas."

O CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA, no uso das atribuições que lhe são conferidas pela Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, regulamentada pelo Decreto nº 99.274, de 6 de junho de 1990 e suas alterações, tendo em vista o disposto em seu Regimento Interno, e

Considerando que os pneumáticos inservíveis abandonados ou dispostos inadequadamente constituem passivo ambiental, que resulta em sério risco ao meio ambiente e à saúde pública;

Considerando que não há possibilidade de reaproveitamento desses pneumáticos inservíveis para uso veicular e nem para processos de reforma, tais como recapagem, recauchutagem e remoldagem;

Considerando que uma parte dos pneumáticos novos, depois de usados, pode ser utilizada como matéria prima em processos de reciclagem;

Considerando que a importação de pneumáticos usados é proibida pelas Resoluções CONAMA nº 23, de 12.12.96 e 235, de 7.1.98;

Considerando que se faz necessário o controle do passivo ambiental gerado pelos pneumáticos usados oriundos de veículos automotores e bicicletas;

Considerando que de acordo com a legislação vigente, compete ao Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis-IBAMA, o controle, a fiscalização e a edição dos atos normativos pertinentes à Resolução; resolve:

Art. 1º - As empresas fabricantes e as importadoras de pneumáticos para uso em veículos automotores e bicicletas ficam obrigadas a coletar e dar destinação final, ambientalmente adequada, aos pneus inservíveis existentes no território nacional, na proporção definida nesta Resolução relativamente às quantidades fabricadas e/ou importadas.

Parágrafo único - As empresas que realizam processos de reforma ou de destinação final ambientalmente adequada de pneumáticos ficam dispensadas de atender ao disposto neste artigo, exclusivamente no que se refere a utilização dos quantitativos de pneumáticos coletados no território nacional.

Art. 2º - Para os fins do disposto nesta Resolução, considera-se:

I - pneu ou pneumático: todo artefato inflável, constituído basicamente por borracha e materiais de reforço utilizados para rodagem em veículos automotores e bicicletas;

II - Pneu ou pneumático novo: aquele que nunca foi utilizado para rodagem sob qualquer forma, enquadrando-se, para efeito de importação, no código 4011 da Tarifa Externa Comum - TEC;

III - Pneu ou pneumático reformado: todo pneumático que foi submetido a algum tipo de processo industrial com o fim específico de aumentar sua vida útil de rodagem em meios de transporte, tais como recapagem, recauchutagem ou remoldagem, enquadrando-se, para efeitos de importação, no código 4012.10 da Tarifa Externa Comum-TEC;

IV - pneu ou pneumático inservível: aquele que não mais se presta a processo de reforma que permita condição de rodagem adicional, conforme código 4012.20 da Tarifa Externa Comum-TEC.

Art. 3º - Os prazos e quantidades para coleta e destinação final, de forma ambientalmente adequada, dos pneumáticos inservíveis resultantes de uso em veículos automotores e bicicletas de que trata esta Resolução, são os seguintes:

I -a partir de 1º de janeiro de 2002: para cada quatro pneus novos fabricados no País ou pneus importados, novos ou reformados, inclusive aqueles que acompanham os veículos importados, as empresas fabricantes e as importadoras deverão dar destinação final a um pneu inservível;

II -a partir de 1º de janeiro de 2003: para cada dois pneus novos fabricados no País ou pneus importados, novos ou reformados, inclusive aqueles que acompanham os veículos importados, as empresas fabricantes e as importadoras deverão dar destinação final a um pneu inservível;

III - A partir de 1º de janeiro de 2004:

a) Para cada um pneu novo fabricado no País ou pneu novo importado, inclusive aqueles que acompanham os veículos importados, as empresas fabricantes e as importadoras deverão dar destinação final a um pneu inservível;

b) Para cada quatro pneus reformados importados, de qualquer tipo, as empresas importadoras deverão dar destinação final a cinco pneus inservíveis.

IV - A partir de 1º de janeiro de 2005:

a) Para cada quatro pneus novos fabricados no País ou pneus novos importados, inclusive aqueles que acompanham os veículos importados, as empresas fabricantes e as importadoras deverão dar destinação final a cinco pneus inservíveis.

b) Para cada três pneus reformados importados, de qualquer tipo, as empresas importadoras deverão dar destinação final a quatro pneus inservíveis.

Parágrafo único - O disposto neste artigo não se aplica aos pneumáticos exportados ou aos que equipam veículos exportados pelo País.

Art. 4º - No quinto ano de vigência desta Resolução, o CONAMA, após avaliação a ser procedida pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA, reavaliará as normas e procedimentos estabelecidos nesta Resolução.

Art. 5º - O IBAMA poderá adotar, para efeito de fiscalização e controle, a equivalência em peso dos pneumáticos inservíveis.

Art. 6º - As empresas importadoras deverão, a partir de 1º de janeiro de 2002, comprovar junto ao IBAMA, previamente aos embarques no exterior, a destinação final, de forma ambientalmente adequada, das quantidades de pneus inservíveis estabelecidas no art. 3º desta Resolução, correspondentes às quantidades a serem importadas, para efeitos de liberação de importação junto ao

Departamento de Operações de Comércio Exterior-DECEX, do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior.

Art. 7º - As empresas fabricantes de pneumáticos deverão, a partir de 1º de janeiro de 2002, comprovar junto ao IBAMA, anualmente, a destinação final, de forma ambientalmente adequada, das quantidades de pneus inservíveis estabelecidas no art. 3º desta Resolução, correspondentes às quantidades fabricadas.

Art. 8º - Os fabricantes e os importadores de pneumáticos poderão efetuar a destinação final, de forma ambientalmente adequada, dos pneus inservíveis de sua responsabilidade, em instalações próprias ou mediante contratação de serviços especializados de terceiros.

Parágrafo único - As instalações para o processamento de pneus inservíveis e a destinação final deverão atender ao disposto na legislação ambiental em vigor, inclusive no que se refere ao licenciamento ambiental.

Art. 9º - A partir da data de publicação desta Resolução fica proibida a destinação final inadequada de pneumáticos inservíveis, tais como a disposição em aterros sanitários, mar, rios, lagos ou riachos, terrenos baldios ou alagadiços, e queima a céu aberto.

Art. 10 - Os fabricantes e os importadores poderão criar centrais de recepção de pneus inservíveis, a serem localizadas e instaladas de acordo com as normas ambientais e demais normas vigentes, para armazenamento temporário e posterior destinação final ambientalmente segura e adequada.

Art. 11 - Os distribuidores, os revendedores, os reformadores, os consertadores, e os consumidores finais de pneus, em articulação com os fabricantes, importadores e Poder Público, deverão colaborar na adoção de procedimentos, visando implementar a coleta dos pneus inservíveis existentes no País.

Art. 12 - O não cumprimento do disposto nesta Resolução implicará nas sanções estabelecidas na Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, e no Decreto nº 3.179, de 21 de setembro de 1999." (NR)

Art. 12-A. As regras desta Resolução aplicar-se-ão também aos pneus usados, de qualquer natureza, que ingressarem em território nacional por força de decisão judicial.

Art. 13 - Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

JOSÉ SARNEY FILHO  
Presidente do Conselho

JOSÉ CARLOS CARVALHO  
Secretário Executivo

DO 2.12.99

### **ANEXO 3 - DELIBERAÇÃO NORMATIVA Nº 026, DE 28 DE JULHO DE 1998**

*. Alterada pela DN COPAM nº 83/05*

Dispõe sobre o co-processamento de resíduos em fornos de clínquer.

O Conselho Estadual de política Ambiental – COPAM, no uso das suas atribuições que lhe confere o art. 5º, inciso I da Lei nº 7.772, de 8 de setembro de 1980, o art. 3º da Lei nº 12.585, de 17 de julho de 1997, o art. 40 do Decreto nº 39.424, de 5 de fevereiro de 1998, e considerando a necessidade de normatizar os procedimentos referentes ao licenciamento ambiental de co-processamento de resíduos sólidos, líquidos ou semi-sólidos, de Classe I e Classe II, de acordo com a norma NBR 10004, em fornos de clínquer no Estado de Minas Gerais,

DELIBERA:

Art. 1º - Para efeito da aplicação desta Deliberação Normativa são estabelecidas as seguintes definições:

I - Co-processamento: a utilização de resíduos para recuperação e/ou economia de energia e/ou substituição de matérias-primas;

II - Unidades de Mistura e Pré-Condicionamento de Resíduos (UMPCR): unidades onde se realiza o preparo e ou mistura de resíduos diversos, resultando em produtos com determinadas características, para serem utilizados no co-processamento em fornos de clínquer;

III - Resíduos de composição similar: resíduos provenientes de processos industriais similares e com características físico-químicas semelhantes à de resíduos já autorizados para co-processamento ou processamento em UMPCR pelo órgão ambiental, por meio de licenças de operação concedidas anteriormente, e que obedeçam os limites previstos, na DN COPAM 26/98 ou na licença de operação da respectiva UMPCR.

*. Artigo com redação dada pela DN COPAM nº 83/05*

Art. 2º - A utilização de forno de clínquer para co-processamento de resíduos dependerá das Licenças Prévia e de Instalação do COPAM.

§ 1º - O co-processamento de resíduos em fornos de clínquer dependerá de Licença de Operação do COPAM.

§ 2º - Será admitido pelo órgão ambiental competente o agrupamento de resíduos de composição similar em um mesmo processo de licenciamento para co-processamento de resíduos em fornos de clínquer ou processamento de resíduos em unidades de mistura e pré-condicionamento de resíduos, desde que comprovada a similaridade com resíduos que fazem parte de licenças para co-processamento/processamento concedidas e atendidos os limites previstos na DN COPAM nº 26/1998 ou na licença de operação da respectiva UMPCR.

§ 3º - O co-processamento/processamento de resíduos de composição similar será objeto de Licença de Operação a ser expedida pelo órgão ambiental competente.

§ 4º - Não será admitida a inclusão de outros resíduos que atendam ao critério de similaridade em processos de licenciamento em análise ou já julgados.

§ 5º - As licenças a que se refere este artigo somente serão concedidas quando a unidade industrial onde se localizar o forno de clínquer dispuser de Licença de Operação do COPAM para a atividade cimenteira e tiver executado todas as medidas nos prazos previstos no Plano de Controle Ambiental - PCA.

§ 6º - O ressarcimento dos custos de análise do processo de licenciamento de que trata o § 2º será equivalente ao custo da Autorização Ambiental de Funcionamento para empreendimentos Classe 1, para cada resíduo.

*. Artigo com redação dada pela DN COPAM nº 83/05*

Art. 3º - Para atividade de co-processamento, o forno de clínquer deverá atender às seguintes condições gerais:

I – monitoramento contínuo, com registrador para O<sub>2</sub>, CO, temperatura e taxa de alimentação de resíduos no estado líquido e sólido;

II – adoção, no processo de co-processamento, de mecanismos que interrompam automaticamente a alimentação de resíduos, quando ocorrer:

- a) queda da temperatura de operação normal de trabalho;
- b) ausência de chama no queimador;
- c) queda de teor de O<sub>2</sub> no sistema;
- d) mau funcionamento dos monitores de CO, O<sub>2</sub> e temperatura;
- e) valores de CO entre 1.000 e 3.000 ppm por mais de 10 minutos corridos;
- f) valores de CO superiores a 6.000 ppm, em qualquer instante;
- g) inexistência de depressão no forno;
- h) falta de energia ou queda brusca de tensão.

III – monitoramento do processo de modo a permitir a verificação da eficiência do sistema de controle de poluentes.

Art. 4º - Não será permitido o co-processamento de resíduos radioativos, farmacêuticos, hospitalares, PVC, PCBs (bifenil policlorados e similares), pesticidas e explosivos.

Art. 5º - Os resíduos a serem co-processados deverão apresentar poder Calorífico inferior – PCI mínimo de 2.800 Kcal/Kg.

Parágrafo Único – Os resíduos que não apresentarem o PCI mínimo referido neste artigo poderão ser co-processados se caracterizarem substituição de matéria-prima e/ou utilização como mineralizador.

Art. 6º - Para o licenciamento do co-processamento de resíduos em fornos de clínquer, o interessado deverá apresentar a caracterização de cada resíduo segundo a Norma ABNT 10004, realizada em laboratório de reconhecida capacidade e idoneidade, que deverá responsabilizar-se pela amostragem e caracterização.

Art. 7º - Para a obtenção da Licença de Operação para o co-processamento de resíduos em fornos de clínquer, deverá ser apresentado Plano de Controle Ambiental – PCA contendo no mínimo:



I – estudo de dispersão atmosférica contemplando os principais componentes dos resíduos e comparando-os aos padrões de qualidade do ar previstos, como referência, na Tabela 5 do Anexo I desta Deliberação Normativa;

II – cálculo do tempo de residência dos gases e resíduos exclusivamente no forno;

III – programa de auto-monitoramento;

IV – taxa de alimentação de resíduo;

V – metodologia de co-processamento utilizada;

VI – condições normais de operação do forno de clínquer;

VII – as seguintes considerações gerais:

a) A alimentação de resíduos no forno de clínquer será feita somente se atendidas as condições do inciso VI deste artigo;

b) O armazenamento de resíduos deverá obedecer à legislação vigente;

c) A frequência de análises e registros será apresentada no Plano de Co-processamento, dentro do PCA;

d) O co-processador deverá manter um registro por, no mínimo, 3 (três) anos, com os seguintes dados de operação:

1 – data de recebimento;

2 – características do resíduo;

3 – data do co-processamento;

4 – origem do resíduo;

5 – quantidade recebida e co-processada;

6 – temperatura de operação do forno;

7 – alimentação de farinha crua;

8 – performance do eletrofiltro;

9 – monitoramento dos efluentes atmosféricos;

10 – análises de controle de qualidade do clínquer.

e) O co-processador deverá elaborar manual de procedimentos, operação, segurança e emergência;

f) A taxa máxima de alimentação dos resíduos será definida por um balanço de massa que respeite os limites de emissão.

Art. 8º - A produtora de clínquer deverá comprovar o atendimento às exigências do órgão ambiental

através da realização de m teste em branco.

Parágrafo Único – Após a aprovação o interessado deverá realizar um teste de queima experimental dos resíduos a serem co-processados, quando deverão ser avaliadas as condições operacionais do forno e atendimento aos padrões de emissão fixados.

Art. 9º - Para o co-processamento são fixados os seguintes teores máximos nos resíduos na entrada do forno:

I – Cádmio (Cd) + mercúrio (Hg) + tálio (Tl) até 100 mg/Kg, sendo Hg 10 mg/Kg;

II – Arsênio (As) + cobalto (Co) + níquel (Ni) + selênio (Se) + telúrio (Te) até 1.500 mg/Kg;

III – Antimônio (Sb) + cromo (Cr) + estanho (Sn) + chumbo (Pb) + vanádio (V) até 5.800 mg/Kg, sendo Pb 3.000 mg/Kg.

Art. 10 - O transporte rodoviário de resíduos perigosos Classe I, segundo a NBR 10004/2004, para fins de co-processamento em fornos de clínquer ou processamento em Unidades de Mistura e Pré-condicionamento de Resíduos, deverá ser realizado por empresa transportadora que possua Autorização Ambiental de Funcionamento ou Licença de Operação e vinculado ao processo de licença de operação de co-processamento/processamento dos respectivos resíduos, conforme Termo de Referência específico para elaboração de Plano de Controle Ambiental.

. Artigo com redação dada pela DN COPAM n° 83/05

Art. 11 – Para a operação de “blending” (preparação de resíduos pré-tratados e/ou combinados) será exigido o licenciamento específico.

Art. 12 – O co-processamento de resíduos em fornos de clínquer deverá observar os padrões de emissão de efluentes atmosféricos previstos nas Tabelas 1 a 4 do Anexo I desta Deliberação Normativa.

Art. 13 – Esta Deliberação Normativa entra em vigor na data de sua publicação, revogando as disposições em contrário.

José Carlos Carvalho

Presidente do COPAM

## **Anexo I**

**(a que se refere a Deliberação Normativa COPAM nº 026, de 28 de julho de 1998)**

Tabela 1 – Padrões de Emissão

Parâmetro	Concentrações
HCl	1,8 Kg/h ou 99% de remoção de HCl para resíduos que contenham mais de 0,5 % de Cloreto
HF	5 mg/Nm <sup>3</sup>
CO	100 ppm, corrigido a 11% de O <sub>2</sub> , exceto para um intervalo inferior a 10 minutos, desde que não seja ultrapassado o limite superior de 500 ppm, corrigido a 11% de O <sub>2</sub> , em qualquer período de 1 hora;
SO <sub>x</sub> – medido como SO <sub>2</sub>	280 mg/ Nm <sup>3</sup> corrigido a 11% de O <sub>2</sub>
Nox – medido como NO <sub>2</sub>	560 mg/ Nm <sup>3</sup> corrigido a 11% de O <sub>2</sub>
Material Particulado Total	70 mg/Nm <sup>3</sup> , corrigido a 11% de O <sub>2</sub> . Para áreas não

saturadas em material particulado e localizadas em regiões não urbanizadas, este padrão pode ser no máximo de 180 mg/Nm<sup>3</sup>, a 11% de O<sub>2</sub>, a critério do Órgão de Controle Ambiental

Tabela 2

## Padrões de emissão para material particulado inorgânico

Parâmetro	Concentrações
Classe 1 – Cádmiio, Mercúrio, Tálío	0,28 mg/Nm <sup>3</sup> para fluxo de massa igual ou maior a 1 g/h. Para fluxos menores o padrão não se aplica.
Classe 2 – Arsênio, Cobalto, Níquel, Selênio, Telúrio	1,4 mg/Nm <sup>3</sup> para fluxo de massa igual ou maior a 25 g/h. Para fluxos menores o padrão não se aplica.
Classe 3 – Antimônio, Chumbo, Cromo, Cianetos, Fluoretos, Cobre, Manganês, Platina, Paládio, Ródio, Vanádio, Estanho.	7 mg/Nm <sup>3</sup> para fluxo de massa igual ou maior a 25 g/h. Para fluxos menores o padrão não se aplica.
Classe 1 + Classe 2 + Classe 3	1,4 mg/Nm <sup>3</sup> . O somatório Classe 1 deve ser inferior a 0,28 mg/Nm <sup>3</sup>
Classe 1 + Classe 3	7 mg/Nm <sup>3</sup> . O somatório Classe 1 deve ser inferior a 1,4 mg/Nm <sup>3</sup>
Classe 2 + Classe 3	7 mg/Nm <sup>3</sup> . O somatório Classe 2 deve ser inferior a 1,4 mg/Nm <sup>3</sup>

Tabela 3 – Padrões para substâncias inorgânicas em gases ou vapores

Parâmetro	Concentrações
Classe 1 – Fosfina, Clorocianato, fosfogênio	1 mg/Nm <sup>3</sup> , para fluxo de massa igual ou maior a 10 g/h
Classe 2 – Ácido Cianídrico, Bromo e seus compostos indicados como Ácido Bromídrico, Ácido Sulfúrico (fluxo de massa de 50 g/h), Cloro	5 mg/Nm <sup>3</sup> , para fluxo de massa igual ou maior a 10 g/h
Classe 3 – Compostos inorgânicos de Cloro, indicados como HCl	30 mg/Nm <sup>3</sup> , para fluxo de massa de 2.000
Classe 4 - Amoníaco	250 mg/Nm <sup>3</sup> , para fluxo de massa de 2.000 g/h
Classe 5 – Nox e SOx	500 mg/Nm <sup>3</sup> para fluxo de massa de 5000 g/h

Tabela 4 – Padrões de emissão para substâncias orgânicas\*

Classe de substância orgânica	Padrões de emissão
Classe I	20 mg/Nm <sup>3</sup> , para fluxo de massa maior ou igual a 100 g/h

Classe II	100 mg/Nm <sup>3</sup> , para fluxo de massa maior ou igual a 2.000 g/h
Classe III	150 mg/Nm <sup>3</sup> , para fluxo de massa maior ou igual a 3.000 g/h

\* Para a classificação, ver Anexo II desta Deliberação Normativa

Tabela 5 – Referência para estudos de dispersão de padrões de qualidade do ar

Parâmetro	Padrão de qualidade
Partículas totais em suspensão	Concentração média geométrica anual de 0,08 mg/m <sup>3</sup> de ar. Concentração média de 24 (vinte e quatro) horas de 0,24 mg/m <sup>3</sup> de ar, que não deve ser excedida mais de uma vez no ano.
Dióxidos de enxofre	Concentração média aritmética anual de 0,08 mg/m <sup>3</sup> de ar. Concentração média 24 (vinte e quatro) horas de 0,365 mg/m <sup>3</sup> , que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.
Dióxidos de nitrogênio	Concentração média aritmética de 0,10 mg/m <sup>3</sup> de ar. Concentração média de 1 (uma hora) de 0,32 mg/m <sup>3</sup> de ar, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.
Chumbo e seus compostos orgânicos	0,002 mg/m <sup>3</sup>
Cádmio e compostos inorgânicos de cádmio	0,00004 mg/m <sup>3</sup>
Cloro	0,1 mg/m <sup>3</sup>
Flúor, seus compostos como F (macron)	0,1 mg/m <sup>3</sup>
HCl	0,2 mg/m <sup>3</sup>

## Anexo II

**(a que se refere a Deliberação Normativa COPAM nº 026, de 28 de julho de 1998)**

### Classificação de Substâncias Orgânicas

Substância	Classe
1,1,1 - Tricloroetano	II
1,1,2,2, - Tetracloroetano	I
1,1,2 - Tricloroetano	I
1,1 - Dicloroetano	II
1,1 - Dicloroetileno	I
1,2 - Diclorobenzeno	I
1,2 - Dicloroetano	I
1,2 - Dicloroetileno	III
1,4 - Diclorobenzeno	II
1,4 - Dioxano	I
2,2 - Iminodietanol	II
2,4 - Xilenol	II
2,6 – Dimetilheptano-4-on	II
2 - Butanona	III

2 - Butoxietanol		II
2 - Cloro-1,3-butadieno		II
2 - Cloropreno	cf: 2-Cloro-1,3-butadieno	
2 - Cloropropano		II
2 - Etoxietanol		II
2 - Furaldeído		I
2 - Metoxietanol		II
2 - Propenal		I
4 - Hidroxi-4-metil-2-penta nona		III
4 - Metil-2-pentanona		III
4 - Metil-m-fenilenediisocianato		I
Acetaldeído		I
Acetona		III
Ácido Acético		II
Ácido acético butil éster	cf: Butil acetato	
Ácido acético etil éster	cf: Etil acetato	
Ácido acético metil éster	cf: Metil acetato	
Ácido acético vinil éster	cf: Vinil acetato	
Ácido Acrílico		I
Ácido Acrílico Etil Éster	cf: Etil acrilato	
Ácido Acrílico metil Éster	cf: Metil acrilato	
Ácido Cloroacético		I
Ácido fórmico		I
Ácido fórmico metil éster	cf: metil	
Ácido propiônico		II
Acroleína	cf: 2-Propenal	
Álcool Alquil		III
Álcool diacetona	cf: 4 - Hidroxi-4-metil-2-penta nona	
Álcool Furfurílico		II
Aldeído butírico		II
Anidrido maléico		I
Anilina		I
Bifenil		I
Butil acetato		III
Butilglicol	2 - Butoxietanol	
Ciclohexanona		II
Cloreto de benzil	cf: Clorotolueno	
Cloreto de etila	cf: Cloroetanol cloroetano	
Cloreto de metil	cf: Clorometano	
Cloroacetaldeído		I
Clorobenzeno		II
Cloroetano		III
Clorofórmio	cf: Triclorometano	
Clorometano		I
Clorotolueno		I
Compostos alquil chumbo		I
Cresol		I
Cumeno	cf: Isopropilbenzeno	
Di-(2-etilhexil)-ftalato		II
Dibutiléter		III
Dicloreto de metileno	cf: Diclorometano	
Diclorodifluorometano		III
Diclorofenol		I
Diclorometano		I
Dietanolamina	cf: 2,2 - Iminodietanol	
Dietiléter		III
Dietilamina		I
Difenil cf: Bifenil		
Diisopropil éter		III
Diisopropilcetona	cf: 2,6-Dimetilheptano-4-on	

Dimetil éter		III
Dimetilamina		I
Diocilftalato	cf: Di-(2-etilhexil)-ftalato	
Dissulfeto de carbono		II
Éster acético	cf: Etil acetato	
Estireno		II
Etanol	cf: Álcool alquil	
Éter	cf: Dietil éter	
Etil acetato		III
Etilacrilato		I
Etilamina		I
Etilbenzeno		II
Etilglicol	cf: Etoxietanol	
Etilmetilcetona	cf: Butanona	
Fenol		I
Formaldeído		I
Formiato de metila		II
Furfural, Furfuro	cf: Furaldeído	
Glicol	cf: Glicol etileno	
Glicol Etileno		III
Glicol Etileno etil éter	cf: Etoxietanol	
Glicol Etileno metil éter	cf: 2-Metoxietanol	
Hidrocarbonetos olefínicos (exceto 1,3 – Butadieno)		III
Hidrocarbonetos parafínicos (exceto metano)		III
Isobutilmetilcetona	cf: 4-Metil-2-pentanona	
Isopropenilbenzeno		II
Isopropilbenzeno		II
Mercaptanas	cf: Tioálcool	
Metanol	cf: Álcool alquil	
Metil acetato		II
Metil acrilato		I
Metil benzoato		III
Metil glicol	cf: 2-Metoxietanol	
Metil isobutil cetona	cf: 4-Metil-2-pentanona	
Metil metacrilato	cf: Metilmetacrilato	
Metil metacrilato		II
Metilamina		I
Metilciclohexano		II
Metilclorofórmio	cf: 1,1,1 - Tricloroetano	
Metiletilcetona	cf: 2-Butanona	
N,N-Dimetil formamida		II
N-Metilpirrolidona		III
Naftalina		II
Nitrobenzeno		I
Nitrocresol		I
Nitrofenol		I
Nitrotolueno		I
o - Toluidina		I
Partículas respiráveis de madeira		I
Percloroetileno	cf: Tetracloroetileno	
Pinenos		III
Piridina		I
Propionaldeído		II
Sulfeto de carbono	cf: Dissulfeto de carbono	
Tetracloroeto de carbono	cf: Tetraclorometano	
Tetracloroetileno		II
Tetraclorometano		I
Tetrahidrofurano		II
Tioálcool		I
Tioéter		I

Tolueno		II
Toluilene-2,4-diisocianato	cf: 4 – Metil-m-fenilenediisocianato	
Tricloroetileno		II
Triclorofenol		I
Triclorofluorometano		III
Triclorometano		I
Trietilamina		I
Trimetilbenzeno		II
Vinil acetato		II
Xilenóis (exceto 2,4-Xilenol)		I
Xilenos		II

Publicada em 08/08/98

#### ANEXO 4 - RESOLUÇÃO CONAMA nº 264, de 26 de agosto de 1999

O CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA, no uso das competências que lhe são conferidas pela Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, regulamentada pelo Decreto nº 99.274, de 6 de junho de 1990, alterado pelo Decreto nº 2.120, de 13 de janeiro de 1997, e tendo em vista o disposto em seu Regimento Interno, e

Considerando a necessidade de serem definidos procedimentos, critérios e aspectos técnicos, específicos de licenciamento ambiental para o co-processamento de resíduos em fornos rotativos de clínquer, para a fabricação de cimento, resolve:

##### Capítulo I Das Disposições Gerais

Art. 1º - Esta Resolução aplica-se ao licenciamento de fornos rotativos de produção de clínquer para atividades de co-processamento de resíduos, excetuando-se os resíduos domiciliares brutos, os de serviços de saúde, os radioativos, explosivos, organoclorados, agrotóxicos e afins.

Art. 2º - O co-processamento de resíduos deverá atender aos critérios técnicos fixados nesta Resolução. Complementados, sempre que necessário, pelos Órgãos Ambientais competentes, de modo a atender as peculiaridades regionais e locais.

Art. 3º - As solicitações de licença para o co-processamento de resíduos em fábricas de cimento já instaladas, somente serão analisadas se essas estiverem devidamente licenciadas e ambientalmente regularizadas.

Art. 4º - A quantidade de resíduo gerado e/ou estocado, deverá ser suficiente para justificar sua utilização como substituto parcial de matéria prima e/ou de combustível, no sistema forno de produção de clínquer, após a realização e aprovação do Teste de Queima

Art. 5º - O co-processamento de resíduos em fornos de produção de clínquer deverá ser feito de modo a garantir a manutenção da qualidade ambiental, evitar danos e riscos à saúde e atender aos padrões de emissão fixados nesta Resolução

Art. 6º - O produto final (cimento) resultante da utilização de resíduos no co-processamento em fornos de clínquer, não deverá agregar substâncias ou elementos em quantidades tais que possam afetar a saúde humana e o meio ambiente.

Art. 7º - Os clínqueres e cimentos importados deverão obedecer ao disposto no *caput* do art. 5º e no inciso VIII do art. 15, desta Resolução

## **Capítulo II** **Dos Procedimentos**

### **Seção I** **Dos Critérios Básicos para a Utilização de Resíduos**

Art. 8º - São considerados, para fins de co-processamento em fornos de produção de clínquer, resíduos passíveis de serem utilizados como substituto de matéria prima e/ou de combustível, desde que as condições do processo assegurem o atendimento às exigências técnicas e aos parâmetros fixados na presente Resolução, comprovados a partir dos resultados práticos do plano do Teste de Queima proposto

§ 1º - O resíduo pode ser utilizado como substituto de matéria-prima desde que apresente características similares às dos componentes normalmente empregados na produção de clínquer., incluindo, neste caso, os materiais mineralizadores e/ou fundentes.

§ 2º - O resíduo pode ser utilizado como substituto de combustível, para fins de energia, desde que o ganho de energia seja comprovado.

### **Seção II** **Do Licenciamento Ambiental**

Art. 9º - As Licenças Prévia, de Instalação e de Operação para o co-processamento de resíduos, em fornos de produção de clínquer serão requeridas previamente aos Órgãos Ambientais competentes, obedecendo os critérios e procedimentos fixados na legislação vigente.

§ 1º - Para as fontes novas, poderão ser emitidas Licenças Prévias, de Instalado e Licença de Operado que englobem, conjuntamente, as atividades de produção de cimento e o co-processamento de resíduos nos tornos de produção de clínquer.

§ 2º - Para as fontes existentes, já licenciadas para a produção de cimento, o licenciamento ambiental específico para o co-processamento somente será concedido quando a unidade industrial, onde se localizar o forno de clínquer, tiver executado todas as medidas de controle previstas na sita Licença de Operado.

§ 3º - O processo de licenciamento, será tecnicamente fundamentado com base nos estudos a seguir relacionados, que serão apresentados pelo interessado.

- I. Estudo de Viabilidade de Queima - EVQ,
- II. Plano de Teste em Branco,
- III. Relatório de Teste em Branco,
- IV. Plano de Teste de Queima - PTQ.
- V. Relatório de Teste de Queima, e
- VI. Análise de Risco.

### **Seção III** **Do Estudo de Viabilidade de Queima - EVQ**

Art. 10 - O EVQ será apresentado ao Órgão Ambiental devendo conter, no mínimo. as seguintes informações:



I - dados referentes á fábrica de cimento (nome, endereço, situação com relação ao licenciamento ambiental);

II - objetivo da utilização do(s) resíduo(s); e

III - dados do(s) resíduo(s).

a) descrição sucinta do processo gerador do resíduo e fluxograma simplificado com a indicação do ponto de geração do mesmo,

b) caracterização quali-quantitativa dos resíduos contendo

1. estado físico do(s) resíduo(s);

2. quantidade gerada e estocada;

3. poder calorífico inferior;

4. viscosidade, no caso de líquidos;

5. composição provável do(s) resíduo(s);

6. teor de metais pesados, cloro total, cloretos e enxofre;

7. teor de cinzas e umidade;

8. classificação do(s) resíduos). conforme a Norma ABNT - NBR 10 004. e

9. descrição do sistema de armazenamento de resíduo(s);

IV. descrição do processo/equipamentos. incluindo:

a) descrição do processo de produção inerente ao forno e fluxograma do processo produtivo com indicação dos pontos de alimentação (matéria-prima e combustível), bem como perfil de temperaturas;

b) características e especificações dos equipamentos utilizados na produção de clínquer;

c) dos equipamentos;

d) descrição do sistema proposto de alimentação de resíduos;

e) forno selecionado para a queima de resíduos;

f) tempo de residência para gases e sólidos, com memória de cálculo;

g. características e especificações dos equipamentos que serão modificados ou adicionados em relação aos inicialmente existentes; e

h) desenho esquemático incluindo modificações, com indicação dos pontos de amostragem e parâmetros a serem monitorados

V - em relação à matéria-prima:

a) relação das matérias-primas empregadas na produção do clínquer e suas características físico-químicas;

- b) descrição dos sistemas de alimentação e homogeneização da matéria-prima;
- c) taxa de alimentação (t/h); e
- d) descrição do processo de realimentação/descarte do particulado retido nos equipamentos de controle da poluição atmosférica.

VI - em relação ao combustível:

- a) caracterização dos combustíveis (tipo, poder calorífico inferior e teor de enxofre e consumo (t/h); e
- b) descrição dos sistemas de alimentação de combustíveis, bem como indicação da proporção dos combustíveis nos queimadores primário e secundário

VII - em relação aos equipamentos de controle de poluição - ECP

- a) descrição dos FCPs para efluentes gasosos
- b) descrição do sistema de monitoramento das emissões gasosas; e
- c) descrição dos procedimentos de amostragem e monitoramento, incluindo frequência e listagem de todos os parâmetros monitorados

VIII - outras informações que forem consideradas necessárias.

#### **Seção IV**

##### **Do Teste em Branco**

Art. 11 - Após a aprovação do Estudo de Viabilidade de Queima – EVQ, o Órgão Ambiental analisará o Plano de Teste em Branco e aprovará a realização do Teste em Branco, visando avaliar o desempenho ambiental da fábrica de cimento sem o co-processamento de resíduos

Art. 12 - Previamente à realização do Teste em Branco, a empresa interessada apresentará para aprovação do Órgão Ambiental, o Plano de Teste em Branco, contemplando os requisitos mínimos para execução do teste, abrangendo os seguintes itens:

- I. período previsto para a realização do Teste em Branco, com o acompanhamento por parte dos técnicos do Órgão Ambiental;
- II. descrição e eficiência dos equipamentos de controle de poluição atmosférica.
- III. descrição do plano de automonitoramento do processo contemplando, entre outros, a localização dos pontos de amostragem, parâmetros amostrados nestes pontos, periodicidade das amostragens;
- IV. metodologias de coleta de amostra e de análise a serem empregadas, com os respectivos limites de detecção: as coletas devem ser feitas em triplicata, sendo o tempo mínimo de coleta para material particulado de duas horas;
- V. capacidade de operação da unidade durante o teste: a planta deve operar na capacidade prevista para o co-processamento, a qual deve ser mantida enquanto durar o Teste em Branco e, posteriormente, os de queima do resíduo, com uma variação aceitável de até dez por cento;
- VI. parâmetros operacionais que serão monitorados no processo: inclui taxas de alimentação (de

combustível, de matérias-primas e de material particulado recirculado) e equipamentos de controle operacional, com os respectivos limites de detecção (monitores contínuos de pressão e temperatura do sistema forno e temperatura na entrada dos equipamentos de controle de poluição atmosférica e emissões de CO e O<sub>2</sub>);

VII. avaliação das emissões atmosféricas para os seguintes parâmetros: material particulado, Sox, Nox, HCl/C12, HF e elementos e substâncias inorgânicas listadas nos arts. 28, 29 e 30 desta Resolução, e

VIII. análise quali-quantitativa dos elementos e substâncias inorgânicas presentes no pó retido no equipamento de controle de poluição.

Art. 13 - Após a realização do Teste em Branco, a empresa apresentará ao Órgão Ambiental o relatório conclusivo do teste, contemplando a verificação dos itens previstos no Plano de Teste em Branco.

Parágrafo único - A aprovação do Teste em Branco significa que a instalação atende às exigências do Órgão Ambiental, estando, apta a apresentar um Plano de Teste de Queima – PTQ, não estando a empresa autorizada a queimar resíduos e nem mesmo a submeter-se a Testes de Queima.

Art. 14 - Caso a instalação não atenda às exigências previstas no Teste em Branco, fica proibida a queima de qualquer resíduo.

#### **Seção V**

##### **Do Plano do Teste de Queima - PTQ**

Art. 15 - Devem constar no conteúdo do Plano:

I - o objetivo do teste,

II - fluxogramas do processo produtivo, com indicação dos pontos de alimentação descrição e capacidade dos sistemas de alimentação (matéria-prima, combustível e resíduo) bem como o perfil de temperaturas do sistema:

III - descrição dos equipamentos do sistema forno:

a) nomes dos fabricantes..

b) tipos e descrição dos componentes do sistema; e

c) capacidade máxima de projeto e capacidade nominal;

IV - descrição de cada corrente de alimentação.

a) matérias-primas:

1 - relação das matérias-primas:

2 - características físico-químicas,

3 - composições básicas, constando teores de matéria orgânica e cinzas; e

4 - taxas de alimentação;

b) resíduo:

1 – origem, quantidade gerada e estocada;

2 - poder calorífico inferior, composição provável, composição elementar e identificação e quantificação das substâncias eventualmente presentes, avaliadas com base no processo gerador do resíduo e que constem das listagens quatro e cinco e seis da NBR-10004 da ABNT;

3 - taxa de alimentação pretendida;

4 - teores de metais;

5 - teores de cloro total/cloreto;

6 - teores de fluoretos, enxofre, cinzas e umidade;

7 - seleção dos Principais Compostos Orgânicos Perigosos - PCOPs; e

8 - descrição dos procedimentos de mistura de resíduos anteriores à queima.

c) combustíveis:

1 - tipo;

2 - Poder Calorífico Inferior - PCI;

3 - teores de enxofre, cinzas e umidade; e

4 - consumo (massa/tempo)

V - condições operacionais propostas para o Teste de Queima, incluindo tempo de residência para gases e sólidos, com memórias de cálculo:

a) para o caso da alimentação de resíduos em ponto que não seja a extremidade de temperatura mais elevada do forno rotativo, deverá ser demonstrado que haverá condições adequadas e suficientes de tempo de residência, temperatura e concentração de O<sub>2</sub>, no percurso dos gases, a partir do ponto de alimentação do resíduo, para garantir o nível de eficiência de destruição do(s) PCOP(s) definido(s);

b) para a alimentação de resíduos em regime de batelada (em latões, bombonas, pacotes, ou sem cominuição prévia de quantidades maiores – como, possivelmente, no caso de pneus), o volume de cada batelada e a frequência de suas alimentações deverão ser estabelecidos de modo a garantir que a rápida volatilização dos compostos introduzidos no sistema não promova reduções das concentrações de O<sub>2</sub>, abaixo das quais seja comprometida a eficiência do processo de destruição térmica destes compostos.

VI - descrição do sistema de controle de emissões atmosféricas, de seus equipamentos e de suas condições operacionais;

VII - descrição do destino final dos resíduos gerados no sistema de controle de emissões atmosféricas no caso de existirem etapas de tratamento deste sistema que gerem efluentes líquidos. Descrever seus equipamentos e operações, seus parâmetros e condições operacionais e a proposta de monitoramento para sistemas de tratamento destes efluentes. O mesmo se aplica para os efluentes líquidos gerados em operações de limpeza de pisos e equipamentos, bem como as águas pluviais contaminadas;  
vista ambiental;

VIII - descrição do sistema de análise e controle de qualidade do clínquer, sob o ponto de

IX - descrição e desenhos esquemáticos de localização de todos os pontos de medição e coleta de amostras para monitoramento da unidade e dos sistemas de controle de emissões e descrição dos sistemas de gerenciamento destes dados;

X - lista de parâmetros a serem monitorados na operação do sistema forno. em todas as etapas do co-processamento, relacionando equipamentos utilizados no monitoramento;

XI - lista de parâmetros a serem monitorados em todas as etapas do processo. incluindo. entre outros, metodologias e equipamentos de coleta e análises, seus limites de detecção. frequências de coletas de dados de amostragem e de medições para: combustíveis, matérias-primas, resíduo e correntes de reciclo e de descarte (material particulado. resíduos sólidos gerados. efluentes gasosos e efluentes líquidos);

XII - descrição do sistema de intertravamento, das condições em que ocorrem a interrupção e a retomada da alimentação dos resíduos;

XIII - estimativa dos níveis de emissão resultantes da adoção da taxa de alimentação pretendida, com base no balanço de massa, contemplando os dados de entrada (matéria-prima. combustível, resíduo e reciclos ) e de saída (clínquer, gases da exaustão, material particulado retido no ECP e particulado nos gases emitidos para atmosfera).

XIV - cronograma do teste de queima;

XV - identificação dos técnicos envolvidos no teste. incluindo responsabilidades e qualificações, sendo que todos os documentos apresentados, deverão ser devidamente assinados por profissional habilitado, indicando o número do registro no Conselho de Classe Profissional.

Art. 16 - Após a aprovação do PTQ, o interessado fixará a data para o Teste de Queima, em comum acordo com o Órgão Ambiental, que acompanhará todas as operações do teste, bem como o controle e inspeção para a liberação dos lotes de resíduos e o transporte destes lotes

Art. 17 - Os resíduos não poderão ter sua composição e suas concentrações de contaminantes alteradas, seja por acréscimo ou substituição de resíduo e/ou contaminante, quando for o caso. novos EVQ e PTQ, relativos à nova condição, deverão ser elaborados.

Art. 18 - Poderá ser prevista a realização de um "pré-teste de queima". que devera ser aprovado pelo Órgão Ambiental. a fim de que sejam feitos os ajustes necessários referentes as condições de alimentação dos resíduos a serem testados.

Art. 19 - Ao término do período solicitado para o pré-teste, o Órgão Ambiental deverá ser comunicado quanto a eventuais alterações no Plano de Teste de Queima.

## **Seção VI**

### **Do Teste de Queima**

Art. 20 - No início do Teste de Queima deverá ser testado o sistema de intertravamento para interromper automaticamente a alimentação de resíduos.

Art. 21 - Durante o Teste de Queima a instalação deverá operar nas mesmas condições operacionais verificadas durante o Teste em Branco conforme o inciso V do art. 12.

Art. 22 - Deverão ser amostrados no efluente gasoso os mesmos poluentes avaliados no Teste em Branco além dos Principais Compostos Orgânicos Perigosos - PCOPs.

Art. - 23 As coletas deverão ser realizadas em triplicadas com o tempo mínimo de coleta para o material particulado de duas horas, e os limites de emissão para efluentes gasosos, de acordo com os arts 28, 29 e 30 desta Resolução.

Art. 24 - São condições prévias para o Teste de Queima:

I - ter o Plano de Teste de Queima aprovado pelo Órgão Ambiental competente.

II - o Teste de Queima não deverá apresentar risco significativo de qualquer natureza a saúde pública e ao meio ambiente,

III - ter instalados calibrados e em condição de funcionamento, pelo menos, os seguintes monitores contínuos e seus registradores: CO, O<sub>2</sub>, temperatura e pressão do sistema forno, taxa de alimentação do resíduo e parâmetros operacionais dos ECPs

IV - ter instalado e em condição de funcionamento um sistema de intertravamento para interromper automaticamente a alimentação de resíduos nos seguintes casos:

a) emissão dos poluentes monitorados continuamente, acima dos limites previstos nesta Resolução;

b) queda da temperatura normal de operação;

c) pressão positiva no forno;

d) falta de energia elétrica ou queda brusca de tensão;

e) queda do teor de O<sub>2</sub> no sistema;

f) mau funcionamento dos monitores e registradores de temperatura, O<sub>2</sub>, CO ou THC e interrupção do funcionamento do ECP, ou

g) temperatura da entrada do precipitador eletrostático superior a duzentos graus celsius.

V - ter instalado e em funcionamento um sistema de alimentação do resíduo, em condições de segurança e operacionalidade.

## **Seção VII**

### **Dos Critérios para Seleção dos Principais Compostos Orgânicos Perigosos - PCOPs**

Art. 25 - A seleção dos PCOPs deverá ser baseada no grau de dificuldade de destruição de constituintes orgânicos do resíduo, sua toxicidade e concentração no resíduo.

Art. 26 - A Eficiência de Destruição e Remoção - EDR dos PCOPs, deverá ser de, no mínimo, noventa e nove por cento.

Art. 27 - Para confirmação do EDR, a taxa de alimentação do(s) PCOP(s) selecionado(s) deverá ser compatível com os limites de detecção dos métodos de amostragem e análises das emissões atmosféricas.

## **Seção VIII**

### **Dos Limites de Emissão**

Art. 28 - O co-processamento de resíduos em fornos de clínquer, deverá observar os limites máximos de emissão atmosférica fixados na Tabela 01, respeitando o seguinte:

I - as emissões máximas dos fornos de clínquer destinados ao co-processamento, tanto no Teste em Branco quanto no Teste de Queima, não deverão ultrapassar os Limites Máximos de Emissão constantes da Tabela 01.

II - O limite de 100 ppmv poderá ser excedido desde que os valores medidos de THC não excedam a 20 ppmv, em termos de média horária, e que não seja ultrapassado o limite superior de CO de 500 ppmv, corrigido a sete por cento de O<sub>2</sub> (base seca), em qualquer instante, e

III - O limite de CO para o intertravamento da alimentação de resíduo. será fixado a partir dos Testes de Queima estabelecidos com base nas médias horárias e corrigidas continuamente a sete por cento de O<sub>2</sub> (gás base seca).

**Tabela 01 – Limites Máximos de Emissão**

<b>Poluente</b>	<b>Limites Máximos de Emissão</b>
HCL	1,8 kg/h ou 99% de redução
HF	5 mg/Nm <sup>3</sup> , corrigido a 7% de O <sub>2</sub> (base seca)
CO*	100 ppmv, corrigido a 7% de O <sub>2</sub> (base seca)
MP	70 mg/Nm <sup>3</sup> farinha seca, corrigido a 11% de O <sub>2</sub> (base seca)
THC (expresso como propano)	20 ppmv, corrigido a 7% de O <sub>2</sub> (base seca)
Mercúrio (Hg)	0,05 mg/Nm <sup>3</sup> , corrigido a 7% de O <sub>2</sub> (base seca)
Chumbo (Pb)	0,35 mg/Nm <sup>3</sup> , corrigido a 7% de O <sub>2</sub> (base seca)
Cádmio	0,10 mg/Nm <sup>3</sup> , corrigido a 7% de O <sub>2</sub> (base seca)
Tálio (Tl)	0,10 mg/Nm <sup>3</sup> , corrigido a 7% de O <sub>2</sub> (base seca)
(As+Be+Co+Ni+Se+Te)	1,4 mg/Nm <sup>3</sup> , corrigido a 7% de O <sub>2</sub> (base seca)
(As+be+co+Cr+Cu+Mn+Ni+Pb+Sb+Se+Sn+Te+Zn)	7,0 mg/Nm <sup>3</sup> , corrigido a 7% de O <sub>2</sub> (base seca)

\* As concentrações de CO na chaminé não poderão exceder a 100 ppmv em termo de média horária.

Art. 29 - Os limites de emissão dos poluentes poderão ser mais restritivos, a critério do Órgão Ambiental local, em função dos seguintes fatores:

I - capacidade de dispersão atmosférica dos poluentes, considerando as variações climáticas e de relevo locais, ou

II - a intensidade de ocupação industrial e os valores de qualidade de ar da região

Art. 30 - Os limites de emissão para os parâmetros SO<sub>x</sub> e NO<sub>x</sub> deverão ser fixados pelos Órgãos Ambientais competentes, considerando as peculiaridades regionais.

## **Seção IX**

### **Do Monitoramento Ambiental**

Art. 31 - Os relatórios de automonitoramento serão encaminhados ao Órgão Ambiental competente, de acordo com a frequência solicitada.

Art. 32 - A taxa de alimentação do resíduo. definida no Teste de Queima, deve ser controlada através de avaliação sistemática do monitoramento das emissões provenientes dos tornos de produção de

clínquer que utilizam resíduos, bem como da qualidade ambiental na área de influência do empreendimento.

Art. 33 - Deverão ser monitorados, de forma contínua, os seguintes parâmetros: pressão interna, temperatura dos gases do sistema forno e na entrada do precipitador eletrostático. vazão de alimentação do resíduo, material particulado (através de opacímetro) O<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub> e/ou THC, quando necessário.

Art. 34 - Deverão ser monitoradas, de forma não contínua, os seguintes parâmetros: Sox, PCOPs, HCl/C1<sub>2</sub>, HF, elementos e substâncias inorgânicas listados nos arts 28, 29 e 30 desta Resolução.

Art. 35 - O monitoramento de quaisquer outros poluentes com potencial de emissão poderá ser exigido, a critério do Órgão Ambiental competente.

Art. 36 - O controle das características dos resíduos deverá ser feito através de amostragem não contínua e fundamentado na análise dos seguintes parâmetros: PCOPs, elementos e substâncias inorgânicas, enxofre, flúor, série nitrogenada e cloro.

Art. 37 - O monitoramento dos efluentes líquidos deverá obedecer os parâmetros fixados na legislação pertinente

Art. 38 - O monitoramento ambiental da área de entorno. deverá ser definido caso a caso. com base na avaliação de riscos à saúde humana, ao meio ambiente e os decorrentes de emissões não acidentais.

## **Seção X**

### **Das Unidades de Mistura e Pre-condicionamento de Resíduos**

Art. 39 - As Unidades de Mistura e Pre-condicionamento de Resíduos são passíveis de licenciamento, pelo Órgão Ambiental competente e, para tanto, deverão apresentar as seguintes informações:

I - nome (razão social), endereço e localização da instalação;

II - descrição dos principais produtos ou serviços prestados;

III - planta, em escala. mostrando a localização das áreas de recepção, laboratórios, estocagem, manuseio e/ou disposição de resíduos, bem como os locais destinados a futuras áreas de manuseio, estocagem e disposição,

IV - descrição dos procedimentos de recepção, amostragem e análises, estocagem, manuseio e disposição de resíduos gerados;

V - caracterização e classificação dos resíduos recebidos, quantificação de cada resíduo e uma descrição geral dos procedimentos para cada um,

VI - laudos de análises químicas e físicas de cada resíduo e cópia do plano de análise, os quais deverão estar devidamente assinados por técnico responsável,

VII - descrição dos procedimentos e equipamentos de segurança,

VIII - plano de contingência,

VX - descrição dos procedimentos, estruturas ou equipamentos a serem usados na unidade;

a) riscos em operações de descarregamento,



- b) vazamentos das áreas de manuseio de resíduos perigosos para áreas adjacentes ou para meio ambiente;
- c) riscos de enchentes;
- d) efeitos ocasionados pelas falhas nos equipamentos e interrupção de fornecimento de energia elétrica;
- e) exposição indevida de pessoas aos resíduos sólidos, e
- f) liberação de gases para o ambiente.

X - descrição das medidas para prevenção de ignição acidental ou reações de resíduos inflamáveis, reativos ou incompatíveis;

XI - descrição do transporte interno de resíduos, inclusive com indicação em planta das vias de tráfego interno.

XII - plano de encerramento das atividades e, se aplicável, de pós-encerramento. e

XIII - projetos dos sistemas de tratamento de efluentes líquidos, se aplicável.

Art. 40 - O responsável pela unidade deverá registrar toda anormalidade envolvendo derramamento ou vazamento de resíduos, bem como fornecer, a critério do Órgão Ambiental competente, estudo para avaliação de eventuais danos ocorridos ao meio ambiente

Art. 41 - O recebimento de resíduos deverá ser documentado, mediante registros, que serão disponibilizados para o Órgão Ambiental competente.

### **Seção XI**

#### **Do Plano de Treinamento de Pessoal**

Art. 42 - O pessoal envolvido com a operação das unidades de mistura Pre-condicionamento e co-processamento de resíduos deverá receber periodicamente, treinamento específico com relação ao processo, manuseio e utilização de resíduos, bem como sobre procedimentos para situações emergenciais e anormais durante o processo.

### **Seção XII**

#### **Do Procedimento para Controle de Recebimento de Resíduos**

Art. 43 - Os resíduos a serem recebidos, pela unidade de mistura e/ou pela instalação responsável por sua utilização deverão ser previamente analisados para determinação de suas propriedades físico-químicas e registro das seguintes informações.

I - a origem e a caracterização do resíduo,

II - métodos de amostragem e análise utilizados, com respectivos limites de detecção. de acordo com as normas vigentes,

III - os parâmetros analisados em cada resíduo, e

IV - incompatibilidade com outros resíduos.

Art. 44 - As análises deverão ser repetidas sempre que necessário. para assegurar a confiabilidade da caracterização do resíduo.

### **Seção XIII**

#### **Do Armazenamento e Transporte de Resíduos e da Análise de Risco**

Art. 45 – Os resíduos deverão ser armazenados de acordo com os dispositivos legais vigentes.

Art. 46 - O transporte de resíduos ou de mistura de resíduos para as unidades de co-processamento, deverá ser realizado de acordo com os dispositivos legais vigentes.

Art. 47 - O Estudo de Análise de Risco integrará o processo de Licenciamento Ambiental e será realizado, pelo empreendedor, de acordo com os procedimentos e normas estabelecidas pelo Órgão Ambiental competente, contemplando avaliação dos riscos decorrentes tanto de emissões acidentais como de emissões não acidentais.

### **Seção XIV**

#### **Das Disposições Finais**

Art. 48 - Para os fins do disposto nesta Resolução são adotadas as definições do Anexo 1.

Art. 49 – A presente Resolução deverá ser revisada num prazo máximo de três anos, contados a partir da sua publicação.

Art. 50. Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

JOSÉ SARNEY FILHO  
Presidente do Conselho

JOSÉ CARLOS CARVALHO  
Secretário Executivo

### **ANEXO I**

#### **DEFINIÇÕES**

**Clínquer:** Componente básico do cimento, constituído, principalmente de silicato tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico e ferro aluminato tetracálcico.

**Combustível primário:** Combustível alimentado pelo maçarico/queimador principal do forno na zona de combustão primária, sendo comumente utilizado carvão, óleo ou gás

**Combustível secundário:** Combustível alimentado na zona de combustão secundária, podendo ser utilizado além dos combustíveis primários, outros alternativos, como: casca de arroz e serragem, dentre outros.

**Co-processamento de resíduos em fornos de produção de clínquer:** Técnica de utilização de resíduos sólidos industriais a partir do processamento desses como substituto parcial de matéria-prima e/ou de combustível no sistema forno de produção de clínquer, na fabricação de cimento.

**Equipamento de Controle de Poluição - ECP:** Equipamentos destinados a controlar as emissões atmosféricas resultantes das operações industriais.

**Estudo de Viabilidade de Queima - EQV** estudo teórico que visa avaliar a compatibilidade do resíduo a ser co-processado com as características operacionais do processo e os impactos ambientais decorrentes desta prática.

**Farinha:** Produto intermediário para a produção de clínquer, composto basicamente de carbonato de cálcio, sílica, alumina e óxido de ferro, obtidos a partir de matérias primas tais como, calcário, argila e outras

Forno rotativo de produção de clínquer: Cilindro rotativo, inclinado e revestido internamente de material refratário, com chama interna, utilizado para converter basicamente compostos de cálcio, sílica, alumínio e ferro, proporcionalmente misturados, num produto final denominado clínquer.

Monitoramento Ambiental: Avaliação constante das emissões provenientes dos fornos de produção de clínquer que co-processam resíduos, bem como da qualidade ambiental na área de influência do empreendimento

Plano do Teste de Queima - PTQ: Plano que contempla dados, cálculos e procedimentos relacionados com as operações de co-processamento propostas para o resíduo.

Pré-aquecedor: Região do sistema forno constituída por um conjunto de ciclones, onde a farinha é alimentada, sendo pré-aquecida e parcialmente calcinada pelo fluxo de gases quentes provenientes do forno rotativo, em contra corrente.

Pré-calcinador Dispositivo secundário de queima onde ocorre uma pré-calcinação da matéria-prima.

Principais compostos orgânicos perigosos - PCOPs: Substâncias orgânicas perigosas de difícil destruição térmica.

Resíduos: Aqueles que se apresentem nos estados sólido, semi-sólido e os líquidos não passíveis de tratamento convencional, resultantes de atividades humanas. Fica também estabelecido que o termo resíduo compreende um único tipo de resíduo ou mistura de vários, para fins de co-processamento.

Sistema forno: Sistema composto por um conjunto de equipamentos envolvendo as etapas aquecimento, calcinação e produção final de clínquer, constituído basicamente de forno rotativo, pré-aquecedor, pré-calcinador e resfriador.

Teste de Queima: Conjunto de medições realizadas na unidade operando com a alimentação de resíduos, para avaliar a compatibilidade das condições operacionais da instalação de produção de clínquer com o atendimento aos limites de emissões definidos na presente Resolução e com as exigências técnicas fixadas pelo Órgão Ambiental.

Teste em Branco: Conjunto de medições realizadas no forno em funcionamento normal, operando sem a alimentação de resíduos. para avaliação das condições operacionais da Unidade de produção de clínquer e do atendimento às exigências técnicas fixadas pelo Órgão Ambiental.

Unidades de Mistura e pré-condicionamento de resíduos: Unidades onde se realiza o preparo e ou mistura de resíduos diversos resultando num produto com determinadas características, para serem utilizados no co-processamento.

Zona de combustão primária: Região do forno rotativo onde ocorre a queima do combustível primário, de forma a proporcionar a temperatura do material em clínquerização, na ordem de 1400°C - 1 500°C

Zona de combustão secundária: Região do sistema forno onde ocorre a queima do combustível secundário, na faixa de temperatura da ordem de 850°C a 1. 200°C, objetivando a pré-calcinação.

Zona de Queima: Local do forno onde ocorrem as reações de clínquerização.