UNICAMP

# UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

DEPARTAMENTO DE ENERGIA

## O EMPREGO DE RESÍDUOS COMO COMBUSTÍVEIS COMPLEMENTARES NA PRODUÇÃO DE CIMENTO NA PERSPECTIVA DA ENERGIA, DA SOCIEDADE E DO MEIO AMBIENTE

Estudo de caso: Minas Gerais no período 1980 - 1997

Autora: Auxiliadora Maria Moura Santi
Orientador: Arsênio Oswaldo Sevá Filho
Co-orientadora: Sílvia Azucena Nebra de Perez

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A REDAÇÃO FINAL DA TESE DEFENDIDA POR A. M. M. Santi E APROVADA PELA COMISSÃO JULGADORA EM 17/dez/1997

ORIENTADOR

Campinas, 17 de dezembro de 1997
SP - Brasil

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENERGIA

Área Interdisciplinar de Planejamento de Sistemas Energéticos

# TESE DE MESTRADO

## O EMPREGO DE RESÍDUOS COMO COMBUSTÍVEIS COMPLEMENTARES NA PRODUÇÃO DE CIMENTO NA PERSPECTIVA DA ENERGIA, DA SOCIEDADE E DO MEIO AMBIENTE

Estudo de caso: Minas Gerais no período 1980 - 1997

Autora: Auxiliadora Maria Moura Santi
Orientador: Arsênio Oswaldo Sevá Filho
Co-orientadora: Sílvia Azucena Nebra de Perez

DISSERTAÇÃO APRESENTADA À COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA DA UNICAMP, COMO PARTE DOS REQUISITOS PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ENERGÉTICOS.

Campinas, 17 de dezembro de 1997
SP - Brasil

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

Sa59a

Santi, Auxiliadora Maria Moura
O emprego de resíduos como combustíveis complementares na produção de cimento na perspectiva da energia, da sociedade e do meio ambiente. Estudo de caso: Minas Gerais no período 1980-1997. / Auxiliadora Maria Moura Santi.-- Campinas, SP: [s.n.], 1997.

Orientador: Arsênio Oswaldo Sevá Filho
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Resíduos. 2. Cimento - Indústria - Minas Gerais. 3. Política energética. 4. Política ambiental. I. Sevá Filho, Arsênio Oswaldo. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. III. Título.

# UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

**FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**
**DEPARTAMENTO DE ENERGIA**

**Área Interdisciplinar de Planejamento de Sistemas Energéticos**

## TESE DE MESTRADO

**O EMPREGO DE RESÍDUOS COMO COMBUSTÍVEIS COMPLEMENTARES NA PRODUÇÃO DE CIMENTO NA PERSPECTIVA DA ENERGIA, DA SOCIEDADE E DO MEIO AMBIENTE**
**Estudo de caso: Minas Gerais no período 1980 - 1997**

Autora: Auxiliadora Maria Moura Santi

**Orientador: Prof. Dr. Arsênio Oswaldo Sevá Filho**

**Co-orientadora: Profª Drª Sílvia Azucena Nebra de Perez**

**Prof. Dr. André Tosi Furtado**

**Prof. Dr. Electo Eduardo Silva Lora**

**Campinas, 17 de dezembro de 1997.**
**SP - Brasil**

Ao Jonas e aos nossos filhos, Suzana e Matteo.
Aos meus queridos pais, Natália e Matteo.

# AGRADECIMENTOS

À FEAM, por ter materializado as condições para que esse treinamento fosse realizado dentro de seu Programa de Capacitação de Recursos Humanos.

À FAPEMIG, pelo suporte financeiro, através da concessão de uma bolsa de estudos.

À Cimento Tupi, à Companhia de Materiais Sulfurosos - MATSULFUR, à Companhia Minas Oeste de Cimento - Fábrica Ponte Alta e à SOEICOM S/A, representadas pelos engenheiros Nilson Rodrigues de Assis, Leandro Couto Soares, Samuel Cisternas e Robson Liz de Almeida, que responderam o "Roteiro para Pesquisa sobre o Consumo de Combustíveis em Indústrias Cimenteiras sob os Aspectos Energético e Ambiental".

À Associação Brasileira de Cimento Portland, nas pessoas do Geólogo Everaldo Marciano Júnior e da Bibliotecária Rosemary, por terem me ajudado no trabalho de busca de informações sobre o processo de produção de cimento.

Ao Dr. Rolando Chacón Moroux, por ter aberto as portas da fábrica da CIMINAS para visitas e pelas informações sobre o emprego de resíduos em fornos de clínquer.

Aos técnicos da CETESB, do IAP, da FEEMA, da CEMIG, da DRT-MG/ MTb, do NUSAT/ INSS, do DNER-MG, da Secretaria de Estado da Saúde de Minas Gerais, da Secretaria Municipal de Saúde de Betim, da Secretaria Municipal de Saúde de Belo Horizonte, da PETROBRÁS, da CSD-GEOCLOCK e da Ambiência, pela presteza e atenção com que me receberam e responderam às entrevistas realizadas.

Aos funcionários do Departamento de Energia da Faculdade de Engenharia Mecânica, sempre atenciosos.

Aos professores Ricardo Maranhão, André Furtado, Caio Sanchez , Electo Silva Lora e Oswaldo Sevá, cujos cursos foram muito valiosos para minha formação.

Aos colegas Barreda, Ednildo, Ronaldo Madureira, Sérgio, Geraldina e Mirko, pela convivência amiga.

Aos colegas da FEAM Armando, Valéria, Frederico e Patrícia, por terem cuidado de maneira zelosa de todos os procedimentos administrativos de meu interesse durante minha estada na UNICAMP.

Aos colegas da FEAM Luiz Gonzaga, Sebastião Bahia, Claudinha e Angelina, pelas informações que contribuiram para o trabalho de investigação e ao Elmer, pela atenção e presteza na busca dos Processos COPAM.

Às amigas Beverly e Míriam Regina, pelo grande estímulo e pelo trabalho de acompanhar os trâmites burocráticos de meus documentos junto à FEAM e à FAPEMIG.

Ao Flávio e a Érica, à Tia Dora e ao Cherry, pelas acolhidas em São Paulo e no Rio de Janeiro.

Aos meus pais, que olharam pela Suzana e pelo Matteo na minha ausência.

Aos meus orientadores, Professora Sílvia, pelo carinho com que me recebeu, me acompanhou e me ajudou durante todo o Mestrado, e Professor Sevá, pela orientação sempre voltada para a abordagem dos processos de maneira integrada e pelo estímulo para que eu desenvolvesse esse trabalho com liberdade.

E, finalmente, ao Jonas, que paciente e carinhosamente, discutiu comigo todos os capítulos desta tese.

# RESUMO

Este trabalho, através de uma abordagem integrada, estuda o emprego de resíduos como combustíveis complementares na fabricação de cimento, considerando os aspectos tecnológicos e energéticos e suas inter-relações com a sociedade e o meio ambiente.

As investigações mostram que, nos últimos anos, as fábricas de cimento instaladas no Brasil têm revelado um interesse crescente em utilizar resíduos como combustíveis complementares e matérias-primas secundárias em seus fornos de clínquer.

Constata-se que a motivação principal da indústria de cimento para empregar resíduos em seus fornos de clínquer é econômica, pois a energia representa cerca de 30% dos custos de produção do cimento.

A investigação está voltada para a indústria de cimento instalada em Minas Gerais, que concentra a maior parte da produção brasileira e onde o uso de resíduos em fornos de clínquer se ampliou à partir do início da década de 1990.

Palavras-chave: 1. Resíduos
2. Cimento - Indústria - Minas Gerais
3. Política energética
4. Política ambiental

O Céu tem suas razões, a Terra tem seus recursos, o Homem tem sua ordem política, formando assim, com os dois anteriores, uma tríade. Mas ele erra se não respeita os fundamentos desta tríade, *sapateando* sobre os dois outros.

Xun Quang, "Xunzi", 17(Século III antes de nossa era), citado por Hémery.

# SUMÁRIO

**SUMÁRIO** ..... i

**LISTA DE SIGLAS** ..... v

**LISTA DE TABELAS** ..... vi

**LISTA DE QUADROS** ..... vii

**LISTA DE FIGURAS** ..... viii

**INTRODUÇÃO** ..... 1

**CAPÍTULO 1. PANORAMA DO SETOR CIMENTEIRO** ..... 13

1.1 PANORAMA INTERNACIONAL ..... 13
1.2 A INDÚSTRIA BRASILEIRA DE CIMENTO ..... 15
1.2.1 Capacitação produtiva e tecnológica da indústria brasileira de cimento ..... 19
1.2.2 Tipos de cimento fabricados no Brasil ..... 21
1.3 A INDÚSTRIA DE CIMENTO EM MINAS GERAIS ..... 22

**CAPÍTULO 2. USO DA ENERGIA NA FABRICAÇÃO DE CIMENTO** ..... 26

2.1 O PROCESSO DE PRODUÇÃO DE CIMENTO ..... 26
2.2 A INDÚSTRIA DE CIMENTO E A MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA ..... 29
2.2.1 Medida da eficiência energética da indústria de cimento ..... 32
2.3 A INDÚSTRIA DE CIMENTO APÓS OS CHOQUES DO PETRÓLEO E A INDUÇÃO AO USO DE RESÍDUOS COMO COMBUSTÍVEIS COMPLEMENTARES EM FORNOS DE CLÍNQUER ..... 35
2.4 USO DA ENERGIA NA INDÚSTRIA DE CIMENTO DE MINAS GERAIS ..... 37
2.5 O SUPRIMENTO DE ENERGÉTICOS ..... 42
2.5.1 Suprimento de energia elétrica ..... 42

2.5.2 Suprimento de óleo combustível ..... 44
2.5.3 Suprimento de carvão vegetal ..... 46
2.5.4 Suprimento de outros energéticos ..... 47
2.5.5 Carvão mineral ..... 48
2.5.6 Gás natural ..... 49

**CAPÍTULO 3. PRODUÇÃO DE CIMENTO E MEIO AMBIENTE ..... 50**

3.1 GERAÇÃO E CONTROLE DA POLUIÇÃO NA INDÚSTRIA DE CIMENTO ..... 50
3.1.1 Material particulado ..... 52
3.1.2 Gases ..... 54
3.2 INFLUÊNCIA DAS MATÉRIAS-PRIMAS E DOS COMBUSTÍVEIS NA EMISSÃO DE POLUIÇÃO ..... 59

**CAPÍTULO 4. A UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO COMBUSTÍVEIS COMPLEMENTARES EM FORNOS DE CLÍNQUER ..... 66**

4.1 O PAPEL DA INDÚSTRIA DE CIMENTO NA DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS ..... 66
4.2 RESÍDUOS COMO MATÉRIAS-PRIMAS SECUNDÁRIAS E COMO COMBUSTÍVEIS COMPLEMENTARES ..... 67
4.2.1 Tratamento térmico de resíduos organoclorados ..... 73
4.2.2 Tratamento térmico de pneus ..... 74
4.3 TECNOLOGIAS DE ALIMENTAÇÃO DE RESÍDUOS NOS FORNOS DE CLÍNQUER ..... 76
4.4 UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS NAS FÁBRICAS DE CIMENTO BRASILEIRAS ..... 78
4.4.1 Escórias de alto forno e outros resíduos como adições ao cimento ..... 78
4.4.2 Emprego de resíduos como combustíveis complementares na produção de cimento ..... 78
4.5 O QUADRO NAS FÁBRICAS DE CIMENTO INSTALADAS EM MINAS GERAIS ..... 81
4.5.1 Tecnologias para a alimentação de resíduos nos fornos de clínquer ..... 83
4.5.2 Resíduos empregados ..... 84

**CAPÍTULO 5. ASPECTOS SOCIAIS DA PRODUÇÃO DE CIMENTO..... 95**

5.1 OS PRINCIPAIS ATORES NO CENÁRIO DA PRODUÇÃO DE CIMENTO..... 96
5.1.1 As fábricas de cimento..... 96
5.1.2 Os órgãos ambientais e o SISNAMA..... 96
5.1.3 O Sistema de Meio Ambiente do Estado de Minas Gerais..... 99
5.1.4 O controle ambiental do processamento de resíduos em fornos de clínquer pela CETESB-SP, FEAM-MG, FEEMA-RJ e IAP-PR..... 99
5.1.5 As instituições normativas..... 103
5.1.6 Os geradores de resíduos..... 104
5.1.7 As empresas gestoras de resíduos..... 105
5.1.8 As populações..... 107
5.1.9 Os trabalhadores das fábricas de cimento e da construção civil..... 107
5.2 OS PRINCIPAIS ATORES ENVOLVIDOS NO TRATAMENTO DE RESÍDUOS NAS FÁBRICAS DE CIMENTO DE MINAS GERAIS..... 108
5.2.1 As fábricas de cimento..... 108
5.2.2 O Copam e a Feam..... 108
5.2.3 Outros atores..... 109
5.2.4 As populações..... 113
5.3 INDUSTRIALIZAÇÃO E PROBLEMAS DE SAÚDE..... 113
5.3.1 Sobre a saúde dos trabalhadores..... 116
5.3.2 Sobre a saúde das populações..... 124
5.3.3 Fábricas de cimento e saúde pública em Minas Gerais..... 128
5.3.4 Proposta da FEAM para a incorporação de critérios de saúde do trabalhador no licenciamento ambiental..... 134

**CAPÍTULO 6. A TÍTULO DE CONCLUSÃO..... 135**

**BIBLIOGRAFIA..... 144**

**FONTES CONSULTADAS..... 150**

**ABSTRACT..... 156**

**ANEXOS**..... 157

ANEXO I
Roteiro para Pesquisa sobre o Consumo de Combustíveis em Indústrias Cimenteiras sob os Aspectos Energético e Ambiental.

ANEXO II
Lista de pessoas entrevistadas e instituições e empresas contatadas

ANEXO III
Fábricas de cimento instaladas no Brasil

ANEXO IV
Cópia do Protocolo assinado entre o Ministério da Indústria e Comércio, o Ministério das Minas e Energia, o Ministério dos Transportes, o Sindicato Nacional da Indústria de Cimento e o Sindicato da Indústria de Extração de Carvão

ANEXO V
Brasil: Consumo de resíduos como combustíveis complementares pelas fábricas de cimento no período 1985 - 1995

ANEXO VI
Minas Gerais: Produção de cimento e consumo de energéticos para fins térmicos pelas fábricas de cimento no período 1986 - 1995 e outras informações

ANEXO VII
Dados sobre coque verde de petróleo e óleos ultra-viscosos produzidos na Refinaria Gabriel Passos - REGAP/ PETROBRÁS

ANEXO VIII
Brasil: Resíduos empregados como combustíveis complementares nas fábricas de cimento no período 1985 - 1995

ANEXO IX
Dados sobre os resíduos da USIMINAS processados na SOEICOM

ANEXO X
Dados sobre as fábricas de cimento instaladas nos Estados do Rio de Janeiro, Paraná e São Paulo

ANEXO XI
Mapas de localização de algumas fábricas de cimento instaladas em Minas Gerais

# LISTA DE SIGLAS

| | |
|---|---|
| ABCP | Associação Brasileira de Cimento Portland |
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| ABRACAVE | Associação Brasileira de Florestas Renováveis |
| ANIP | Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos |
| BDMG | Banco de Desenvolvimento de Minas Gerais |
| BEE-MG | Balanço Energético do Estado de Minas Gerais, Conselho Estadual de Energia |
| BEN | Balanço Energético Nacional, Ministério de Minas e Energia |
| CEMIG | Companhia Energética de Minas Gerais, Conselho Estadual de Energia |
| CETESB | Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, São Paulo |
| CIMINAS | Holdercim do Brasil - Divisão CIMINAS |
| CMOC | Companhia Minas Oeste de Cimento SA |
| CODEMA | Conselho Municipal de Meio Ambiente |
| CONAMA | Conselho Nacional de Meio Ambiente |
| COPAM | Conselho Estadual de Política Ambiental, Minas Gerais |
| DER-MG | Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de Minas Gerais |
| DIDOC/FEAM | Divisão de Documentação e Informação da FEAM |
| DMPS/UFMG | Área de Saúde no Trabalho, Faculdade de Medicina da UFMG |
| DNER | Departamento Nacional de Estradas de Rodagem |
| DRT-MG/MTb | Delegacia Regional do Trabalho, Ministério do Trabalho, Seccional MG |
| FEAM | Fundação Estadual do Meio Ambiente, Minas Gerais |
| FEEMA | Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente, Rio de Janeiro |
| IAP | Instituto Ambiental do Paraná |
| IBAMA | Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| IEF | Instituto Estadual de Florestas, Minas Gerais |
| IGAM | Instituto Mineiro de Gestão das Águas |
| INDI | Instituto de Desenvolvimento Industrial, Minas Gerais |
| INMETRO | Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial |
| INST | Instituto Nacional de Saúde no Trabalho, CUT |
| IPT | Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo |
| MATSULFUR | Companhia de Materiais Sulfurosos SA |
| NUSAT/INSS/M | Núcleo de Referência em Doenças Ocupacionais, INSS |
| NUVIST | Núcleo de Vigilância da Saúde do Trabalhador da Secretaria Municipal de |
| REGAP | Refinaria Gabriel Passos |
| SEMAD | Secretaria de Estado do Meio Ambiente e do Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais |
| SES | Secretaria de Estado da Saúde de Minas Gerais |
| SINDIFER | Sindicato da Indústria do Ferro do Estado de Minas Gerais |
| SISNAMA | Sistema Nacional do Meio Ambiente |
| SNIC | Sindicato Nacional da Indústria de Cimento |
| SOEICOM | Sociedade, Empreendimento, Comércio e Mineração SA |
| USEPA | US Environmental Protection Agency, USA |

# LISTA DE TABELAS


1.1 Panorama mundial: Produção e consumo aparente de cimento - 1994 ..... 14
1.2 Brasil: Capacidade instalada para a produção de cimento e número de fornos por Região Geográfica..... 16
1.3 Brasil: Produção e consumo de cimento por Região Geográfica - 1995..... 17
1.4 Custos de produção de uma planta de cimento..... 19
1.5 Brasil: Características tecnológicas da Indústria de Cimento..... 20
1.6 Brasil: Principais tipos de cimento Portland..... 21
1.7 Brasil: Tipos de cimento e participação percentual na produção..... 21
1.8 Minas Gerais: Perfil dos pólos cimenteiros..... 24
2.1 Consumo específico de energia térmica para a produção de clínquer..... 27
2.2 Distribuição percentual do consumo de energia térmica na fábrica de cimento..... 28
2.3 Distribuição percentual do consumo de energia elétrica na fábrica de cimento..... 28
2.4 Balanço térmico de um sistema de forno com pré-aquecedor e pré-calcinador..... 29
2.5 Brasil: Consumo final de energéticos na produção de cimento..... 31
2.6 Brasil: Consumo de energéticos para fins térmicos por Região Geográfica..... 31
2.7 Brasil: Evolução do consumo específico de energia no Setor Cimenteiro no período 1980/ 1995..... 33
2.8 Brasil: Evolução do consumo específico de energia para fins térmicos no Setor Cimenteiro no período 1980/ 1995..... 33
2.9 Minas Gerais: Consumo final de energia na produção de cimento..... 38
2.10 Minas Gerais: Evolução do consumo específico de energia no Setor Cimenteiro no período 1980/ 1995..... 39
2.11 Minas Gerais: Evolução do consumo específico de energia para fins térmicos no Setor Cimenteiro no período 1980/ 1995..... 39
2.12 Minas Gerais: Consumo de energéticos para fins térmicos - 1995..... 42
2.13 Minas Gerais: Consumo de energia elétrica pelas fábricas de cimento - 1995..... 44
2.14 Minas Gerais: Preços médios dos energéticos empregados na indústria de cimento.... 48
3.1 Composição química do material particulado..... 54
3.2 Porcentagem de retenção e de emissão de elementos químicos em plantas de cimento..... 64
4.1 Resíduos empregados como matérias-primas secundárias..... 70
4.2 Parâmetros operacionais de fornos de clínquer e incineradores convencionais..... 73

4.3 Balanço de massa para o elemento cloro na planta de clínquer da fábrica de cimento Frangey-Lafarge ..... 74
4.4 Composição média de diferentes tipos de pneus ..... 75
4.5 Brasil: Emprego de resíduos como aditivos ao cimento ..... 78
4.6 Brasil: Resíduos empregados como combustíveis complementares em fábricas de cimento no período 1976/ 1995 ..... 80
4.7 Resíduos da COPENE processados nos fornos da CIMINAS ..... 91
4.8 Análise química dos resíduos da COPENE ..... 91
4.9 Resultados da análise de efluentes na chaminé da CIMINAS com processamento de resíduos da COPENE ..... 92
4.10 Resultados da análise do clínquer produzido durante o processamento de resíduos da COPENE ..... 92
4.11 Taxa de emissão estimada para os elementos zinco, cromo, níquel e cobre ..... 94
4.12 Concentração dos elementos zinco, cromo, níquel e cobre no clínquer ..... 94
5.1 Minas Gerais: População dos municípios onde estão instaladas fábricas de cimento ..... 113
5.2 Minas Gerais: Distribuição dos atendimentos devido a dermatite de contato - 1995 ..... 120
5.3 Minas Gerais: Número de empregados nas indústrias de cimento ..... 123
5.4 Concentrações de metais permitidas pela USEPA para testes de lixiviação "TCLP extract " ..... 127
5.5 Limites e concentração de metais no cimento Portland comercializado nos Estados Unidos ..... 127
5.6 Atendimento geral por grupo de causa no Município de Carandaí/ MG ..... 129

## LISTA DE QUADROS

4.1 Minas Gerais: Utilização de resíduos como combustíveis complementares em fornos de clínquer ..... 82
5.1 Brasil: Composição institucional do SISNAMA ..... 98
5.2 Minas Gerais: Atores envolvidos no tratamento térmico de resíduos em fábricas de cimento ..... 110
5.3 Empresas geradoras de resíduos tratados nas fábricas de cimento instaladas em Minas Gerais ..... 111
5.4 Efeitos toxicológicos do cimento ..... 117

# LISTA DE FIGURAS

1.1 Brasil: Localização das fábricas de cimento ..... 18
1.2 Minas Gerais: Distribuição espacial da indústria de cimento ..... 25
2.1 Fluxograma da produção de cimento - Processo por via seca ..... 30
2.2(a) Brasil: Análise do consumo específico de energia térmica na produção de cimento no período 1980 - 1995 ..... 34
2.2(b) Brasil: Participação percentual dos principais energéticos no consumo do Setor Cimenteiro ..... 35
2.3(a) Minas Gerais: Análise do consumo específico de energia térmica na produção de cimento no período 1980 - 1995 ..... 41
2.3(b) Minas Gerais: Consumo de carvão mineral, carvão vegetal e óleo combustível na indústria de cimento no período 1980 - 1995 ..... 41
3.1 Formação de ciclos químicos no processo de produção de clínquer ..... 53
3.2 Emissões atmosféricas de uma fábrica de cimento ..... 60
4.1 Alternativas para o reaproveitamento de resíduos em uma fábrica de cimento ..... 68
4.2 Alternativas para o reaproveitamento de resíduos em uma fábrica de cimento considerando os aspectos ambientais dessa atividade ..... 69
4.3 Fluxograma do forno de clínquer com alimentação de resíduo como combustível complementar ..... 77
4.4 Sistema de alimentação de resíduos líquidos no forno de clínquer ..... 85
4.5 Sistema de alimentação de resíduos acondicionados em tambores de papelão ..... 86
4.6 Sistema de alimentação de resíduos pastosos acondicionados em "big-bags" ..... 87
4.7 Parafuso alimentador de resíduos sólidos ..... 88
5.1 Pólos cimenteiros no Sudeste do Brasil e o seu suprimento de combustíveis ..... 114
5.2 Mapa destacando Belo Horizonte e os municípios mais próximos onde estão instaladas fábricas de cimento ..... 130
5.3 Mapa de localização das fábricas de cimento na RMBH ..... 131
5.4 Mapa de localização da SOEICOM no Município de Vespasiano - MG ..... 132
5.5 Mapa de localização da Cauê e da CIMINAS no Município de Pedro Leopoldo - MG ..... 133

# INTRODUÇÃO

Neste trabalho, investiga-se de uma perspectiva interdisciplinar, considerando-se a Energia, a Sociedade e o Meio Ambiente, a utilização de resíduos gerados em atividades industriais como combustíveis complementares na produção de cimento.

A investigação está voltada para a indústria de cimento instalada no Estado de Minas Gerais, que concentra a maior parte da produção brasileira e onde se constata que o emprego de resíduos em fornos de clínquer se ampliou desde o início da década de 1990. A primeira licença para o tratamento térmico de resíduos em fornos de clínquer foi concedida pelo COPAM no final de 1989.

A utilização em maior escala de resíduos como combustíveis pela indústria de cimento dos países da Europa e da América do Norte data da década de 1970, devido aos choques nos preços do petróleo em 1973 e 1979, e ao crescimento explosivo da conscientização sobre as questões relativas ao meio ambiente e à preservação da qualidade de vida.

Embora a utilização significativa de resíduos como combustíveis não seja recente, os estudos e as informações sobre os impactos ao meio ambiente, sobre a saúde do trabalhador e sobre a saúde das populações envolvidas são ainda bastante incipientes e, muitas vezes, indisponíveis. Entretanto, a tecnologia de alimentação e de tratamento térmico de resíduos em fornos de clínquer já é bem conhecida.

Por esse motivo, esta investigação deve ser do interesse de todos que se beneficiam e que sofrem com a produção e o emprego do cimento e com a comercialização e a utilização de resíduos como combustíveis complementares, e para todos aqueles que regulamentam, fiscalizam, planejam e operam nas áreas da energia, da saúde e do meio ambiente.

Três pontos, intimamente relacionados entre si, nortearam o desenvolvimento deste trabalho. O primeiro diz respeito à sua inserção no âmbito dos estudos dos sistemas energéticos. Por isso, pareceu oportuno considerar o conceito de "sistemas energéticos" apresentado por HÉMERY et al. (1993), "*que inclui de um lado as características ecológicas e tecnológicas das linhas energéticas (evolução das fontes, dos conversores e seus rendimentos) e, de outro, as estruturas sociais de apropriação e de gestão destas fontes e destes conversores*".

Para esses autores, *"um sistema energético é a combinação original de diversas linhas de conversores, que se caracterizam pela utilização de determinadas fontes de energia e por sua interdependência, pela iniciativa e sob o controle de classe ou grupos sociais, os quais se desenvolvem e se reforçam com base neste controle. ... São elementos básicos da definição de um sistema energético suas características ecológicas e técnicas, a saber: área e técnicas de suprimento de energia primária, modos de coleta ou de extração, de transporte e armazenamento, tipos de conversores e formas de energia final; enfim, sobretudo, as relações constantemente modificadas, de concorrência e de complementaridade entre as diversas linhas. Uma segunda série de elementos de definição dos sistemas energéticos, indissociáveis dos precedentes: as formas de apropriação, que comandam a escolha dos conversores e dos modos de consumo de energia."*

O segundo ponto está relacionado ao "Desenvolvimento e Meio Ambiente", considerando sobretudo como a Sociedade se relaciona com a Natureza. Isto se contrapõe à concepção, ainda predominante, de que desenvolvimento é "*crescimento dos meios de produção, é acumulação, é inovação técnica, é aumento de produtividade, enfim, é expansão das forças produtivas, e não alteração das relações sociais de produção*" (HERCULANO, 1992), que é visível nas sociedades modernas, que sempre associam o consumo à qualidade de vida e ao sucesso pessoal.

A contraposição entre desenvolvimento e meio ambiente, embora não antagônica, leva ao entendimento de que um novo padrão de desenvolvimento, baseado na redução das taxas de extração dos recursos naturais, na conservação de energia e materiais nos processos produtivos, no desenvolvimento de tecnologias limpas empregando recursos renováveis, deve ser estabelecido. Para atingir este objetivo, seriam necessárias transformações sociais e estruturais profundas, relacionadas às formas de comportamento, à acentuada e à acelerada extração de recursos naturais, que visam lucros crescentes e aos padrões de consumo adotados.

O abandono desse paradigma exigiria uma revisão profunda nos modos de pensar e em mecanismos econômicos muito arraigados nos países industrializados e nas elites dos demais países. Além disso, seria necessária uma mudança radical de comportamentos, que os privilegiados encarariam como um grande sacrifício.

Assim, com o modo de vida atual, moldado cada vez mais no uso intensivo dos recursos naturais e na geração de resíduos, já se coloca a necessidade de se ampliar o conceito de custos de produção para incluir os custos ambientais e sociais associados à atividade produtiva.

Na atualidade, são grandes as discussões sobre o meio ambiente e desenvolvimento . Elas têm como eixo condutor o conceito de "Desenvolvimento Sustentável"[1], proposto, em 1987, pela Comissão Mundial Sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento em seu relatório "Nosso Futuro Comum" e discutido na Conferência das Nações Unidas Sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada na cidade do Rio de Janeiro, em 1992.

O terceiro ponto aborda, da perspectiva ambiental, a geração de resíduos e sua destinação. Como salientado por FIGUEIREDO (1994), "*os problemas associados aos resíduos decorrem de duas componentes principais: a crescente geração de resíduos e a evolução qualitativa dos mesmos* ". À medida que os problemas associados aos resíduos tornaram-se evidentes, devido aos grandes volumes acumulados e à periculosidade intrínseca a muitos deles, muitas técnicas para sua destinação foram desenvolvidas. Entretanto, elas se mostraram insuficientes para resolver o problema na sua totalidade.

Atualmente, a pressão da sociedade, principalmente através dos organismos controladores e fiscalizadores do meio ambiente, associada à legislação ambiental que estabelece limites de emissão para as atividades poluidoras, têm levado os geradores de resíduos a procurarem soluções mais aceitáveis para sua destinação. O tratamento térmico desses resíduos tem sido uma dessas soluções.

Logo, este trabalho de investigação sobre o emprego de resíduos diversos como combustíveis complementares em fornos de clínquer para a produção de cimento, ao tratar da questão energética de um processo industrial e de todas as suas interfaces se insere no universo dos sistemas energéticos; ao tratar da queima (tratamento térmico) de resíduos, se insere no universo do gerenciamento ambiental; e ao tratar da minimização do uso de recursos naturais (combustíveis fósseis) e das alterações tecnológicas de processo, se insere no universo do desenvolvimento tecnológico.

Este trabalho de investigação permitiu conhecer parte do sistema de produção de cimento no Brasil, em especial sua relação com a energia e o meio ambiente e alguns aspectos da saúde do trabalhador e das populações envolvidas, considerando o consumo de energéticos tradicionais de origem fóssil e o tratamento de resíduos como combustíveis complementares em fornos de

[1] Nos termos do Relatório Brudtland (HERCULANO, 1992), o "Desenvolvimento Sustentável" é definido como aquele que "atende às necessidades do presente, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de também atenderem às suas; é um processo de mudança no qual a exploração dos recursos , a orientação dos investimentos, os rumos do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional estão de acordo com as necessidades atuais e futuras; é um desenvolvimento que mantém as opções futuras; é uma correção, uma retomada do desenvolvimento, a fim de torná-lo menos intensivo em matérias-primas e mais eqüitativo em seu impacto".

clínquer; as alterações ambientais associadas ao processamento e a regulamentação de alguns órgãos ambientais. Nele, discutiu-se os interesses reais da indústria de cimento em usar resíduos em seus fornos, as modificações nas operações do processo produtivo e na qualidade do produto final, bem como as alterações que possam ocorrer no meio ambiente e na saúde das pessoas direta ou indiretamente ligadas à produção e ao uso do cimento.

A abordagem neste trabalho é interdisciplinar, trata o uso de resíduos como combustíveis complementares de fornos de clínquer em plantas de cimento de forma integrada e abrangente, relacionando as questões da Energia, da Sociedade e do Meio Ambiente.

Sob a óptica do Planejamento Energético, o estudo do suprimento e consumo de energia na indústria de cimento compreende uma série de atividades econômicas, sociais e ambientais, que abrangem a definição de políticas públicas setoriais e regionais, que estão relacionadas com a oferta e os custos de energéticos, com os processos de regulamentação para a fiscalização e o controle ambiental da atividade produtiva como um todo, com os riscos técnicos associados à produção, ao manuseio, ao transporte e à utilização desses energéticos, com a saúde dos trabalhadores envolvidos e das pessoas afetadas direta e indiretamente pelo empreendimento.

O parque cimenteiro instalado no Brasil é constituído por 47 fábricas de clínquer e cimento, além de 11 unidades de moagem, sendo que 98% da produção é obtida em processos por via seca. O consumo específico de energia para fins térmicos, empregada principalmente nos fornos de clínquer, que operam em temperaturas muito elevadas (~1.450°C), movimentando enormes quantidades de materiais, oscila em função da tecnologia empregada entre 3.260 e 3.770 kJ/ kg de cimento produzido (780 e 900 kcal/kg de cimento produzido). O consumo específico de energia elétrica situa-se entre 82 e 150 kWh/t de cimento, sendo que 70% são consumidos nas etapas de moagem de matérias-primas e clínquer (CEMIG, 1992; SILVA, 1994).

Em 1995, a indústria instalada no Brasil produziu 28.250 mil toneladas de cimento, cerca de 2% da produção mundial, e consumiu para este fim blocos de energia equivalentes à 2.790 mil tEP (BEN, 1996).

As plantas de cimento instaladas no Brasil utilizam óleo combustível, carvão mineral ou carvão vegetal para suprir a demanda de energia térmica de seus fornos de clínquer. É usual o emprego de mais de um tipo de combustível, podendo se consumir tipos diferentes simultaneamente, sendo que a opção pelos combustíveis normalmente é determinada pelo seu preço individual.

Devido ao grande consumo de energia, que representa mais de 30% do custo total de produção para a indústria de cimento, a redução nos gastos com insumos energéticos é a principal motivação para os avanços tecnológicos de processo. A utilização de combustíveis mistos, ou mesmo a substituição de combustíveis por outros materiais secundários são formas encontradas pelas indústrias para reduzir os custos associados ao consumo de energéticos.

Nos últimos vinte anos, com o agravamento da crise energética mundial, configurada pelos choques do petróleo ocorridos na década de 1970, generalizou-se o emprego de combustíveis alternativos mais baratos para atender as demandas de energia térmica dos processos industriais.

O comportamento da indústria brasileira de cimento refletiu com nitidez o quadro de escassez na oferta interna de combustíveis derivados do petróleo. Foram feitos esforços no sentido de minimizar seus efeitos e as fábricas de cimento passaram a empregar carvão mineral nacional em seus fornos. Em menor escala, também foram utilizados resíduos como energéticos complementares nos fornos de clínquer, o que dotou as empresas nacionais de alguma experiência no manuseio e utilização de diferentes combustíveis residuais.

Esse fenômeno não cessou com a regularização do mercado interno de óleo combustível, mas só recentemente o emprego de resíduos como energéticos começou a evoluir no Brasil, com as fábricas cada vez mais interessadas em alimentar seus fornos com esses materiais para diminuir os custos de produção do cimento, ampliando o leque das alternativas energéticas para os fornos de clínquer para além das fronteiras óleo combustível - carvão mineral - carvão vegetal.

O processo de substituição do óleo combustível nos fornos de clínquer levou a indústria instalada no Brasil a buscar alternativas, mas o emprego de resíduos como energéticos não justifica por si só o crescimento dessa prática nos dias atuais.

Na década de 1980, os problemas ambientais, decorrentes das formas inadequadas de destinação dos imensos volumes de resíduos gerados, despertaram inicialmente a preocupação com o controle desses materiais. Naquela época, em muitos países industrializados e mais recentemente no Brasil, foram criadas leis e regulamentações específicas, cuja essência está na definição geral de "resíduos sólidos" ou "resíduos perigosos" e/ou numa listagem de resíduos que são considerados perigosos, usando-se como critérios de classificação a origem do resíduo, a presença de substâncias ou compostos tóxicos e suas propriedades. Também estabeleceram regras para as operações de manuseio, transporte, tratamento e estocagem de resíduos e para sua disposição em aterros.

Enquanto era possível descartar os resíduos de qualquer maneira, não havia outra alternativa economicamente mais vantajosa para quem os produziu. Entretanto, as restrições impostas às práticas inadequadas para a destinação de resíduos, originadas pela pressão da sociedade, cada vez mais consciente dos perigos que esses materiais acarretam à sua saúde e ao meio ambiente, e refletidas nas ações controladoras dos órgãos ambientais, a geração de resíduos, bem como a forma como eles são tratados, está se tornando um problema crescente para os geradores.

Somente após a pressão da sociedade e a conseqüente regulamentação e intensificação da fiscalização e do controle pelos órgãos ambientais é que o tratamento térmico de resíduos tornou-se uma opção a ser considerada e, em alguns casos, a única a ser adotada para certos resíduos de alta periculosidade[2].

Devido aos altos custos da incineração, que no Brasil oscilam em função das diversas características físico-químicas e da periculosidade dos resíduos a serem tratados entre valores que vão de US$ 500 a US$ 1.200 por tonelada processada (AMBIÊNCIA, entrevista, 1996), a alternativa do tratamento térmico dos resíduos em fornos de clínquer tornou-se muito atraente[3] .

Conclui-se, portanto, que existe uma conveniente convergência de interesses distintos, colocando o forno de clínquer como uma solução peculiar que se orienta no eixo sistematicamente representado como "destruição térmica de resíduos (meio ambiente) - queima de combustíveis residuais (energia) ", atendendo simultaneamente aos anseios da indústria de cimento, na sua permanente busca de energéticos alternativos de baixo custo e oferta regular, e aos interesses do grande gerador de resíduos. Entretanto, numa representação mais realista deve-se considerar o eixo "resíduo (meio ambiente) - destruição térmica de resíduos (meio ambiente) - queima de combustíveis residuais (energia) - novos resíduos (meio ambiente) ".

Além dos combustíveis considerados tradicionais - óleo combustível, carvão mineral e carvão vegetal - as fábricas de cimento instaladas no Brasil estão utilizando como combustíveis complementares, em escala crescente, casca de arroz, aparas de pneus, alcatrão, coque de petróleo etc. A quantidade desses combustíveis aumentou em 72,5% de 1994 para 1995, passando de 82 mil toneladas para 141,5 mil toneladas, correspondendo a um aumento de 16,8% em tEOC (SNIC, 1995).

---

[2] A periculosidade de um resíduo ou mistura de resíduos está associada às suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade, podendo apresentar riscos à saúde pública e ao meio ambiente, provocando ou contribuindo para um aumento da incidência de mortalidade ou de doenças quando manuseados ou dispostos de forma inadequada (NBR 10.004; CETESB, 1993).

[3] O custo do tratamento térmico dos resíduo nos fornos de clínquer também é variável, mas em patamares bem inferiores, de US$50 à US$400 por tonelada de produto tratado (AMBIÊNCIA, entrevista, 1996).

Assim, fica evidente que a indústria de cimento é um setor altamente intensivo em energia, e deve ser considerado nos estudos de planejamento energético, principalmente face às mudanças na sua matriz energética, que estão ocorrendo continuamente, desde a crise do petróleo dos anos 70, ainda que esta mudança seja muito heterogênea quando se considera cada fábrica de cimento. A novidade é o emprego de resíduos como combustíveis complementares, associando essa prática às questões do meio ambiente no que se refere à redução do consumo de recursos naturais (combustíveis fósseis) e às vantagens do tratamento térmico desses resíduos nos fornos de clínquer.

A indústria de cimento é um setor importante do parque industrial de Minas Gerais. Com capacidade instalada para a produção de 9,3 milhões de toneladas de cimento por ano, produziu 7,1 milhões toneladas em 1995, o que representa 25 % da produção nacional (SNIC, 1995; INDI, 1992), garantindo ao Estado a posição de maior produtor do País.

Dados do Balanço Energético do Estado de Minas Gerais (BEE-MG, 1996) mostram que em 1995 o consumo final de energia pela indústria mineira de cimento foi de 590 mil tEP, correspondendo à 5,5 % da energia total consumida pelo setor industrial de Minas Gerais.

Atualmente, as fábricas de cimento instaladas em Minas Gerais estão interessadas em utilizar resíduos gerados em diferentes atividades como combustíveis complementares àqueles tradicionalmente empregados em seus fornos de clínquer.

Essa prática, que se iniciou nos anos 70, quando resíduos como casca de arroz, lenha, alcatrão, serragem, moinha de coque e finos de carvão vegetal começaram a ser empregados pelas indústrias instaladas no Brasil para suprir a redução na oferta interna de óleo combustível, está sofrendo uma transformação, tanto em relação aos tipos de resíduos que compõem o elenco de materiais promissores para serem usados como combustíveis, como em relação aos seus objetivos. Solventes contaminados, borras de estações de tratamento de efluentes industriais, produtos orgânicos fora de especificação, borras de fundo de tanques de estocagem de produtos petroquímicos, óleos lubrificantes usados são exemplos de resíduos que estão sendo tratados termicamente nos fornos de clínquer . O objetivo principal das fábricas de cimento ainda é a redução dos custos da produção, através da minimização dos gastos com insumos energéticos, muito embora, algumas indústrias e os geradores de resíduos façam marketing com a redução do consumo de recursos naturais (combustíveis fósseis) e a destinação "segura" dos resíduos, através do seu tratamento térmico em altas temperaturas, com incorporação das cinzas do material à massa cristalográfica do clínquer.

Entretanto, constata-se que essa prática não é totalmente conhecida sequer pelos pesquisadores e pelas industrias dos países desenvolvidos, onde o tratamento térmico de resíduos em grande escala é mais antigo e a legislação ambiental mais severa. Há ainda muitas dúvidas sobre o comportamento desses materiais nos sistemas dos fornos, devido à complexidade dos processos, por causa da diversidade da composição química e mineralógica das matérias-primas e dos produtos, das reações químicas de formação do clínquer, do comportamento individualizado dos diferentes elementos químicos em função do perfil de temperaturas do forno, dos "ciclos químicos" formados pelos fluxos de materiais dentro e fora do forno. Além disso, na operação desses sistemas é necessário se considerar a toxicidade de alguns dos componentes dos materiais processados, a emissão de poluentes para a atmosfera e a qualidade do cimento produzido.

Há diferentes opiniões sobre a alimentação de resíduos em fornos de clínquer, sendo que a linha principal de argumentação dos defensores dessa prática é desenvolvida considerando-se que a emissão de poluentes para atmosfera quando resíduos são empregados como combustíveis complementares não é maior do que a emissão quando combustíveis convencionais são utilizados, uma vez que nas matérias-primas e nos combustíveis convencionais também estão presentes componentes não desejáveis como cloretos, álcalis, enxofre e metais pesados.

A produção de cimento com utilização de resíduos como combustíveis complementares em fornos de clínquer envolvem diversos atores, que atuam em diferentes níveis em função de seu papel institucional ou empresarial: as fábricas de cimento, as indústrias geradoras de resíduos, as empresas que atuam no gerenciamento de resíduos, as transportadoras, as instituições públicas reguladoras e controladoras, as instituições públicas da área de saúde, os trabalhadores (de escolaridade diversa) e as populações direta e indiretamente afetadas por estas atividades.

Em Minas Gerais, os atores envolvidos são as fábricas de cimento CIMINAS, Cauê e SOEICOM que têm licença ambiental para processar resíduos como combustíveis complementares em seus fornos de clínquer; o COPAM e a FEAM, que são órgãos ambientais do Estado; os CODEMAS e as Secretarias Municipais de Meio Ambiente; o DER-MG e o DNER, que são responsáveis pelo transporte rodoviário de cargas; a Secretaria de Estado da Saúde de Minas Gerais; as Secretarias Municipais de Saúde; os núcleos de saúde do trabalhador, como o NUSAT/ INSS e o DMPS/ Faculdade de Medicina da UFMG; os órgãos deliberativos e normativos da esfera federal, como o CONAMA, o INMETRO e a ABNT; em caso de acidentes, as corporações policiais, como o Corpo de Bombeiros, a Polícia Rodoviária e a Defesa Civil; as diversas empresas transportadoras; as diversas empresas que atuam no gerenciamento de resíduos; as populações diretamente e indiretamente envolvidas, que incluem os que vivem nos municípios localizados nas áreas de influência ambiental das fábricas de cimento e aquelas expostas aos riscos do transporte

de resíduos, em geral perigosos; e os trabalhadores das indústrias de cimento e da construção civil.

Portanto, o tema deste trabalho é atual e relevante para o Estado de Minas Gerais, onde está instalado o maior parque cimenteiro do Brasil, e também para outros Estados brasileiros, onde essa prática vem sendo adotada pelas fábricas de cimento lá instaladas e para aqueles Estados que são consumidores do cimento produzido em Minas Gerais.

Por outro lado, a complexidade do sistema, que é caracterizada pelo grande número de atores com interesses diversificados, e a cadeia de processos envolvidos mostram a abrangência deste trabalho de investigação.

Na primeira etapa deste trabalho foi realizada uma extensa pesquisa na Biblioteca da Área de Engenharia da UNICAMP, na Biblioteca da Escola de Engenharia da UFMG, na Biblioteca da Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP e na FEAM, com o objetivo de se obter informações sobre as tecnologias de produção de cimento e de utilização de resíduos em fornos de clínquer como combustíveis complementares ao óleo combustível e aos carvões e suas implicações sobre o meio ambiente. Também foram consultadas publicações da CEMIG e do IPT e artigos publicados no "ZEMENT-KALK-GIPS", no "WORLD CEMENT" e no "CIMENTS, BÉTONS, PLÂTRES, CHAUX". Dados das séries históricas de consumo de combustíveis por fábrica de cimento foram conseguidos na ABCP, em relatórios anuais publicados pelo Sindicato Nacional da Indústria do Cimento - SNIC.

O ponto de partida para as investigações foi o estudo detalhado dos Processos COPAM relativos às fábricas de cimento instaladas em Minas Gerais. Com este objetivo, foi consultada toda documentação disponível durante a pesquisa realizada na Divisão de Documentação e Informação da FEAM [4].

Os dados obtidos na FEAM e nos relatórios anuais do SNIC foram lançados no "*Roteiro para Pesquisa sobre o Consumo de Combustíveis em Indústrias Cimenteiras sob os Aspectos Energético e Ambiental*", apresentado no Anexo I, preparado para cada fábrica de cimento instalada em Minas Gerais.

[4] A FEAM conta em sua organização institucional com uma Divisão de Informação e Documentação - DIDOC, onde estão protocolados e arquivados todos os documentos, relatórios técnicos, pareceres, laudos de fiscalização, ofícios e demais informações relacionadas aos empreendimentos controlados pelo COPAM. Os documentos são organizados em processos individuais, por empreendimento.

A fim de se atualizar e se complementar os dados, foi enviado a cada cimenteira o seu Roteiro preenchido com as informações encontradas. Para se ter idéia da disposição e do interesse das indústrias em colaborar com a pesquisa, foram feitos contatos telefônicos com todos os gerentes de fábrica das plantas de cimento, apresentando a eles o objetivo do trabalho, bem como a forma como seria enviado o roteiro, enfatizando os dados e informações de maior interesse. Neste contato inicial não houve restrições por parte das pessoas contatadas em receber e avaliar as informações anotadas no roteiro, atualizando-as e complementando-as, quando fosse o caso. Assim, os roteiros parcialmente preenchidos foram encaminhados às fábricas de cimento, juntamente com uma cópia em branco para possíveis correções e/ou anotações da empresa, acompanhados de ofício assinado pela Professora Sílvia Azucena Nebra de Perez, co-orientadora do trabalho de tese. Foram mantidos contatos telefônicos com cada uma das fábricas a fim de se esclarecer dúvidas e para se garantir a devolução do roteiro.

Paralelamente, foram realizadas entrevistas abertas, semi-estruturadas, com técnicos ligados ao setor cimenteiro (CIMINAS), das empresas gestoras de resíduos (CSD-GEOCLOCK e AMBIÊNCIA), do Departamento de Análises e Informações em Energia e do Departamento de Planejamento e Desenvolvimento de Gás da CEMIG, do DNER - MG , do NUSAT/INSS, da DRT-MG/MTb, da Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais e da Secretaria Municipal de Saúde de Belo Horizonte[5] . Foram feitos contatos na Refinaria Gabriel Passos/PETROBRÁS, solicitando informações sobre as características dos óleos ultra-viscosos e do coque verde de petróleo produzido naquela refinaria. Os dados solicitados à Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos foram disponibilizados. Foram realizadas duas visitas à fábrica da CIMINAS, no Município de Pedro Leopoldo/ MG.

Também foram feitas entrevistas com técnicos dos órgãos ambientais do Estado de São Paulo (CETESB), do Estado do Rio de Janeiro (FEEMA) e do Estado do Paraná (IAP), onde fábricas de cimento queimam resíduos. Posteriormente, foram enviados ofícios a essas instituições, apresentando à área responsável pelo acompanhamento das atividades industriais ligadas ao processamento de resíduo, os objetivos da pesquisa e solicitando informações complementares sobre normas e legislação daqueles órgãos e dados gerais relacionados às fábricas de cimento. Os dados e informações referentes ao Estado de Minas Gerais foram obtidos diretamente dos Processos COPAM que estavam disponíveis na DIDOC durante a pesquisa.

A avaliação dos dados foi subsidiada por uma série de outras fontes de informação, como livros, relatórios (CEMIG, SNIC, IE/UNICAMP), dados estatísticos (BEN, BEE-MG, IBGE, NUSAT), artigos de periódicos diversos, teses e documentos não publicados.

---

[5] Um painel apresentando as instituições que foram contatadas e sua participação na pesquisa, bem como lista das pessoas entrevistadas estão apresentados no Anexo II.

Esta investigação permitiu a obtenção de informações qualitativas e de dados quantitativos. As entrevistas realizadas contribuíram de forma valiosa para a identificação de alguns pontos chaves relacionados ao tema.

Apesar de todos os gerentes de fábrica terem manifestado, através de contato telefônico, que responderiam ao "Roteiro para Pesquisa sobre o Consumo de Combustíveis em Indústrias Cimenteiras sob os Aspectos Energético e Ambiental", das dez fábricas de cimento contatadas, apenas quatro o fizeram: a Soeicom, a Cimento Tupi, a CMOC-Uberaba e a Matsulfur.

A Cimento Paraíso, instalada no Município de Barroso, não respondeu o roteiro, informando, através de ofício (Ofício datado de 01/04/1997), que "*desde a compra da Companhia pelo Grupo Holderbank, a Fábrica Barroso optou por cessar o uso de combustíveis alternativos de qualquer espécie, ... em função de problemas operacionais que comprometeriam o rendimento e o bom funcionamento do forno...*".

Por sugestão da Cimento Paraíso de Barroso, foi feito contato um com a Cimento Paraíso (Alvorada) de Cantagalo, no Rio de Janeiro, devido a sua grande experiência no emprego de resíduos como combustíveis complementares. Foi encaminhado àquela fábrica um ofício solicitando informações gerais sobre a utilização de resíduos em seus fornos de clínquer, bem como uma cópia em branco do Roteiro, com o objetivo de esclarecer o tipo de pesquisa que estava sendo feita junto às fábricas de cimento de Minas Gerais. A Cimento Paraíso/ Cantagalo não se dispôs a atender à solicitação "*por se tratar de importância confidencial inerente ao processo produtivo*"(Ofício datado de 05/05/1997).

Chama-se atenção para o fato de que essas duas fábricas foram recentemente adquiridas pelo Grupo Holderbank, com sede na Suíça.

Dos órgãos ambientais estaduais consultados, somente o IAP do Estado do Paraná respondeu ao questionário.

Este trabalho de investigação encontra-se estruturado em seis capítulos, com temáticas específicas relativas aos objetos de estudo, sendo que o último capítulo tem caráter conclusivo. Nos onze anexos são apresentados detalhes e dados particularizados que serviram de suporte para a investigação e as conclusões.

O Capítulo 1 situa o Setor Cimenteiro no contexto econômico brasileiro e internacional, para caracterizar sua importância e a extensão de seus impactos sobre a Sociedade e o Meio Ambiente.

O Capítulo 2 trata dos aspectos tecnológicos do processo de produção de cimento e da evolução do consumo de energéticos pela indústria brasileira de cimento no período 1980-1995, relacionando-o às políticas de governo para o setor energético, às mudanças tecnológicas nas fábricas de cimento e ao uso de resíduos como combustíveis complementares nos fornos de clínquer.

O Capítulo 3 trata da geração e emissão de poluentes nas fábricas de cimento, com o objetivo de mostrar que esses empreendimentos, mesmo dotados de modernas tecnologias de controle da poluição, são responsáveis pelo lançamento de inúmeras substâncias nocivas ao meio ambiente e, portanto, pela alteração dos ritmos das extensas regiões onde seus impactos são sentidos.

O Capítulo 4 trata dos aspectos ambientais e tecnológicos da destinação de resíduos para tratamento térmico nas fábricas de cimento, especialmente nos casos onde esses materiais são processados com o objetivo de substituir parcela dos combustíveis convencionais empregados na fabricação de clínquer.

O Capítulo 5 trata das inter-relações que se formam na Sociedade em torno das fábricas de cimento através da apresentação dos principais atores envolvidos e do papel desempenhado por cada um deles nos cenários da produção e uso do cimento. É dada atenção especial para a atuação dos órgãos ambientais no controle das atividades relacionadas à produção do cimento e ao tratamento térmico de resíduos nos fornos de clínquer.

O Capítulo 6 apresenta as principais conclusões da investigação realizada, explicitando a necessidade de uma abordagem integrada para se ter a compreensão correta da dinâmica de um empreendimento industrial de grande porte como uma fábrica de cimento.

# CAPÍTULO 1
# PANORAMA DO SETOR CIMENTEIRO

Neste Capítulo, o objetivo é situar o setor brasileiro de produção de cimento no contexto econômico para mostrá-lo como uma atividade de grande porte, a fim de caracterizar sua importância e a extensão de seus impactos, positivos e negativos, sobre a sociedade e o meio ambiente. Com 58 fábricas, a indústria brasileira produziu mais de 25 milhões de toneladas de cimento em 1994, o que significou um faturamento de US$2,5 bilhões, US$700 milhões em impostos diretos e 27 mil empregos diretos. Entretanto, em 1994, o Brasil ocupou um modesto 13º lugar na classificação dos países produtores de cimento, com uma produção cerca de quinze vezes menor que a da China, a primeira colocada, e um consumo per capita anual da ordem de 165 kg por habitante, muito aquém dos países grandes consumidores, cerca de oito vezes menor que o de Formosa, país de maior consumo per capita.

## 1.1 PANORAMA INTERNACIONAL

A indústria de cimento está presente em todos os continentes, uma vez que existem jazidas de calcário, a matéria-prima básica, na maioria dos países, sendo que as reservas mundiais são consideradas abundantes. Entretanto, há uma grande concentração da produção. Os cinco maiores produtores - China, Japão, Estados Unidos, Índia e Coréia do Sul - responderam, em 1994, por cerca de 50% da produção mundial de cimento, enquanto que os dezesseis maiores produtores foram responsáveis por 74% da produção. Em 1994, a produção mundial de cimento foi de 1,378 bilhão de toneladas. O Brasil produziu 25,2 milhões de toneladas (SNIC, 1995). Na Tabela 1.1 é apresentada a produção e o consumo aparente de cimento[6] dos dezesseis maiores produtores em 1994.

Da análise dos dados de produção e de consumo de cimento dos países que são os maiores produtores mundiais, no período de 1988 a 1994, destaca-se que todos eles são grandes consumidores; são grandes exportadores o Japão, a Turquia e a Índia; são grandes importadores os Estados Unidos, Formosa, a Alemanha e a Rússia. A produção da China duplicou nesse período, passando de 204.300 mil toneladas em 1988, para 405.000 mil toneladas em 1994. Em 1991, a China exportou 10.500 mil toneladas, enquanto que no resto do período analisado ela praticamente consumiu internamente todo o cimento que produziu. A produção da ex-URSS vem

[6] Consumo aparente = despacho + importação - exportação

caindo continuamente, passando de 138.000 mil toneladas em 1988, para 67.700 mil toneladas em 1994, o que representa uma redução de cerca de 50%.

A Alemanha passou de exportadora no período 1988-1991, para grande importadora no período 1992-1994, importando, em 1994, mais de 5.000 mil toneladas. Os maiores consumidores per capita são Formosa e Coréia do Sul, com consumo superior à 1.000 kg/hab/ano, e Japão, Itália e Espanha, com cerca de 600 kg/hab/ano. A Índia, com um consumo per capita de 60 kg/hab/ano, a Indonésia, com 100 kg/hab/ano e o Brasil, com 160 kg/hab/ano, são os países de menor consumo per capita entre os grandes produtores.

TABELA 1.1 - Panorama mundial: Produção e consumo aparente de cimento - 1994

| PAÍS | Posição | PRODUÇÃO (1.000 t) | CONSUMO APARENTE (1.000 t) | CONSUMO PER CAPITA (kg/hab) |
|---|---|---|---|---|
| China | 1° | 405.000 | 404.000 | 334 |
| Japão | 2° | 97.434 | 80.259 | 643 |
| Estados Unidos | 3° | 78.413 | 85.482 | 331 |
| Índia | 4° | 63.560 | 59.868 | 64 |
| Coréia do Sul | 5° | 54.845 | 52.668 | 1.185 |
| Rússia | 6° | 37.200 | 40.700 | 275 |
| Alemanha | 7° | 36.130 | 41.275 | 507 |
| Itália | 8° | 33.192 | 34.866 | 610 |
| Tailândia | 9° | 33.016 | 29.170 | 491 |
| Turquia | 10° | 31.897 | 26.698 | 436 |
| México | 11° | 29.808 | 28.708 | 309 |
| Espanha | 12° | 26.661 | 24.038 | 614 |
| Brasil | 13° | 25.230 | 25.319 | 165 |
| Formosa | 14° | 23.621 | 27.219 | 1.285 |
| Indonésia | 15° | 21.957 | 21.470 | 112 |
| França | 16° | 21.184 | 20.055 | 347 |

Fonte: SNIC (1995)

Estes dados mostram que o mercado internacional do cimento oscila em função da conjuntura interna dos maiores países produtores. O fluxo do produto no mercado internacional também é determinado pelos preços praticados, que estão associados à qualidade do produto oferecido, e também pelas distâncias entre os grandes centros produtores e consumidores. A concorrência entre os principais produtores é determinada pela capacitação tecnológica, pela disponibilidade e pelo custo dos bens de capital, pela disponibilidade de matérias-primas de qualidade e de insumos energéticos de baixo custo, pelo custo da mão-de-obra, pelo custo do transporte e pela homogeneidade e qualidade do produto final.

A liderança em termos de competitividade internacional é mantida por Grupos de origem francesa (Lafarge - Copée) e suíça (Grupo Holderbank), países que não são líderes em volumes de produção, e pela indústria japonesa (Onoda Cement), que tem mantido sua posição entre as cinco maiores produtoras mundiais de cimento (SOUZA et al., 1993; SNIC, 1995).

Embora tenha sido a Alemanha a responsável pela introdução do processo por via seca, que representou um grande salto tecnológico na redução do consumo de energéticos, o Japão é hoje considerado o país líder em tecnologia, cujas inovações vêm sendo transferidas aos fabricantes europeus e aos grupos produtores de várias partes do mundo, através da cessão de patentes e pela venda de equipamentos.

Com a difusão do desenvolvimento tecnológico, a produção de cimento atinge hoje padrões de homogeneidade e de qualidade, que são regulados pela normalização técnica internacional e nacional dos diversos países produtores.

## 1.2 A INDÚSTRIA BRASILEIRA DE CIMENTO

As primeiras fábricas de cimento foram instaladas na Inglaterra, Bélgica e Alemanha por volta de 1855 (SILVA, 1994). Entretanto, somente em 1926 foi instalada a primeira fábrica de cimento no Brasil, em Perus, no Estado de São Paulo, que se tornou o marco do início da produção comercial de cimento no País. Nos anos seguintes, foram implantadas novas unidades industriais no Rio de Janeiro (Mauá, 1936), em São Paulo (Votorantim, 1936), em Minas Gerais (Itaú, 1939) e em Pernambuco (Poty, 1942) (PITTA, 1995).

No período de 1966 a 1980, o consumo de cimento no Brasil cresceu a uma taxa anual média de 11%, que foi plenamente acompanhada pela expansão da capacidade instalada do parque nacional. A produção teve um crescimento contínuo enorme, passando de 6.045 mil toneladas em 1966 para 27.600 mil toneladas em 1980 (BDMG, 1989).

Nesse período, está compreendida a chamada fase do "milagre econômico brasileiro", quando o PIB registrou taxas anuais de crescimento de 11% (1968/1973). Esta época foi marcada por um grande volume de obras públicas de infra-estrutura, de grandes barragens e de construção civil predial, que consumiram, respectivamente, 40%, 30% e 30% da produção nacional de cimento (BDMG, 1989).

A partir do segundo choque do petróleo ocorrido em 1979, com as restrições impostas à economia brasileira, a produção de cimento caiu continuamente no período de 1980 a 1984, passando de 27.000 mil toneladas para 19.500 mil toneladas anuais.

Em 1986, a produção de cimento no Brasil foi de 25.000 mil toneladas e, com pequenas oscilações, permaneceu nesse nível até 1994, saltando sucessivamente para 28.300 mil toneladas

em 1995 e para 34.500 mil toneladas em 1996, o maior nível já registrado (SNIC, 1995; MARCIANO Jr. & KIHARA, 1997).

Com fábricas em todas as Regiões Brasileiras, o setor cimenteiro nacional é constituído por 47 unidades de produção de clínquer e cimento e 11 unidades de moagem final. Não há concordância sobre a capacidade instalada das fábricas de cimento brasileiras (INDI, 1992). Os valores assumidos chegam a atingir 46.000 mil toneladas anuais (MARCIANO Jr. & KIHARA, 1997).

A divergência entre a capacidade instalada e a produção da indústria brasileira de cimento é creditada aos elevados níveis de ociosidade com que ela ainda vem operando nos últimos anos, com a paralisação de vários equipamentos que, às vezes, por razões técnicas e econômicas não podem ser reativados. Em outros casos, algumas etapas do processo de produção requerem investimentos para alcançar sua plena capacidade (INDI, 1992).

Entretanto, na investigação pôde-se perceber que as fábricas de cimento instaladas em Minas Gerais estão passando por um processo de modernização de suas plantas de produção, com a instalação de novos fornos e a substituição e a modificação dos equipamentos existentes.

Isto se constitui em um forte indício de que a expectativa da indústria de cimento brasileira é de crescimento do mercado consumidor, verificado pelos saltos no consumo em 1995 e 1996.

A capacidade instalada e o número de fornos da indústria brasileira de cimento, por Região Geográfica, estão apresentados na Tabela 1.2.

TABELA 1.2 - Brasil: Capacidade instalada para a produção de cimento e número de fornos por Região Geográfica

| REGIÃO GEOGRÁFICA | CAPACIDADE INSTALADA (1.000 t) | NÚMERO DE FORNOS INSTALADOS |
|---|---|---|
| SUDESTE | 26.928 | 60 |
| SUL | 6.437 | 15 |
| NORDESTE | 5.360 | 24 |
| CENTRO-OESTE | 4.396 | 12 |
| NORTE | 1.353 | 4 |
| TOTAL | **44.474** | 115[1] |

(1) Em 1993, apenas 78 fornos estavam operando.
Fonte: SNIC, citado por PITTA (1995)

A Tabela 1.3 apresenta informações sobre a produção e consumo de cimento por Região Geográfica, em 1995.

A capacidade instalada, a produção e o consumo de cimento da indústria brasileira estão concentrados na Região Sudeste.

Em 1995, o consumo de cimento no Brasil foi 12 % maior relativamente ao ano anterior, sendo 57% do total consumido na Região Sudeste e 18% na Região Sul. Segundo o SNIC (1995), "*essa elevação do consumo vem sendo atribuída ao aumento do poder aquisitivo do pequeno consumidor, o qual representa cerca de 60% do consumo nacional* ".

TABELA 1.3 - Brasil: Produção e consumo de cimento por Região Geográfica - 1995

| REGIÃO GEOGRÁFICA | PRODUÇÃO | | CONSUMO | |
|---|---|---|---|---|
| | TOTAL (1.000 t) | (%) | TOTAL (1.000 t) | (%) |
| SUDESTE | 16.316 | 57,74 | 15.986 | 56,97 |
| SUL | 4.717 | 16,70 | 4.991 | 17,78 |
| NORDESTE | 3.926 | 13,89 | 3.818 | 13,60 |
| CENTRO-OESTE | 2.668 | 9,44 | 2.281 | 8,13 |
| NORTE | 629 | 2,23 | 987 | 3,52 |
| TOTAL | 28.256 | 100,00 | 28.063 | 100,00 |

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do SNIC (1995)

Constata-se, assim, uma mudança no perfil do principal consumidor de cimento no Brasil atualmente, relativamente a outra época de grande consumo (1980).

O consumo per capita de cimento brasileiro é baixo: 160 kg/hab/ano, em 1995, quando já atingiu 226 kg/hab/ano em 1980 (VALÊNCIO, 1996). O motivo que justifica esse nível de consumo é a falta de investimentos, apesar das grandes carências na área social, como saneamento básico e habitação, associadas às demandas por obras de infra-estrutura, como por exemplo na área de transporte. Investimentos nessas áreas, estendendo a toda população os direitos básicos da cidadania, elevariam o consumo per capita de cimento brasileiro a níveis superiores aos da Coréia do Sul, cujo consumo médio por habitante ultrapassou 1.000 kg nos últimos anos (SNIC, 1995; VALÊNCIO, 1996).

A Figura 1.1 apresenta um mapa do Brasil, assinalando a distribuição das fábricas de cimento no território nacional[7]. Os principais pólos de produção estão localizados no Município de Pedro Leopoldo, em Minas Gerais, no Município de Cantagalo, no Rio de Janeiro e no Município de Rio Branco do Sul, no Paraná. Minas Gerais é o maior produtor, respondendo por 25% da produção nacional.

[7] Lista com a identificação nominal das fábricas de cimento instaladas no Brasil está apresentada no Anexo III.

Totalmente privada, a indústria brasileira de cimento apresenta elevada concentração industrial. Até recentemente, 80% das fábricas estavam sob o controle de empresas de capital nacional, entretanto observa-se grandes mudanças no controle acionário dos grupos cimenteiros, com o crescimento de alguns grupos internacionais - Holderbank, Lafarge e Cimpor - e nacionais - Votorantim e Camargo Corrêa. Dos dezoito grupos existentes, oito sofreram mudanças em sua composição acionária nos últimos três anos (MARCIANO Jr., 1997).

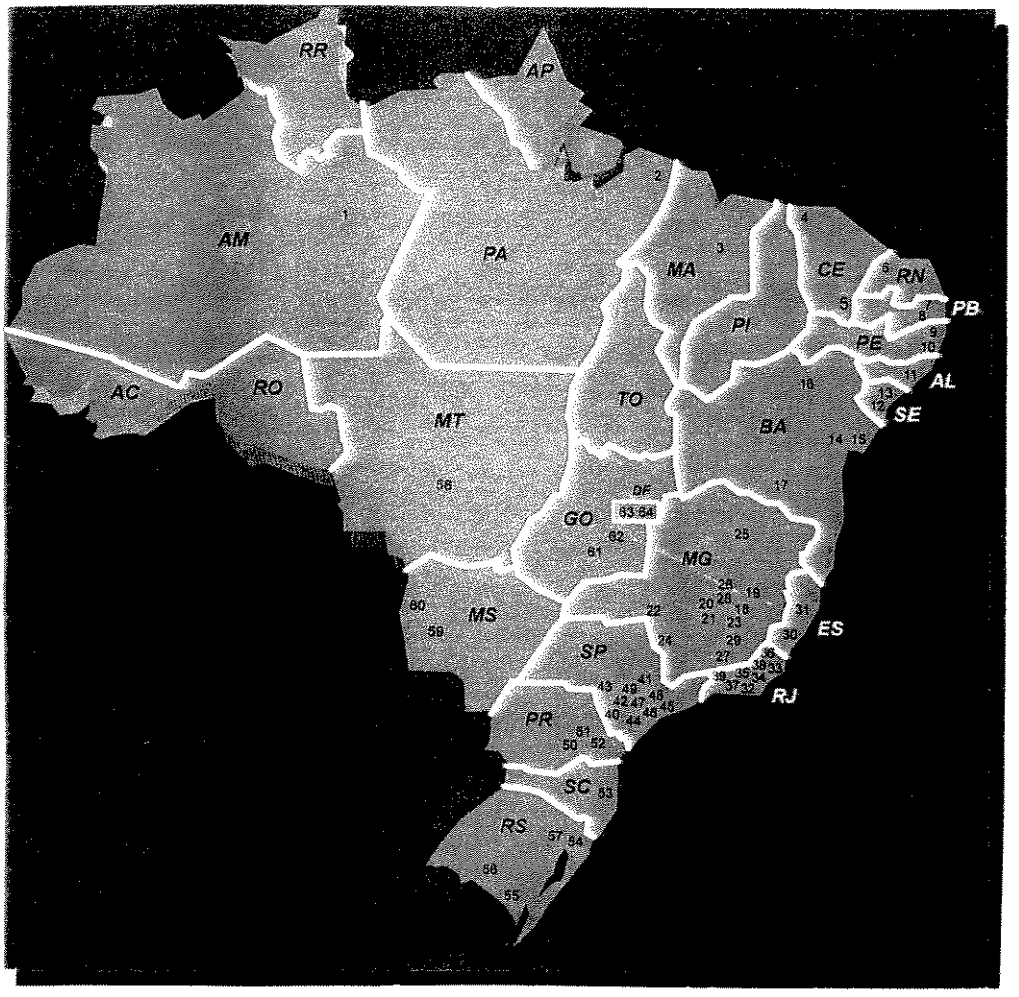



FIGURA 1.1 - Brasil: Localização das fábricas de cimento
Fonte: SNIC (1995)

No Brasil, a implantação de uma fábrica de cimento, com capacidade instalada para 1,2 milhão de toneladas por ano, exige investimentos da ordem de US$180 milhões de dólares. Operando com 85% de sua capacidade, apresenta lucro líquido de US$ 27 milhões por ano, considerando o preço do cimento de US$ 68 a tonelada. Os custos variáveis representam 51,6% dos custos totais, sendo que os insumos energéticos, óleo combustível e energia elétrica, são

responsáveis pelos desembolsos de 18,3% e 10,8%, respectivamente, dos custos variáveis de produção (VALÊNCIO, 1996).

A Tabela 1.4 apresenta o detalhamento dos custos de operação de uma fábrica de cimento com capacidade instalada de 1,2 milhão de toneladas de cimento por ano, operando com 85% de sua capacidade.

TABELA 1.4 - Custos de produção de uma planta de cimento [1]

| CUSTOS | VALOR (US$/ t) | PERCENTUAL |
|---|---|---|
| **Custos variáveis** | **21,4** | **51,6** |
| 1. óleo combustível | 7,6 | 18,3 |
| 2. energia elétrica | 4,5 | 10,8 |
| 3. mão-de-obra | 2,9 | 7,0 |
| 4. embalagens | 2,8 | 6,8 |
| 5. materiais de consumo diversos | 2,7 | 6,5 |
| 6. gesso | 0,9 | 2,2 |
| **Custos fixos** | **8,5** | **20,5** |
| 1. mão-de-obra | 4,3 | 10,4 |
| 2. manutenção e serviços | 3,0 | 7,2 |
| 3.diversos | 1,2 | 2,9 |
| **Depreciação** | 11,6 | 27,9 |
| **TOTAL** | **41,5** | **100,0** |

(1)Capacidade instalada: 1,2 milhão t/ano; Produção: 1,0 milhão t/ano
Fonte: VALÊNCIO (1996)

### 1.2.1 Capacitação produtiva e tecnológica da indústria brasileira de cimento

A indústria brasileira de cimento opera com padrões tecnológicos internacionais. O marco fundamental da evolução tecnológica do Setor ocorreu no período compreendido entre 1969 e 1978, com a opção pelo processo por via seca[8] em substituição ao tradicional processo por via úmida (84%, em 1969; 28% em 1978) (BDMG, 1989). Atualmente, o processo por via seca representa 98% da capacidade instalada do parque cimenteiro nacional (MARCIANO Jr. & KIHARA, 1997).

A diferença da indústria brasileira em relação aos principais produtores internacionais é o grau de automação industrial, muito embora mais recentemente ela vem sendo implantada gradativamente nas fábricas (SOUZA et al., 1993; VALÊNCIO, 1996).

[8] O processo por via seca é empregado devido a sua considerável economia de combustível ( cerca de 25%), com ganhos de produtividade de até 20%, apesar de consumir mais energia elétrica (6 a 8%) e de seu emprego representar um investimento adicional de cerca de 30%, quando comparado ao processo por via úmida (BDMG, 1989).

As fábricas brasileiras de cimento são consideradas de médio e grande porte, sendo que cerca de metade das unidades estão capacitadas para produzir até 600 mil toneladas por ano, 28% entre 600 mil e 1.000 mil toneladas por ano e o restante acima de 1.000 mil toneladas por ano (SOUZA et al., 1993).

Apesar da participação de equipamentos nacionais na indústria cimenteira ter atingido o índice de 90%, isso não liberou o Brasil da dependência tecnológica, porque os detentores da tecnologia se encarregam de repassar para os diversos fornecedores nacionais os componentes principais desses equipamentos, não havendo absorção da tecnologia pelo Setor de Bens de Capital. O fornecedor de engenharia básica, ao vender a engenharia de detalhamento e as especificações para a construção dos equipamentos, preserva sempre os segredos do processo. A transferência de tecnologia se limita a habilitar os produtores de cimento à operação das unidades industriais (BDMG, 1989).

Dessa forma, persiste uma clara dependência em relação à tecnologia estrangeira, cuja oferta mundial se acha fortemente concentrada, destacando-se como principais detentoras de tecnologia as empresas F.L.Smidth (Dinamarca), Polysius-Krupp e Humboldt (Alemanha), Allis Chalmers, Prerov Machinery e Fuller (Estados Unidos), Fives Lille (França) e Kawasaki e Ihi (Japão) (BDMG, 1989).

A Tabela 1.5 resume as características tecnológicas do setor cimenteiro no Brasil.

TABELA 1.5 - Brasil: Características tecnológicas da Indústria de Cimento

| PARÂMETRO | DADOS |
|---|---|
| Processo | Via seca, 98% da produção |
| Consumo específico de energia térmica | 780 à 900 kcal/kg de clínquer (3.260 à 3.770 kJ/kg) |
| Consumo específico de energia elétrica | 80 à 150 kWh/t, 70% nos sistemas de moagem |
| Sistemas de moagem | 75% dos moinhos operando em circuitos fechados |

Fonte: CEMIG (1991); SILVA (1994); PITTA (1995); MARCIANO Jr. & KIHARA (1997)

Na tecnologia de produtos, as empresas brasileiras diferenciam-se das empresas líderes no mercado internacional pela pequena variedade de produtos oferecidos. Porém, há diferentes posturas entre as empresas nacionais, distinguindo-se aquelas que investem no desenvolvimento de novos produtos e outras que têm como estratégia a manutenção da produção dos tipos tradicionais de cimento. No aspecto da qualidade do produto, embora exista uma normalização nacional compatível com as normas internacionais, existe discordância entre produtores,

consumidores e pesquisadores quanto aos efeitos das adições permitidas ao cimento (SOUZA et al., 1993). A especificação dos tipos de cimento produzidos varia de acordo com o país onde ele é produzido e baseia-se, ou na composição química, ou nas propriedades do produto final.

### 1.2.2 Tipos de cimento fabricados no Brasil

As normas brasileiras definem os diferentes tipos de cimento baseando-se nas adições de componentes ativos incorporados ao clínquer (SOUZA et al., 1993; SILVA, 1994). Os principais tipos de cimento Portland produzidos no Brasil e suas especificações estão apresentados na Tabela 1.6.

TABELA 1.6 - Brasil: Principais tipos de cimento Portland

| TIPO DE CIMENTO | | COMPONENTES (% em massa) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | clínquer + sulfato de cálcio | escória granulada de alto forno | material pozolânico | material carbonático |
| Cimento Portland Comum | CP I | 100 | 0 | | |
| | CP I - S | 99-95 | 1-5 | | |
| Cimento Portland Composto | CPII - E | 94-56 | 6-34 | 0 | 0-10 |
| | CPII - Z | 94-76 | 0 | 6-14 | 0-10 |
| | CPII - F | 94-90 | 0 | 0 | 6-10 |
| Cimento Portland de Alto Forno | CP III | 65-25 | 35-70 | 0 | 0-5 |
| Cimento Portland Pozolânico | CP IV | 85-45 | 0 | 15-50 | 0-5 |
| Cimento Portland de Alta Resistência Inicial | CP V - ARI | 100-95 | 0 | 0 | 0-5 |
| Cimento Portland Resistente a Sulfatos | | . cimentos com $C_3A \leq 8\%$ e adições carbonáticas $\leq 5\%$<br>. CP III com 60-70% de escória<br>. CP IV com 25-40% de pozolana | | | |

Fonte: Normas ABNT EB 1, NBR 11 578, EB 208, EB 758, EB 2, (1991); NBR 5 737 (1992)

A participação percentual na produção brasileira de cada tipo de cimento, em 1996, é mostrada na Tabela 1.7.

TABELA 1.7 - Brasil: Tipos de cimento e participação percentual na produção

| TIPO DE CIMENTO | PORCENTAGEM | | |
|---|---|---|---|
| | 1994 | 1995 | 1996 |
| CP I | 1,26 | 2,92 | 3,21 |
| CP II | 74,55 | 74,05 | 77,10 |
| CP III | 11,30 | 10,91 | 10,06 |
| CP IV | 10,28 | 9,37 | 7,12 |
| CP V | 2,47 | 2,63 | 2,42 |
| CPB [1] | 0,14 | 0,12 | 0,09 |
| TOTAL | 100,00 | 100,00 | 100,00 |

(1) Cimento Portland branco estrutural
Fonte: MARCIANO Jr. & KIHARA (1997)

## 1.3 A INDÚSTRIA DE CIMENTO EM MINAS GERAIS

Os investimentos no parque industrial e nas grandes obras de infra-estrutura realizados em Minas Gerais na década de 1970, aliados à localização geográfica do Estado e aos seus recursos naturais abundantes e de ótima qualidade, consolidaram a importância da indústria mineira de cimento nos cenários nacional e estadual.

A indústria de cimento é uma das mais importantes do Estado de Minas Gerais, com 10 fábricas localizadas junto às jazidas de calcário. Com capacidade instalada de 9.300 mil toneladas anuais, produziu 7.078 mil toneladas de cimento em 1995, apresentando um crescimento de 15,46% em relação à 1994, sendo responsável por uma parcela significativa da geração de empregos no Estado.

A média de contratações era de 700 empregados por 1.000 mil toneladas produzidas, em 1989 (BDMG, 1989). As investigações apontam que esta relação está diminuindo, e que existe uma dispersão bastante grande em torno dessa média. Em 1996, a Companhia Minas Oeste de Cimento, instalada no Município de Uberaba empregou 109 trabalhadores e produziu 123 mil toneladas de cimento, o que corresponde a 886 empregados por 1.000 mil toneladas produzidas; a Cimento Tupi, instalada no Município de Carandaí empregou 278 trabalhadores e produziu 464 mil toneladas, o que corresponde a 599 empregados por 1.000 mil toneladas produzidas; a SOEICOM, instalada no Município de Vespasiano, empregou 388 trabalhadores e produziu 933 mil toneladas, o que corresponde a 416 empregados por 1.000 mil toneladas produzidas[9].

A primeira impressão que se tem é que esses números indicam que a relação número de trabalhadores empregados para a produção total da fábrica diminui com o volume de produção. Entretanto, através da investigação junto à Delegacia Regional do Trabalho - DRT-MG/MTb, obteve-se a informação de que muitas atividades nas fábricas estão sendo terceirizadas. Não se tem dados disponíveis sobre a relação entre o grau de terceirização e o volume de produção das fábricas. A indústria de cimento de Minas Gerais gerou em torno de 3.300 empregos diretos para a produção de 7.075 mil toneladas em 1995, além dos empregos indiretos relacionados ao transporte e à comercialização do produto (DRT-MG/MTb, entrevista, 1997).

As fábricas de cimento localizadas em Minas Gerais são tradicionais exportadoras para outros Estados, principalmente São Paulo, que é o maior consumidor, e Rio de Janeiro, devido às condições favoráveis para o transporte do produto até esses centros consumidores.

---

[9] Os dados disponíveis sobre o número de empregados nas fábricas de cimento de Minas Gerais estão detalhados na Tabela 5.3.

Em Minas Gerais, as indústrias de cimento estão agrupadas em quatro pólos (INDI, 1992):

O Pólo de Belo Horizonte, com fábricas nos Municípios de Pedro Leopoldo, de Matozinhos e de Vespasiano, localizados a uma distância média de 50 km da Capital, foi responsável por 58% da produção de cimento de Minas Gerais em 1995, sendo o principal fornecedor para as regiões da Grande Belo Horizonte, do Grande Rio e da Grande São Paulo.

O Pólo Sudoeste de Minas, com fábricas nos Municípios de Uberaba, de Arcos e de Itaú de Minas, foi responsável por 15% da produção de cimento no Estado. Esse pólo é o fornecedor de cimento do Noroeste de São Paulo e do Triângulo Mineiro.

O Pólo de Barbacena, com fábricas nos municípios de Barroso e Carandaí, respondeu por 19% da produção. Situado a uma distância média de 300 km da cidade do Rio de Janeiro, apresenta-se como a melhor alternativa para o abastecimento da Região Sudeste, em particular a região do Grande Rio.

O Pólo Norte de Minas, constituído pela Cia de Materiais Sulfurosos - Matsulfur, localizada no Município de Montes Claros, foi responsável por 8% da produção mineira de cimento. Abrange o mercado das regiões Centro-Oeste e Nordeste, particularmente a Bahia. É penalizado pela pequena infra-estrutura de transportes, especialmente ferrovias.

Além desses pólos, na região do Rio Doce, existe uma fábrica da Cimento Cauê S/A, instalada no município de Mesquita, Distrito de Santana do Paraíso, que fabrica cimento de alto forno a partir do clínquer produzido na Cimento Cauê, instalada no Município de Pedro Leopoldo.

A Tabela 1.8 apresenta os dados gerais referentes à localização por município, capacidade instalada e produção de cimento, no ano de 1995, para as fábricas de cimento de Minas Gerais.

A Figura 1.2 apresenta o mapa com a distribuição espacial da indústria de cimento no Estado de Minas Gerais.

TABELA 1.8 - Minas Gerais: Perfil dos pólos cimenteiros

| FÁBRICA | MUNICÍPIO | CAPACIDADE INSTALADA (1.000 t / ano) | PRODUÇÃO (1995) (1.000 t) |
|---|---|---|---|
| PÓLO DE BELO HORIZONTE | | 5.540 | 4.073 |
| Cimento Cauê (Grupo Camargo Correia)[1] | Pedro Leopoldo | 1.150 | 1.063 |
| Holdercim do Brasil - Divisão CIMINAS (Grupo Holderbank) | Pedro Leopoldo | 2.230 | 1.226 |
| Cimento Mauá (Grupo Lafarge) | Matozinhos | 960 | 590 |
| SOEICOM (Família Champalimaud) | Vespasiano | 1.200 | 1.194 |
| PÓLO DE BARBACENA | | 1.580 | 1.086 |
| Holdercim do Brasil - Divisão PARAÍSO (Grupo Holderbank)[2] | Barroso | 880 | 622 |
| CimentoTupi (Grupo Tupi Corany) | Carandaí | 700 | 464 |
| PÓLO SUDOESTE DE MINAS | | 1.170 | 1.331 |
| Cia Minas Oeste de Cimento - CMOC (Grupo Lafarge) | Arcos | 280 | 83 |
| | Uberaba | | 97 |
| Cia Cimento Portland Itau (Grupo Votorantim) | Itaú de Minas | 890 | 1.151 |
| PÓLO NORTE DE MINAS | | 960 | 585 |
| Matsulfur - Cia Mat. Sulfurosos (Grupo Lafarge)[3] | Montes Claros | 960 | 585 |
| TOTAL | | 9.250 | 7.075 |

(1) A Cauê, que anteriormente pertencia ao Grupo João Santos, teve seu controle acionário transferido para o Grupo Camargo Correa em fevereiro de 1997.

(2) A Holderbank, por intermédio da Ciminas, adquiriu, em julho de 1996, o controle acionário da Cimento Paraíso, que anteriormente pertencia ao Grupo Severino Pereira.

(3) A Matsulfur, que anteriormente pertencia ao Grupo Matsulfur, teve seu controle acionário transferido para a Lafarge em dezembro de 1996.

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do INDI (1992); SNIC (1995); contatos telefônicos (1997).

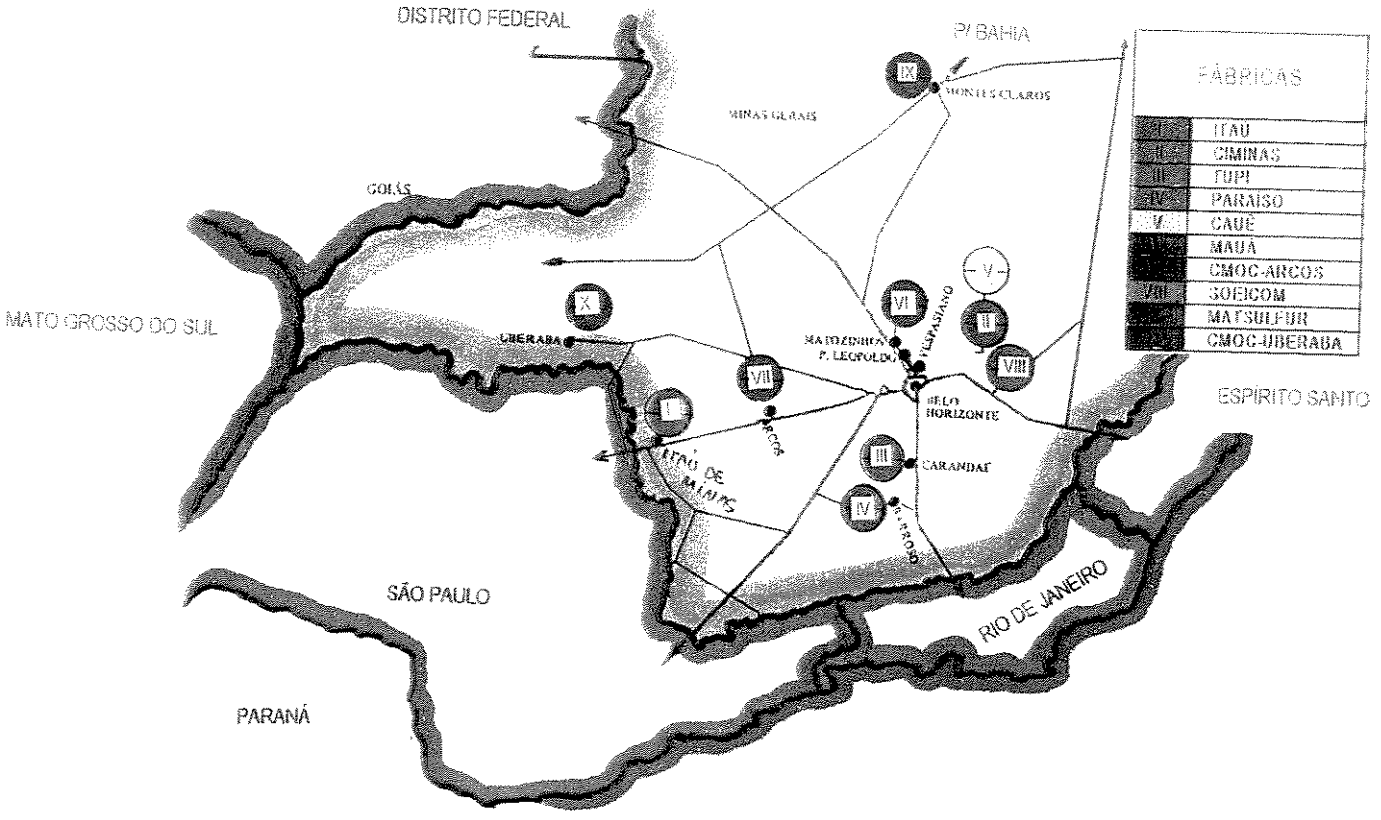



FIGURA 1.2 - Minas Gerais: Distribuição espacial da indústria de cimento
Fonte: Adaptado de BDMG (1989)

# CAPÍTULO 2
# USO DA ENERGIA NA FABRICAÇÃO DE CIMENTO

Neste Capítulo, resume-se os principais pontos do processo de produção de cimento e apresenta-se o espectro dos energéticos utilizados, especificando seus principais usos. Analisa-se a evolução do consumo de combustíveis para fins térmicos no período 1980-1995, relacionando-o às políticas do Governo Federal para o setor energético, às mudanças tecnológicas nas fábricas de cimento e ao uso crescente e sistemático de resíduos como combustíveis complementares nos fornos de clínquer.

## 2.1 O PROCESSO DE PRODUÇÃO DE CIMENTO

O processo industrial de produção de cimento Portland é constituído pela unidade de britagem primária, pela unidade de homogeneização e moagem de matérias- primas para obtenção do cru, pela unidade de produção de clínquer e pela unidade de moagem do cimento.

As matérias-primas principais para a fabricação do cimento são o calcário e a argila. A unidade de clínquer é constituída pelos pré-aquecedores[10] e pré-calcinadores[11], pelo forno rotativo (forno de clínquer) e pelo resfriador de clínquer. Parte dos gases quentes de exaustão dos fornos de clínquer são direcionados através dos moinhos para secar a farinha durante a moagem. Os gases que saem dos moinhos juntam-se a outra parte dos gases de exaustão dos fornos, sendo despoeirados em precipitador eletrostático e, então, lançados na atmosfera através de chaminé.

Na planta de clínquer, o cru na forma de farinha, que é produzida na operação de moagem no processo por via seca[12], é processado para produzir clínquer de cimento Portland, através das seguintes etapas (SANTI & NEBRA, 1996):

I. pré-aquecimento do cru, com evaporação da água de cristalização da argila;

---

[10] Torres de ciclones dispostos em série (em número variando de 1 a 6), onde ocorre o pré-aquecimento e a calcinação parcial do cru em suspensão na corrente dos gases de exaustão do forno rotativo. O sistema foi patenteado por M. Vogel-Jörgensem, em 1932, mas somente em 1951 foi adaptado para a indústria pela KHD Humboldt Wedag AG (SILVA, 1994).

[11] Reatores (câmaras) dotados de queimadores e instalado entre o último estágio do pré-aquecedor e a entrada do forno, onde ocorre a calcinação dos materiais carbonatados da farinha. O sistema foi patenteado em 1965 por H. Rechmeier, mas somente ganhou competitividade após a patente ser transferida para os fabricantes japoneses, em 1971 (SILVA, 1994). Há plantas de clínquer onde pré-calcinadores ainda não foram instalados.

[12] No processo por via úmida o cru se apresenta na forma de pasta. No Brasil, predomina o processo por via seca (98%).

II. calcinação do cru, isto é, dissociação do $CaCO_3$, à 850°C:

$$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2 ;$$

III. formação dos minerais de clínquer - silicato dicálcio ($C_2S$), silicato tricálcio ($C_3S$), aluminato tricálcio ($C_3A$) e aluminoferrita tetracálcio ($C_4AF$) - através das reações no estado sólido entre CaO, $Al_2O_3$ e $Fe_2O_3$, que ocorrem no forno rotativo a 1.450°C:

$$2\ CaO + SiO_2 \rightarrow (CaO)_2 . SiO_2 \qquad C_2S$$

$$3\ CaO + SiO_2 \rightarrow (CaO)_3 . SiO_2 \qquad C_3S$$

$$3\ CaO + Al_2O_3 \rightarrow (CaO)_3 . Al_2O_3 \qquad C_3A$$

$$4\ CaO + Al_2O_3 + Fe_2O_3 \rightarrow (CaO)_4 . Al_2O_3 . Fe_2O_3 \qquad C_4AF;$$

IV. resfriamento do clínquer pelo ar frio de combustão, que deste modo é aquecido antes de ser injetado nos queimadores do forno.

A energia consumida no processo é fornecida pela queima de carvão pulverizado ou pela queima de óleo combustível nos fornos e no pré-calcinador. O clínquer produzido é misturado com gesso e outros aditivos na planta de moagem, em proporções adequadas à produção do cimento.

O consumo de energia térmica destinada aos fornos de clínquer e de energia elétrica destinada, principalmente, ao acionamento de motores é grande. O consumo específico de energia térmica depende do processo empregado, sendo que os processos por via seca com sistemas de pré-aquecimento e pré-calcinação têm consumos específicos de energia térmica menores do que os outros sistemas, como é mostrado na Tabela 2.1.

TABELA 2.1 - Consumo específico de energia térmica para a produção de clínquer

| PROCESSO | Consumo específico de energia térmica | |
|---|---|---|
| | kJ/kg clínquer | kcal/kg clínquer |
| via úmida com forno longo | 5.020-6.520 | 1.200-1.560 |
| via seca com forno longo | 3.890-4.600 | 930-1100 |
| via seca com pré-aquecedor | 3.140-3.600 | 750-860 |
| via seca com pré-calcinador | 3.050-3550 | 730-850 |

Fonte: CEMIG (1985); SILVA (1994)

A distribuição percentual do consumo de energia térmica para uma planta de produção de cimento no processo por via seca, empregando óleo combustível ou carvão mineral, é apresentada na Tabela 2.2.

TABELA 2.2 - Distribuição percentual do consumo de energia térmica na fábrica de cimento

| PONTO DE CONSUMO | Distribuição percentual | |
|---|---|---|
| | óleo combustível | carvão mineral |
| secagem e moagem do cru | 0,2 | 14 |
| conjunto do forno rotativo | 99,5 | 83,0 |
| caldeiras e serviços auxiliares | 0,3 | - |
| secagem do carvão | - | 3,0 |

Fonte: CEMIG (1985)

Portanto, os equipamentos do sistema do forno consomem a maior parcela da energia térmica fornecida ao processo. O restante é empregado em caldeiras e em outras instalações auxiliares e na complementação da energia necessária à secagem das matérias-primas, quando a entalpia dos gases de exaustão do forno de clínquer é insuficiente, o que ocorre quando o combustível utilizado é o carvão mineral.

O consumo específico médio de energia elétrica varia entre 82 e 156 kWh por tonelada de cimento produzido (CEMIG, 1991)[13]. As unidades de moagem do cru e de moagem do clínquer são responsáveis por cerca de 70% do consumo total de energia elétrica na planta de cimento (CEMIG, 1985; SILVA, 1994).

Na Tabela 2.3 é apresentada a distribuição percentual do consumo de energia elétrica numa planta de produção de cimento.

TABELA 2.3 - Distribuição percentual do consumo de energia elétrica na fábrica de cimento

| PONTO DE CONSUMO | Distribuição Percentual |
|---|---|
| preparação de matérias-primas | 3 |
| preparação e moagem do cru | 32 |
| homogeneização e queima | 21 |
| moagem do clínquer e acabamento | 41 |
| serviços gerais e auxiliares | 2 |
| iluminação | 1 |

Fonte: CEMIG (1985); SILVA (1994)

[13] SILVA (1994) apresenta uma faixa mais estreita para o consumo específico médio de energia elétrica em plantas de cimento: entre 100 e 130 kWh/ t .

A reação de calcinação do calcário e as reações químicas de formação do clínquer, que ocorrem em temperaturas elevadas, são responsáveis pelo grande consumo de energia térmica no sistema do forno. A formação do clínquer, a partir do cru homogeneizado, exige uma quantidade teórica de energia de cerca de 1.760 kJ/kg de clínquer produzido (420 kcal/ kg), que é calculada para o processo químico básico (CEMIG, 1985; SILVA,1994). Na prática, estes valores são bem superiores devido à impossibilidade de se recuperar totalmente a energia contida nos gases de exaustão do forno e no clínquer, à umidade residual da farinha, ao excesso de ar de combustão e às perdas por irradiação no forno, pré-aquecedores e pré-calcinador.

Para um sistema de forno com pré-aquecedor de quatro estágios e com pré-calcinador, os valores para o balanço térmico global estão mostrados na Tabela 2.4.

TABELA 2.4 - Balanço térmico de um sistema de forno com pré-aquecedor e pré-calcinador

| ENERGIA | Consumo de Energia | | Porcentagem |
|---|---|---|---|
| | (kJ/ kg clínquer) | (kcal/kg clínquer) | |
| Calor de formação do clínquer | 1.760 | 420 | 55 |
| Perdas nos gases de exaustão | 700 | 167 | 22 |
| Perdas de calor no clínquer | 150 | 36 | 5 |
| Perdas por radiação e convecção | | | |
| . no pré-aquecedor | 100 | 24 | 3 |
| . no forno rotativo | 200 | 48 | 6 |
| . no resfriador de clínquer (tipo satélite) | 290 | 69 | 9 |
| Consumo específico de energia | 3.200 | 764 | 100 |

Fonte: CEMIG (1991)

A Figura 2.1 apresenta o fluxograma da produção de cimento no processo por via seca, onde estão destacados os consumos percentuais de energias térmica e elétrica, nas diversas unidades que compõem a planta de cimento, incluindo a etapa de mineração do calcário.

## 2.2 A INDÚSTRIA DE CIMENTO E A MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

A indústria de cimento se constitui numa das principais consumidoras de energia do setor industrial brasileiro. Em 1995, consumiu o equivalente a 2.789 mil tEP para produzir 28.256 mil toneladas de cimento; isto significa 3,6% do consumo total de energia do setor industrial, quando se exclui a energia consumida nas atividades de mineração de calcário (BEN, 1996).

A Tabela 2.5 apresenta a participação individual de energéticos no consumo final das plantas de cimento no ano de 1995.

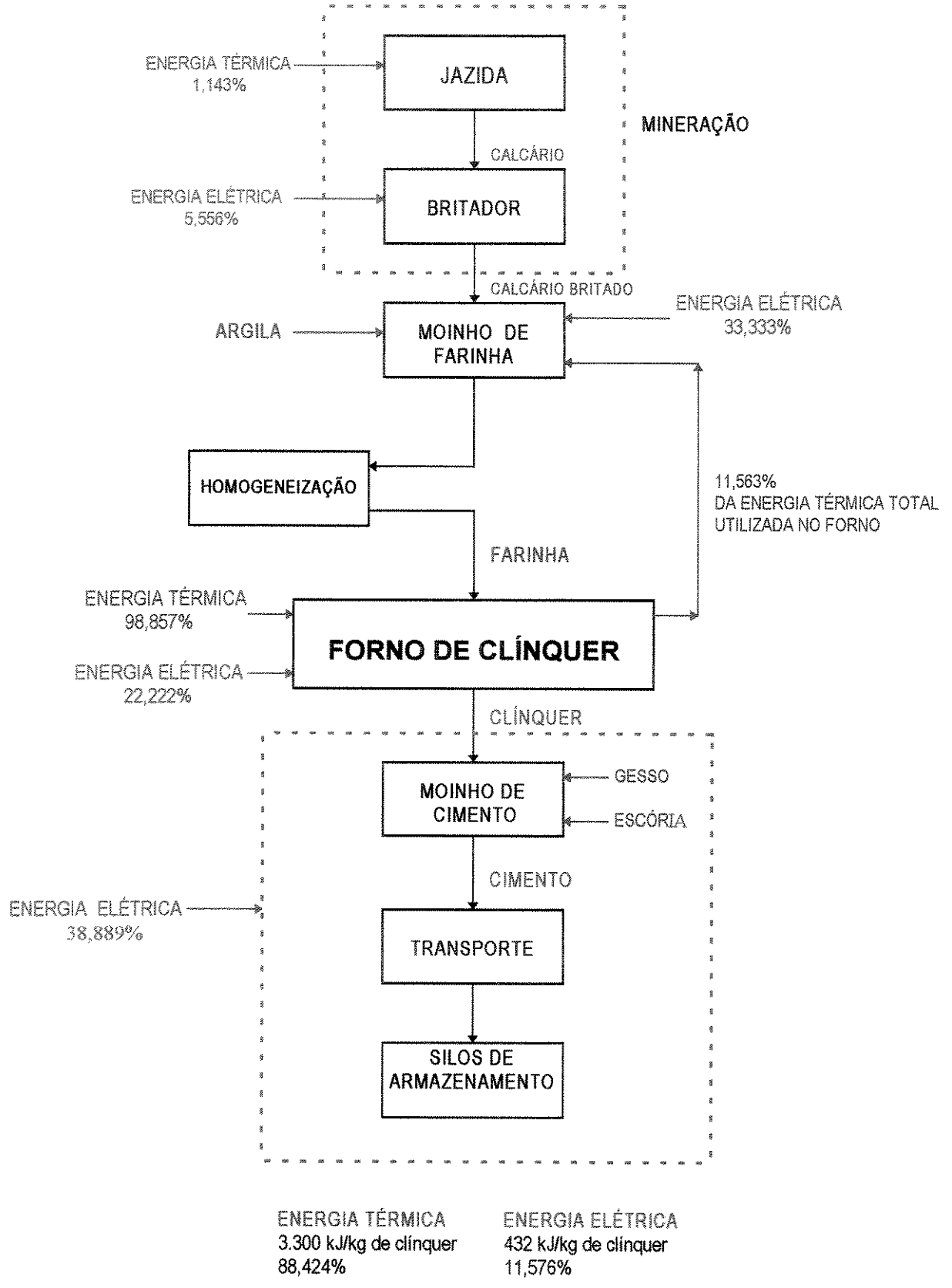



FIGURA 2.1 - Fluxograma da produção de cimento - Processo por via seca
Fonte : Adaptado de CEMIG (1991)

TABELA 2.5 - Brasil: Consumo final de energéticos na produção de cimento

| FONTE | CONSUMO - 1995 | |
|---|---|---|
| | $10^3$ tEP | (%) |
| óleo combustível | 1.161 | 41,6 |
| eletricidade (1) | 947 | 34,0 |
| carvão vapor | 334 | 12,0 |
| carvão vegetal | 258 | 9,3 |
| outras | 89 | 3,2 |
| TOTAL | 2.789 | 100,0 |

(1) fator de conversão: 0,29 tEP/MWh
Fonte: BEN (1996)

Os dados mostram que a maior parte do consumo de energia para a fabricação de cimento ocorre na produção de clínquer - cerca de 63% - e que há preferência pelo emprego de óleo combustível. Esta distribuição não reflete as proporções dos energéticos empregados para fins térmicos em cada fábrica. Na Tabela 2.6 é mostrado que os combustíveis mudam de região para região brasileira, pois regiões diferentes produzem ou dispõem de determinados insumos energéticos a preços mais competitivos.

TABELA 2.6 - Brasil: Consumo de energéticos para fins térmicos por Região Geográfica

| REGIÃO GEOGRÁFICA | ENERGÉTICOS CONSUMIDOS - 1995 | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ÓLEO COMBUSTÍVEL | | | CARVÃO MINERAL | | | CARVÃO VEGETAL | | | OUTROS (1) | | | TOTAL (2) |
| | t x 10-3 | tEP x 10-3 | % | t x 10-3 | tEP x 10-3 | % | t x 10-3 | tEP x 10-3 | % | t x 10-3 | tEP x 10-3 | % | tEP x 10-3 |
| SUDESTE | 667 | 605,83 | 59,82 | 337 | 169,74 | 16,76 | 392 | 188,58 | 18,62 | 76 | 48,61 | 4,80 | 1.012,76 |
| SUL | 100 | 90,88 | 30,76 | 395 | 187,09 | 63,32 | <1 | 0,18 | 0,06 | 51 | 17,31 | 5,86 | 295,46 |
| NORDESTE | 272 | 246,61 | 93,86 | - | - | - | 29 | 13,18 | 5,02 | 6 | 2,94 | 1,12 | 262,73 |
| CENTRO-OESTE | 217 | 197,16 | 96,82 | - | - | - | 6 | 2,73 | 1,34 | 9 | 3,75 | 1,84 | 203,64 |
| NORTE | 52 | 47,45 | 93,21 | - | - | - | 8 | 3,46 | 6,79 | - | - | - | 50,91 |
| TOTAL | 1.308 | 1.187,93 | 65,07 | 732 | 356,83 | 19,52 | 435 | 208,13 | 11,40 | 142 | 72,61 | 3,98 | 1.825,5 |

(1) Normalmente resíduos gerados em outras atividades produtivas e que são empregados como combustíveis complementares nos fornos de clínquer (ex. casca de arroz, alcatrão, coque de petróleo, serragem, moinha de coque etc).
(2) 1 tEP = 0,9087 tEOC
Fonte: SNIC (1995); BEN (1996)

### 2.2.1 Medida da eficiência energética da indústria de cimento

Com o segundo choque do petróleo em 1979, a redução na oferta interna de óleo combustível fez com que o carvão mineral e o carvão vegetal produzidos no Brasil se tornassem os combustíveis principais para a geração de energia térmica para a produção de cimento.

Paralelamente, a indústria brasileira de cimento adotou medidas de conservação de energia, que levou a uma redução de mais de 20% no consumo específico de energia no período 1980-1995, como é mostrado na Tabela 2.7. Esse índice diminuiu continuamente a partir de 1980, exceto pelas oscilações ocorridas em 1981 e 1982, que coincidem com o início do emprego de carvão mineral nacional e com o aumento significativo do uso de carvão vegetal.

As medidas de conservação de energia envolveram a preparação do cru e a moagem do clínquer, a redução das perdas de energia dos gases de exaustão dos fornos, a diminuição do teor de umidade da pasta nos processos por via úmida, a redução do excesso de ar de combustão, a redução das infiltrações de ar falso nos fornos, o aumento da eficiência de resfriamento do clínquer, com aproveitamento do calor sensível para aquecimento do ar de combustão, a redução das necessidades de ar primário, a redução nas perdas de pó e a redução nas perdas de calor por radiação e por convecção.

Entretanto, os maiores ganhos foram conseguidos através da conversão dos processos por via úmida para processos por via seca, pela utilização de adições ativas no cimento, pela introdução das inovações tecnológicas associadas aos sistemas de pré-aquecimento e de pré-calcinação[14].

A análise da evolução do consumo específico de energia para fins térmicos mostra que a variação no período de 1980 a 1995 acompanha a evolução do consumo específico de energia total. A evolução do consumo específico de energia para fins térmicos no Setor Cimenteiro, para esse período, é apresentada na Tabela 2.8. Há uma redução de 27% no consumo específico de energia térmica, nesse período, o que pode ser justificado pelo fato de que as medidas de conservação de energia priorizaram a energia para fins térmicos, havendo até um incentivo ao consumo de energia elétrica. Somente agora, com a demanda crescente por energia elétrica, há preocupação com a redução do consumo desse insumo energético.

[14] A introdução do pré-calcinador no sistema de produção de clínquer permite o emprego de combustíveis "menos nobres" que os combustíveis convencionais, pois o processo de calcinação ocorre a 850°C, temperatura muito inferior àquelas encontradas no interior do forno de clínquer.

TABELA 2.7 - Brasil: Evolução do consumo específico de energia no Setor Cimenteiro no período 1980/1995

| ANO | PRODUÇÃO (1.000 t cimento ) | CONSUMO TOTAL DE ENERGIA (1.000 tEP ) | CONSUMO ESPECÍFICO (tEP/ t cimento) |
|---|---|---|---|
| 1980 | 27.193 | 3.372 | 0,1240 |
| 1981 | 26.051 | 3.357 | 0,1288 |
| 1982 | 25.644 | 3.359 | 0,1310 |
| 1983 | 20.870 | 2.567 | 0,1230 |
| 1984 | 19.497 | 2.303 | 0,1181 |
| 1985 | 20.635 | 2.562 | 0,1242 |
| 1986 | 25.257 | 2.970 | 0,1176 |
| 1987 | 25.468 | 2.933 | 0,1152 |
| 1988 | 25.329 | 2.848 | 0,1124 |
| 1989 | 25.920 | 2.743 | 0,1058 |
| 1990 | 25.848 | 2.819 | 0,1091 |
| 1991 | 27.490 | 2.942 | 0,1070 |
| 1992 | 23.903 | 2.496 | 0,1044 |
| 1993 | 24.843 | 2.560 | 0,1030 |
| 1994 | 25.230 | 2.590 | 0,1026 |
| 1995 | 28.256 | 2.789 | 0,0987 |

Fonte: Elaboração própria à partir de dados do SNIC (1995) e BEN (1996)

TABELA 2.8 - Brasil: Evolução do consumo específico de energia para fins térmicos no Setor Cimenteiro no período 1980/1995

| ANO | PRODUÇÃO (1.000 t cimento ) | CONSUMO DE ENERGIA TÉRMICA (1.000 tEP) | CONSUMO ESPECÍFICO (tEP/ t cimento) |
|---|---|---|---|
| 1980 | 27.193 | 2.408 | 0,0886 |
| 1981 | 26.051 | 2.434 | 0,0934 |
| 1982 | 25.644 | 2.453 | 0,0957 |
| 1983 | 20.870 | 1.838 | 0,0881 |
| 1984 | 19.497 | 1.609 | 0,0825 |
| 1985 | 20.635 | 1.829 | 0,0886 |
| 1986 | 25.257 | 2.077 | 0,0822 |
| 1987 | 25.468 | 2.098 | 0,0824 |
| 1988 | 25.329 | 2.013 | 0,0795 |
| 1989 | 25.920 | 1.911 | 0,0737 |
| 1990 | 25.848 | 1.955 | 0,0756 |
| 1991 | 27.490 | 2.036 | 0,0741 |
| 1992 | 23.903 | 1.656 | 0,0693 |
| 1993 | 24.843 | 1.685 | 0,0678 |
| 1994 | 25.230 | 1.689 | 0,0669 |
| 1995 | 28.256 | 1.826 | 0,0646 |

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do SNIC (1995) e BEN (1996)

Para se ter uma perspectiva da evolução do consumo específico de energia para fins térmicos, na Figura 2.2(a) é apresentado um gráfico que correlaciona o consumo específico de energia térmica no ano atual com o consumo específico de energia térmica no ano anterior. Na Figura 2.2(b), é mostrada a participação percentual dos principais energéticos consumidos pelo Setor Cimenteiro.

Embora a redução do consumo específico de energia é devida às mudanças tecnológicas[15] e às políticas de conservação de energia, o gráfico aponta que, para um dado combustível, o consumo específico converge para um dado valor.

Novos ganhos na eficiência energética dos processos de produção de cimento poderão ser obtidos através da co-geração de energia elétrica pela utilização dos gases de exaustão, disponíveis a uma temperatura de cerca de 360°C, os quais respondem pela maior parte das perdas de energia (CEMIG, 1992).

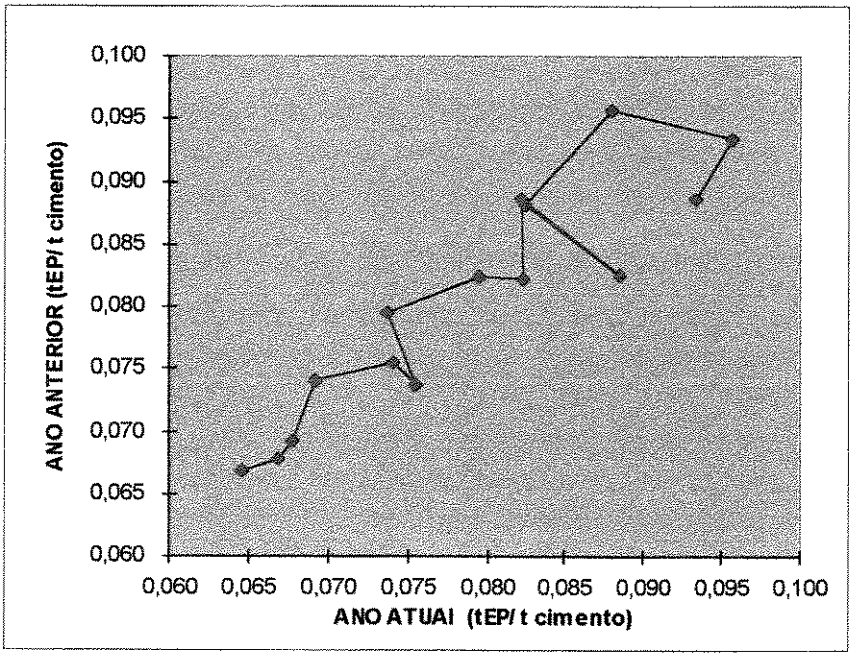



FIGURA 2.2 (a) - Brasil : Análise do consumo específico de energia térmica na produção de cimento no período 1980 - 1995
Fonte: Elaboração própria baseada nos dados do BEN (1996)

[15] SILVA (1994) analisa em detalhe o desenvolvimento tecnológico ocorrido no processo de produção de clínquer.

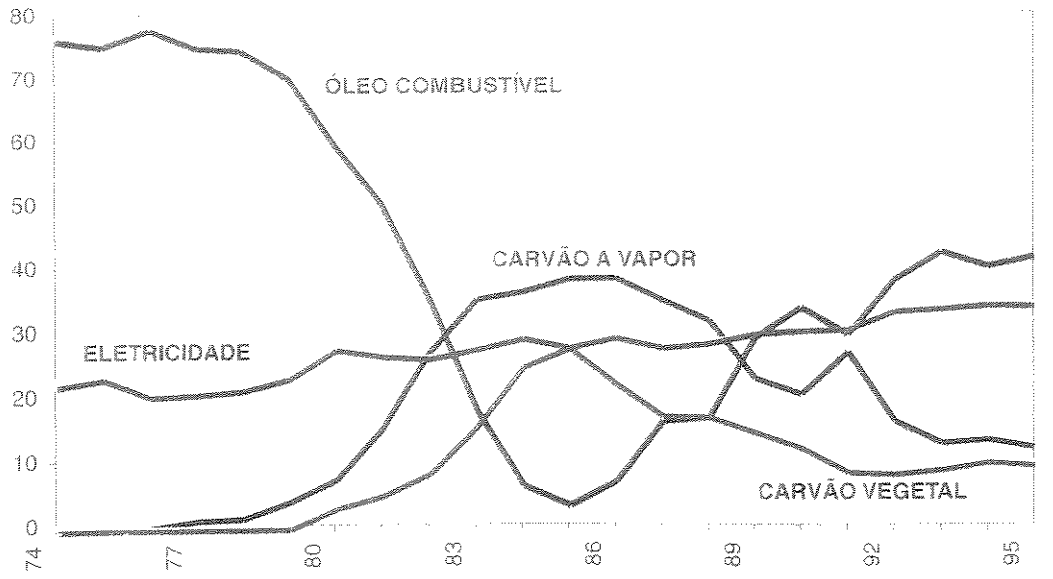



FIGURA 2.2(b) - Brasil: Participação percentual dos principais energéticos no consumo do Setor Cimenteiro
Fonte: (BEN 1996)

## 2.3 A INDÚSTRIA BRASILEIRA DE CIMENTO APÓS OS CHOQUES DO PETRÓLEO E A INDUÇÃO AO USO DE RESÍDUOS COMO COMBUSTÍVEIS COMPLEMENTARES EM FORNOS DE CLÍNQUER

Em resposta aos choques do petróleo da década de 1970, que ameaçou o suprimento regular de óleo bruto e que aumentou muito os gastos com a sua importação, o Governo Brasileiro promoveu esforços enormes para a substituição do petróleo importado, através do aumento da produção interna e do desenvolvimento de fontes alternativas de combustível para os setores industriais, em substituição ao óleo combustível, e de transporte, em substituição à gasolina.

A política energética então proposta, baseava-se em dois pontos principais (ARAÚJO & OLIVEIRA, 1984; ARAÚJO & GHIRARDI, 1987):

I. O desincentivo à utilização dos derivados de petróleo, através do aumento significativo do custo desses produtos, em especial do óleo combustível, cujo preço triplicou em termos reais entre 1979 e 1981 e o estabelecimento de cotas para o fornecimento de óleo combustível às indústrias, nunca superiores ao consumo praticado em 1979.
II. Os incentivos e subsídios às formas alternativas de energia através da assinatura de protocolos para utilização do carvão mineral nacional nas indústrias de aço, cimento e papel e celulose, da concessão de subsídios para o emprego da energia elétrica nos sistemas de geração de calor, e

incentivos e subsídios para a produção e o uso do álcool combustível como substituto da gasolina nos automóveis.

Em 1979, a indústria brasileira de cimento utilizava óleo combustível para suprir 93% de suas necessidades de energia para fins térmicos (BEN, 1996). Diante do novo quadro de escassez de óleo combustível e das políticas governamentais para o Setor, em 19 de setembro de 1979, o Sindicato Nacional da Indústria de Cimento e o Sindicato Nacional da Indústria de Extração de Carvão assinaram Protocolo com o objetivo de substituir o óleo combustível na indústria de cimento pelo carvão mineral nacional e se comprometiam a atingir, já no final de 1984, a substituição total do óleo combustível consumido nas fábricas de cimento, através da utilização do carvão mineral nacional e de medidas de conservação de energia ao nível da fábrica[16] . A indústria de cimento atingiu, no segundo semestre de 1985, 94,6% de substituição do óleo combustível (SNIC, 1986).

No Brasil, a indústria de cimento utilizou óleo combustível 2A até o final da década de 1980. A partir de 1981, já empregava o carvão mineral, inicialmente misturado ao óleo 2A. Em 1989, a indústria de cimento passou a empregar vários tipos de óleos combustíveis.

Com a regularização do mercado interno de óleo combustível, a indústria de cimento passou a ter como principais energéticos o óleo combustível, a eletricidade, o carvão mineral nacional e o carvão vegetal. Embora não se possa inferir que as participações percentuais desses energéticos tenha se estabilizado, no período de 1993 a 1995, a matriz energética da indústria de cimento brasileira era constituída por cerca de 40% de óleo combustível, 34% de eletricidade e 20% distribuídos entre o carvão mineral e o carvão vegetal (BEN, 1996).

Desde 1980, as fábricas de cimento instaladas no Brasil utilizam diversos tipos de materiais alternativos como combustíveis complementares em seus fornos de clínquer, tais como finos de carvão vegetal, resíduos de madeira, aparas de pneus, coque de petróleo, alcatrões, casca de arroz etc. O SNIC tem feito um acompanhamento detalhado do consumo de energéticos para fins térmicos em todas as fábricas de cimento[17], publicando os dados em relatórios anuais. Grande ênfase é ainda dada aos níveis de substituição de óleo combustível atingidos, mas já se percebe uma mudança de enfoque sobre o tema, quando o próprio SNIC relaciona esse fato às questões do meio ambiente (SNIC, 1995): "*A atuação do SNIC se fez sentir em 1995 no apoio às empresas que procuram a utilização de novos energéticos a partir de subprodutos e sobras de outras atividades industriais. Entre outras iniciativas, o SNIC participou de Seminário na Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente - FEEMA, no Rio de Janeiro, ocasião em que foi possível apresentar*

[16] Cópia do Protocolo está apresentada no Anexo IV.
[17] Ver Anexo V.

*aos técnicos daquela instituição de controle ambiental, diversos e detalhados aspectos da nossa atividade. notadamente o da utilização de combustíveis alternativos.*"

Em seu relatório anual de 1995, no que considera "energia alternativa" , o SNIC chama a atenção para "*o advento do coque verde de petróleo e da serragem, e o acréscimo pronunciado do alcatrão, reduzindo-se a utilização da moinha de carbono e da casca de arroz*".

Portanto, os choques do petróleo levaram à diversificação dos combustíveis utilizados na indústria de cimento e tornaram o emprego de resíduos como combustíveis complementares sistemático.

## 2.4 USO DA ENERGIA NA INDÚSTRIA DE CIMENTO DE MINAS GERAIS

Os dados do Balanço Energético Estadual (BEE-MG, 1996) mostram que o consumo final de energia da indústria de cimento instalada em Minas Gerais foi de 590 mil tEP em 1995, o que correspondeu a 5,4% da energia total consumida pelo parque industrial mineiro, colocando o setor cimenteiro como um dos principais consumidores de energia do Estado.

O óleo combustível e a moinha de carvão vegetal[18] são os dois principais energéticos empregados para fins térmicos e a eletricidade é utilizada para acionar motores. Diferentemente das fábricas instaladas em outros Estados brasileiros, o carvão mineral é muito pouco empregado nos fornos de clínquer das fábricas de cimento de Minas Gerais.

Com o segundo choque do petróleo e as restrições na oferta interna de óleo combustível, a partir de 1980, o carvão vegetal foi a opção natural encontrada pelas fábricas de cimento instaladas em Minas Gerais para a substituir o óleo combustível, já que esse insumo energético era produzido em grandes quantidades no Estado para atender parte do seu parque siderúrgico[19]. Além disso, o uso do carvão vegetal nos fornos de clínquer minimizava a dependência das fábricas de cimento mineiras em relação ao carvão mineral proveniente do Sul do Brasil.

---

[18] Os choques sofridos pelo carvão vegetal granulado durante seu manuseio e transporte produzem uma fração de carvão de granulometria muito fina, conhecida como "finos de carvão vegetal" ou "moinha". Esses finos não são apropriados ao carregamento nos altos fornos usados na produção de ferro gusa, sendo, por isso, separados do carvão granulado, tornando-se um resíduo do processo siderúrgico.

[19] Em 1995, foram produzidas em Minas Gerais 4.167 mil t de carvão vegetal granulado e consumidas 5.065 mil t, das quais 3.602 mil t foram destinados ao Setor Siderúrgico. Estima-se que a geração de finos representa de 20% a 30% da massa total de carvão vegetal produzido. Em 1995, foram ofertadas 566 mil toneladas de finos de carvão vegetal, sendo que a indústria de cimento consumiu 305 mil t. Nesse ano, a indústria de cimento mineira não consumiu carvão vegetal granulado (BEE-MG, 1996; ABRACAVE, 1996).

Em 1989, as fábricas de cimento começaram a utilizar o óleo combustível 7A. Devido ao seu alto teor de enxofre, o óleo 7A era misturado ao carvão vegetal em proporções definidas. Atualmente, o óleo combustível 7A é o principal insumo energético empregado para fins térmicos na indústria de cimento instalada em Minas Gerais.

A participação individual de energéticos no consumo final de energia para a produção de cimento em Minas Gerais, em 1995, está apresentada na Tabela 2.9.

TABELA 2.9 - Minas Gerais: Consumo final de energia na produção de cimento

| FONTE | CONSUMO - 1995 | |
|---|---|---|
| | $10^3$ tEP | (%) |
| óleo combustível | 318 | 53,9 |
| carvão mineral | 10 | 1,7 |
| carvão vegetal(1) | 150 | 25,4 |
| eletricidade(2) | 85 | 14,4 |
| outras fontes secundárias(3) | 27 | 4,6 |
| TOTAL | 590 | 100,00 |

(1) compreende finos de carvão vegetal
(2) fator de conversão: 0,08 tEP/MWh
(3) coque de petróleo e alcatrão de carvão mineral
Fonte: BEE-MG (1996)

Na Tabela 2.10 são apresentados os dados sobre a evolução do consumo específico de energia pela indústria de cimento instalada em Minas Gerais. A redução no consumo específico de energia, a partir de 1980, foi devida principalmente à conversão do processo para a via seca, ao emprego de adições ativas no cimento e às políticas públicas caracterizadas pelos programas de conservação de energia.

Na Tabela 2.11 são apresentados dados sobre a evolução do consumo específico de energia para fins térmicos pela indústria de cimento instalada em Minas Gerais.

Os dados globais de consumo de energia para fins térmicos na produção de cimento não refletem as opções por determinados combustíveis nas diversas fábricas. Há uma estreita relação entre a composição da matriz de insumos energéticos para fins térmicos e o preço e a disponibilidade desses insumos no mercado, fazendo com que cada fábrica procure a opção que concilie menor custo e oferta regular.

TABELA 2.10 - Minas Gerais: Evolução do consumo específico de energia no Setor Cimenteiro no período 1980/ 1995

| ANO | CONSUMO TOTAL DE ENERGIA (1.000 tEP) | PRODUÇÃO DE CIMENTO ( 1.000 t ) | CONSUMO ESPECÍFICO (tEP/ t cimento) |
|---|---|---|---|
| 1980 | 772 | 8.026 | 0,0962 |
| 1981 | 757 | 7.622 | 0,0993 |
| 1982 | 718 | 7.061 | 0,1017 |
| 1983 | 582 | 5.259 | 0,1107 |
| 1984 | 516 | 5.626 | 0,0917 |
| 1985 | 555 | 5.820 | 0,0954 |
| 1986 | 602 | 6925 | 0,0869 |
| 1987 | 623 | 6.828 | 0,0912 |
| 1988 | 595 | 6.806 | 0,0874 |
| 1989 | 591 | 6.780 | 0,0872 |
| 1990 | 604 | 6.619 | 0,0913 |
| 1991 | 649 | 7.380 | 0,0879 |
| 1992 | 560 | 6.185 | 0,0905 |
| 1993 | 499 | 6.165 | 0,0809 |
| 1994 | 518 | 6.128 | 0,0845 |
| 1995 | 590 | 7.075 | 0,0834 |

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do SNIC (1995) e BEE-MG (1996)

TABELA 2.11 - Minas Gerais: Evolução do consumo específico de energia para fins térmicos no Setor Cimenteiro no período 1980/ 1995

| ANO | CONSUMO TOTAL DE ENERGIA (1.000 tEP) | PRODUÇÃO DE CIMENTO ( 1.000 t ) | CONSUMO ESPECÍFICO (tEP/ t cimento) |
|---|---|---|---|
| 1980 | 696 | 8.026 | 0,0872 |
| 1981 | 680 | 7.622 | 0,0892 |
| 1982 | 676 | 7.061 | 0,0957 |
| 1983 | 525 | 5.259 | 0,0998 |
| 1984 | 460 | 5.626 | 0,0818 |
| 1985 | 497 | 5.820 | 0,0854 |
| 1986 | 536 | 6925 | 0,0774 |
| 1987 | 551 | 6.828 | 0,0807 |
| 1988 | 522 | 6.806 | 0,0767 |
| 1989 | 517 | 6.780 | 0,0763 |
| 1990 | 532 | 6.619 | 0,0804 |
| 1991 | 364 | 7.380 | 0,0764 |
| 1992 | 485 | 6.185 | 0,0784 |
| 1993 | 426 | 6.165 | 0,0690 |
| 1994 | 442 | 6.128 | 0,0721 |
| 1995 | 505 | 7.075 | 0,0714 |

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do SNIC (1995) e BEE-MG (1996)

Para se ter uma perspectiva da evolução do consumo específico de energia para fins térmicos, na Figura 2.3(a) é apresentado um gráfico que correlaciona o consumo específico de energia térmica no ano atual com o consumo específico de energia térmica no ano anterior. Na

Figura 2.3(b), é mostrada a evolução do consumo de carvão vegetal, eletricidade e óleo combustível e carvão mineral na indústria de cimento instalada no Estado de Minas Gerais, no período compreendido entre 1980 e 1995.

Analogamente ao que ocorre a nível nacional, o gráfico aponta que, para um dado combustível, o consumo específico converge para um dado valor.

As diferenças entre os consumos específicos nacional e de Minas Gerais, tanto para o consumo total de energia, quanto para o consumo de energia térmica, se devem ao fato da matriz energética da indústria de cimento em Minas Gerais ser diferente da matriz energética da indústria de cimento nacional.

Relativamente ao processo de substituição de óleo combustível, a indústria de cimento instalada em Minas Gerais apresentou um comportamento análogo ao da indústria nacional, mas com a peculiaridade de ter empregado carvão vegetal como principal substituto. Com um acentuado crescimento na década de 1980, o consumo de carvão vegetal passou de 70 mil tEP (9,06%) em relação ao consumo total de energia na indústria de cimento em 1980, para 216 mil tEP (35,76%), em 1990, com um pico em 1988, quando foram consumidas 251 mil tEP (42,18%).

A Tabela 2.12 apresenta a composição da matriz de energéticos para fins térmicos das fábricas de cimento instaladas em Minas Gerais. Os dados são referentes ao ano de 1995.

Em 1995, a indústria de cimento de Minas Gerais consumiu 505 mil tEP (556 mil tEOC) para a geração de energia térmica, sendo a matriz energética constituída por 64,51% de óleo combustível, por 29,74% de finos de carvão vegetal, por 3,88% de resíduos e por 1,87% de carvão mineral (BEE-MG, 1996)[20].

Portanto, para uma dada tecnologia, o consumo específico de energia térmica na produção de cimento depende da matriz energética.

[20] No Anexo VI são apresentadas tabelas com dados de produção de cimento e de consumo de energéticos para fins térmicos de cada fábrica de cimento instalada em Minas Gerais, para o período 1986/1995, baseadas nos dados do SNIC publicados em relatórios anuais.

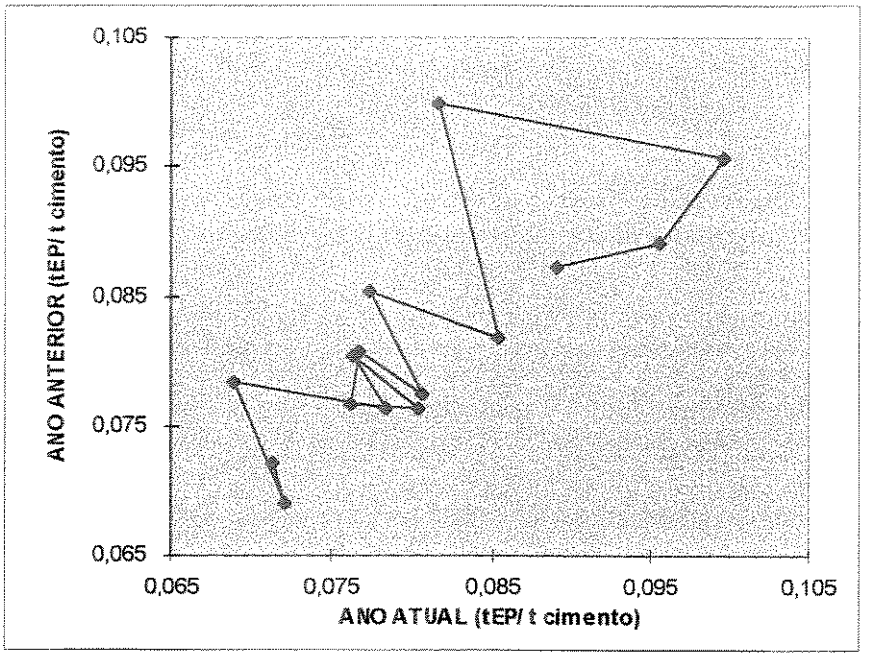



FIGURA 2.3 (a) - Minas Gerais: Análise do consumo específico de energia para fins térmicos produção de cimento no período 1980 - 1995

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do BEE-MG (1996)

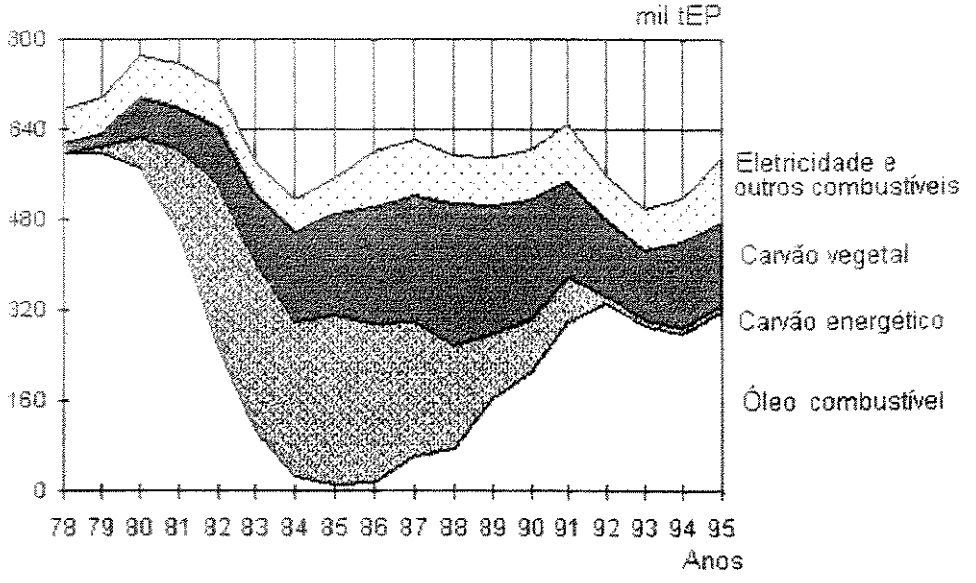



FIGURA 2.3 (b) - Minas Gerais: Consumo de carvão mineral, carvão vegetal e óleo combustível na indústria de cimento no período 1980 - 1995.

Fonte: BEE-MG (1996)

TABELA 2.12 - Minas Gerais: Consumo de energéticos para fins térmicos - 1995

| FÁBRICA | ENERGÉTICOS CONSUMIDOS | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ÓLEO COMBUSTÍVEL | | | CARVÃO VEGETAL | | | CARVÃO MINERAL | | | OUTROS (1) | | | TOTAL (2) |
| | t x $10^{-3}$ | tEP x $10^{-3}$ | % | t x $10^{-3}$ | tEP x $10^{-3}$ | % | t x $10^{-3}$ | tEP x $10^{-3}$ | % | t x $10^{-3}$ | tEP x $10^{-3}$ | % | tEP x $10^{-3}$ |
| Cauê | 32,6 | 29,59 | 59,86 | 41,7 | 18,13 | 36,69 | - | - | - | 2,1 | 1,71 | 3,42 | 49,43 |
| Ciminas | 32,4 | 29,38 | 27,38 | 100,5 | 54,05 | 50,54 | 13,5 | 8,5 | 7,92 | 19,4 | 15,39 | 14,37 | 107,32 |
| Mauá | 0,6 | 0,51 | 1,46 | 75,3 | 34,16 | - | - | - | - | - | - | - | 34,67 |
| Soeicom | 82,2 | 74,60 | 100,00 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 74,60 |
| Paraíso | 58,6 | 53,18 | 99,13 | - | - | - | - | - | - | 0,6 | 0,47 | 0,87 | 53,65 |
| Tupi | 43,8 | 39,77 | 97,74 | - | - | - | 1,6 | 0,92 | 2,26 | - | - | - | 40,69 |
| CMOC-Arcos | 2,7 | 2,48 | 42,35 | 7,4 | 3,38 | 57,65 | - | - | - | - | - | - | 5,86 |
| CMOC-Uberaba | 8,9 | 8,04 | 100,00 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 8,04 |
| Itaú | 63,0 | 57,20 | 75,55 | 35,8 | 16,47 | 21,75 | - | - | - | 3,0 | 2,04 | 2,69 | 75,71 |
| Matsulfur | 34,2 | 31,03 | 56,38 | 47,3 | 24,00 | 43,62 | - | - | - | - | - | - | 55,03 |
| TOTAL | 359,0 | 325,78 | - | 308,0 | 150,19 | - | 15,1 | 9,42 | - | 25,1 | 19,61 | - | 505,00 |

(1) Correspondem à coque verde de petróleo, bagaço de cana, finos de coque e resíduos de borracha
(2) 1 tEP = 0,9079 tEOC
Fonte: Elaboração própria à partir de dados do SNIC (1995) e BEE-MG (1996)

É interessante observar que, dentro da concepção de conservação da energia, o procedimento adotado pela indústria de cimento foi coerente. Entretanto, nem sempre a busca da redução no consumo, por si só, garante a eficiência quanto ao uso da energia. A análise global de um processo energético mostra que a redução no consumo de energia deve estar sempre condicionada à eficiência do seu uso. Na indústria de cimento, há grandes perdas de energia contida nos gases de exaustão. Assim, seria interessante considerar a possibilidade de se aproveitar essa energia térmica para a co-geração de energia elétrica[21].

## 2.5 O SUPRIMENTO DE ENERGÉTICOS

### 2.5.1 Suprimento de energia elétrica

A CEMIG fornece energia elétrica para todas as plantas de cimento instaladas em Minas Gerais.

As fábricas Cauê, CIMINAS, SOEICOM, Mauá, Tupi, Paraíso, Matsulfur, CMOC-Arcos e CMOC-Uberaba dependem integralmente da CEMIG para o suprimento de eletricidade. A Itaú tem duas pequenas usinas hidrelétricas, com potência instalada de 7 MW, situadas no Rio São João e ligadas ao complexo industrial da empresa, constituído pela mineração de calcário e pelas fábricas

[21] A co-geração na indústria cimenteira já vem sendo realizada em países da Europa e no Japão (CEMIG, 1992).

de cimento e de cal, por uma linha de transmissão de 5 km. Essas usinas fornecem 6.300 MWh por mês ao complexo industrial (PROCESSO COPAM/PA/Nº 015/79).

A CMOC-Uberaba possuía, até o início de 1997, uma usina hidrelétrica que fornecia energia para a sua fábrica de cimento. Esta usina foi destruída pelas intensas chuvas que caíram na região no verão de 1997, o que paralisou a operação da fábrica. O funcionamento foi regularizado com a instalação de um ponto de transmissão da CEMIG, (CMOC-Uberaba, contato telefônico, 1997).

O relatório "Consumidores Industriais de Transmissão e do Primário - Demanda > 250 kW" (CEMIG, 1995), traz dados referentes ao consumo total de energia elétrica por fábrica de cimento, os quais foram transcritos na Tabela 2.13 O consumo de eletricidade da CMOC-Uberaba não está disponível nesse relatório, porque a empresa não consumia energia elétrica da CEMIG em 1995. O valor apresentado na Tabela foi informado pela empresa (CMOC-Uberaba, questionário, 1997)

O consumo total de eletricidade de 930.212 MWh, equivalente à 74.416 mil tEP, não coincide com os dados de consumo total de eletricidade para as indústrias de cimento, de 85.000 mil tEP que consta do BEE-MG/1996. Essa diferença, de menos 12,5%, pode ser creditada ao consumo de energia elétrica nas minas que produzem calcário para a indústria de cimento e também pelos dados de consumo de energia elétrica da Itaú, obtidos no Processo COPAM/FEAM, e da CMOC-Uberaba, informados pela própria empresa.

A CEMIG está estabelecendo parcerias com a iniciativa privada para viabilizar novos investimentos em geração de energia elétrica. O Grupo Cimento Mauá (Lafarge) participa do consórcio para a construção da Usina Pai Joaquim, com capacidade de 23 MW. O Grupo Matsulfur (Lafarge) participa do consórcio para a construção da Usina Irapé[22], com capacidade 380 MW (www.cemig.com.br, 1997).

Em leilão realizado em 28 de maio de 1997, o Governo de Minas Gerais transferiu um terço das ações ordinárias da CEMIG para o consórcio liderado pela Southerm Electric e AES, que controlam 90% das ações vendidas, e o grupo de investidores constituídos pela Forluz, Previ, Sistel, Fundação Copel, Bradesco, Banco Oportunity e a Metalúrgica La Fonte.

[22] Nessa associação também estão presentes a Cia Vale do Rio Doce, a Coteminas e a Nova Era Silicon (www.cemig.br, 1997).

Essa transferência de ações provocou inquietação entre os industriais de Minas Gerais e o Presidente da FIEMG afirmou que "*a entidade teme reajustes nas tarifas elétricas no mesmo modelo concebido de reajustes anuais de tarifas concedidos às empresas estaduais privatizadas antes, Light e CERJ do Rio de Janeiro e ECELSA do Espírito Santo*" (BICALHO, 1997).

TABELA 2.13 - Minas Gerais: Consumo de energia elétrica pelas fábricas de cimento - 1995

| FÁBRICA | CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA ( MWh ) | PRODUÇÃO DE CIMENTO ( 1.000 t ) | CONSUMO ESPECÍFICO (kWh / t cimento) |
|---|---|---|---|
| Cauê - P. Leopoldo | 184.900 | 1.063 | 172,8 |
| Ciminas - P.Leopoldo | 135.432 | 1.225 | 110,6 |
| Mauá - Matozinhos | 61.213 | 590 | 103,8 |
| SOEICOM | 106.576 | 1.194 | 89,3 |
| Paraíso - Barroso | 125.827 | 623 | 202,0 |
| Tupi - Carandaí | 50.034 | 464 | 107,8 |
| CMOC - Arcos | 15.900 | 83 | 191,4 |
| CMOC - Uberaba | 9.596 (1) | 97 | 98,9 |
| Itaú - Itaú de Minas | 79.643 + 75.600(2) | 1.151 | 134,9 |
| Matsulfur - Montes Claros | 85.491 | 585 | 146,1 |
| TOTAL | 930.212 | 7.075 | 131,5 |

(1) Calculado a partir de dados de produção de cimento e consumo de eletricidade informados pela empresa, (1997)
(2) Geração própria
Fonte: Elaboração própria a partir de dados da CEMIG (1995), SNIC (1995), questionário CMOC-Uberaba (1997)

## 2.5.2 Suprimento de óleo combustível

As indústrias de cimento instaladas em Minas Gerais consomem óleo combustível ultra-viscoso do tipo 7A produzido em diferentes unidades de refino da Petrobrás. As características finais dos óleos combustíveis colocados no mercado, como poder calorífico e concentração de enxofre, dependem diretamente do elenco de óleos crus que são processados nas refinarias[23].

O emprego do óleo combustível 7A deve-se a três fatores bastante interessantes para as fábricas de cimento:

I. poder calorífico comparável ao dos outros óleos combustíveis disponíveis no mercado, pois o óleo 7A produzido na REGAP tem poder calorífico superior de 10.030 kcal/kg (42.000 kJ/kg);

[23] O petróleo processado nas refinarias da Petrobrás é formado por um elenco de óleos crus de diferentes procedências. O elenco de crus que compõem o "plano de produção" de uma refinaria é muito variável e sua formação está condicionada, basicamente, às questões conjunturais do mercado internacional do óleo em relação ao petróleo brasileiro. Por exemplo, em julho/1997, o plano de produção da REGAP-MG previu o processamento de 713.000 m3 de petróleo formado por 464.000 $m^3$ de óleo da Bacia de Campos, 140.000 $m^3$ de óleo Sergipano Terra, 35.000 $m^3$ de óleo Sergipano Plataforma e 74.000 $m^3$ de petróleo argentino (Petrobrás/REGAP, contato telefônico, 1997).

II. preços menores que os preços dos demais óleos combustíveis, pois enquanto que o óleo 7A custa R$10,08/Gcal, o óleo 2A custa R$ 15,47/Gcal e o óleo 1B custa R$ 19,47/Gcal , que é o mais caro (CEMIG, 1997)[24];
III. disponibilidade e oferta regular.

As fábricas de cimento instaladas em Minas Gerais compram o óleo combustível diretamente das distribuidoras BR, Shell, Esso, Texaco, Ipiranga mais próximas da unidade fabril, considerando que os custos com o frete crescem com as distâncias percorridas, o que pode ser mostrado com alguns dados obtidos na investigação: a Cauê, a Ciminas e a Soeicom compram o óleo 7A produzido na REGAP/ Betim - MG e a CMOC- Uberaba compra o óleo 7A produzido na REPLAN/Paulínea - SP. A Soeicom paga R$5,20/ t óleo transportado, a Cimento Tupi R$18,65/ t de óleo transportado e a CMOC-Uberaba R$33,80/t óleo transportado, valor que representa um terço do preço da tonelada do óleo 7A, que em julho/97 custava R$97,00 (Informação das empresas, questionários, 1997; CEMIG, 1997).

Desde que a Petrobrás colocou o óleo 7A no mercado sua oferta tem sido regular. O óleo 7A é um óleo de qualidade inferior, por se tratar de produto de fundo de coluna, de alta viscosidade, e estava se tornando um problema para as refinarias devido às grandes quantidades geradas. Em vista disso, a Petrobrás ofereceu esse produto a preços mais atraentes aos antigos consumidores dos óleos tipo 4 e tipo 2. Atualmente, a demanda pelos óleos tipo 7A e 7B ultrapassou a capacidade produtiva da REGAP. Por outro lado, com a instalação da Unidade de Coqueamento Retardado[25] na REGAP, onde parte do óleo 7 produzido é reprocessado, os prazos de entregas de encomendas de óleo 7 aumentaram (PETROBRÁS, contato telefônico, 1997).

Associando esses fatos recentes à declaração do técnico da CIMINAS (entrevista em novembro/95) de que *"a Petrobrás tem demorado muito a entregar as encomendas de óleo 7A"*, constata-se uma certa preocupação das fábricas de cimento com relação à disponibilidade e à oferta desse produto para atender as suas demandas.

---

[24] Apesar do custo baixo, o emprego do óleo 7A exige investimentos razoáveis para sua queima, porque ele é ultra-viscoso e, por isso, precisa ser pré-aquecido à 240°C para ser injetado nos queimadores dos fornos de clínquer.

[25] A REGAP instalou sua Unidade de Coqueamento Retardado, em 1992, com o objetivo de atender ao mercado interno de produtos leves e médios, através da redução da produção de óleos combustíveis e o aumento da produção de óleo diesel, que é o produto mais crítico na sua área de influência. Com capacidade para processar 2.500 $m^3$/ dia de resíduo de vácuo, a UCR produz coque verde (902 t/dia), GLP (110 t/dia), gás combustível (157 t/dia), os produtos intermediários gasóleo (1.309 t/dia) e nafta (476 t/dia), além de gás ácido (22 t/dia) ,que é empregado na fabricação de enxofre.

As indústrias de cimento são um mercado potencial para o coque verde de petróleo produzido na REGAP, como substituto do óleo combustível, carvão mineral ou carvão vegetal. É de se supor que as fábricas de cimento mais próximas do Município de Betim, onde a Refinaria está instalada - Cauê, Ciminas, Soeicom, Mauá e Tupi - sejam as maiores interessadas. O mercado potencial desse segmento industrial é maior que a produção total da REGAP, sendo estimado em 1,1 milhão de toneladas anuais (PROCESSO COPAM/PA/Nº 22/80)

### 2.5.3 Suprimento de carvão vegetal

Em 1995, a indústria de cimento instalada em Minas Gerais consumiu 305 mil toneladas de finos de carvão vegetal, equivalentes à 150 mil tEP. Nos últimos três anos, as fábricas de cimento mineiras não consumiram carvão vegetal granulado (BEE-MG, 1996).

Os finos de carvão vegetal são originados nas carvoarias e nas plantas siderúrgicas de redução de minérios, que empregam o carvão vegetal como termo-redutor. Em 1995, foram consumidas 5.065 mil toneladas de carvão vegetal granulado em Minas Gerais, para uma produção no Estado de 4.167 mil toneladas, sendo que 3.131 mil toneladas, cerca de 62%, foram consumidas pela siderurgia não integrada e 1.351 mil toneladas, cerca de 27%, pela siderurgia integrada (BEE-MG, 1996).

Em 1995, foram colocadas no mercado de Minas Gerais 566 mil toneladas de finos de carvão vegetal, sendo que 464 mil toneladas foram geradas no Estado. As fábricas de cimento mineiras consumiram 305 mil toneladas de finos de carvão vegetal em seus fornos de clínquer.

Assim, a disponibilidade e a oferta desse insumo energético estão estreitamente relacionadas ao setor siderúrgico à carvão vegetal. As estratégias recentes adotadas pelas indústrias siderúrgicas em relação à substituição desse termo-redutor pelo coque de carvão mineral, devido a fatores econômicos[26] e ambientais relacionados à produção e à utilização do carvão vegetal, deverão alterar a disponibilidade e a oferta futura dos finos de carvão vegetal[27].

Como concorrentes do carvão vegetal empregado para fins siderúrgicos, também estão despontando o coque de petróleo[28] e o gás natural[29].

Pode-se observar que as fábricas de cimento que utilizam finos de carvão vegetal estão próximas a centros produtores ou consumidores de carvão vegetal. As fábricas da CIMINAS, da Cauê e da Mauá estão próximas de Contagem, Sete Lagoas e Divinópolis, a fábrica da CMOC está

---

[26] A fixação de alíquota zero para a importação de carvão mineral, em 1990/1991, estimulou as grandes indústrias siderúrgicas que dispõem de coqueria, como a USIMINAS, a produzir coque em quantidades excedentes, que são vendidas às usinas siderúrgicas tradicionalmente consumidoras de carvão vegetal.

[27] Maiores detalhes sobre o assunto em MEDEIROS, J. X. (1995).

[28] O coque verde produzido na REGAP também tem nas siderúrgicas um mercado potencial, pois ele pode ser empregado numa proporção de até 20% na mistura de carvões, em substituição aos carvões de baixo teor de voláteis na coquerias, na fabricação do coque metalúrgico (PROCESSO COPAM/PA/Nº 22/80)

[29] A GASMIG está expandindo a distribuição de gás natural no Estado de Minas Gerais e tem projetos para levar o gás até o Município de Sete Lagoas (Ramal Norte, em construção desde janeiro/1997) e à Região do Vale do Aço (Ramal de 220 km), onde estão instalados os produtores de ferro gusa e aço do Estado (CEMIG, contato telefônico, 1997).

instalada em Arcos, municípios onde há pólos guseiros e a fábrica da Matsulfur está localizada em Montes Claros, região grande produtora de carvão vegetal no Estado de Minas Gerais.

O mercado mineiro de finos de carvão vegetal deve ser alterado também pela transferência de siderúrgicas independentes instaladas em Minas Gerais para a Região de Carajás no Pará, onde há abundância de minério de ferro e grande disponibilidade de carvão vegetal, além de exigências ambientais muito menores por parte do poder público[30] e pelo desenvolvimento de tecnologias para o reaproveitamento dos finos de carvão vegetal nas próprias siderúrgicas[31].

Esses fatos já estão se refletindo no suprimento de finos de carvão vegetal para as fábricas de cimento, conforme relatado pelo técnico da CIMINAS: "*às vezes há dificuldade na reposição de estoques de moinha ... talvez pelo fechamento das fábricas de ferro gusa em Sete Lagoas e Divinópolis* ", onde se concentra o principal pólo guseiro de Minas Gerais (CIMINAS, entrevista, 1994).

O preço dos finos de carvão vegetal, equivalente à RS$30/ tonelada, associado a um poder calorífico de 5.300 kcal/kg, equivalente a R$5,66/ Gcal, é baixo quando comparado com outros combustíveis (CIMINAS, entrevista, 1996).

### 2.5.4 Suprimento de outros energéticos

Os energéticos não convencionais que foram empregados nas fábricas de cimento instaladas em Minas Gerais estão incluídos no grupo denominado "outras fontes secundárias de energia" [32] pelo BEE-MG. Em 1995, a indústria de cimento mineira consumiu 27 mil tEP desses materiais como combustíveis complementares em seus fornos de clínquer, o que representou um salto significativo no consumo desses materiais em relação aos anos anteriores.

Em 1995, o principal energético não convencional utilizado pelas fábricas de cimento mineiras em seus fornos de clínquer foi o coque verde de petróleo. Dos 90 mil $m^3$ consumidos

---

[30] Em junho de 1996, dos 96 fornos das siderúrgicas independentes de Minas Gerais, que somam uma capacidade instalada de 469.000 t de gusa/ ano, 43 fornos estavam paralisados, representando uma redução de 41% na capacidade de produção do Setor no Estado (SINDIFER, 1997).

[31] Sinterização e injeção no alto forno.

[32] Compreendem coque de petróleo, alcatrão de carvão mineral, alcatrão de carvão vegetal, nafta petroquímica e gás de refinaria e são produzidos em refinarias de petróleo, coquerias e carvoarias. Em 1995, foram ofertados o equivalente à 310 mil tEP desses combustíveis, tendo o setor industrial consumido 163 mil tEP, distribuídos principalmente entre a indústria metalúrgica de não ferrosos (34%), a indústria de ferro gusa e aço (25%), a indústria química (12%), a indústria cerâmica (8%) e a indústria de cimento (17%) (BEE-MG, 1996).

pelas fábricas instaladas em Minas Gerais, a indústria de cimento utilizou 31 mil $m^3$, o que corresponde a 25,6 mil tEP (BEE-MG, 1996)[33].

O preço do coque de petróleo varia em função de sua granulometria. Para a faixa granulométrica compreendida entre 0 e 15 mm, o preço médio é de R$79,30/tonelada, que corresponde a R$9,51/Gcal, enquanto que para a faixa entre 15 e 200 mm, o preço salta para R$116,82, ou R$14,01/Gcal, não incluindo frete (CEMIG, 1997).

A Tabela 2.14 apresenta os preços médios dos energéticos empregados na indústria de cimento instalada em Minas Gerais.

TABELA 2.14 - Minas Gerais: Preços médios dos energéticos empregados na indústria de cimento

| ENERGÉTICO | unidade medida | Preços médios | |
|---|---|---|---|
| | | R$/unidade | R$/Gcal |
| energia elétrica (1) | MWh(2) | 41,36 | 48,09 |
| óleo combustível 7A | kg | 0,097 | 10,08 |
| finos de carvão vegetal | t | 30,00 | 5,66 |
| coque de petróleo | t | 79,30 (3)<br>116,82 (4) | 9,51<br>14,01 |
| coque de carvão mineral | t | 152,44 | 24,84 |

(1) A1 - 250 kV ou mais
(2) 1 MWh = 0,86 x $10^6$ kcal
(3) granulometria entre 0-15 mm
(4) granulometria entre 15-200 mm
Fonte: CEMIG (1997); CIMINAS, entrevista (1996)

## 2.5.5 Carvão mineral

O carvão mineral não será considerado neste trabalho, pois não é representativo na matriz energética da indústria de cimento de Minas Gerais. Seu consumo, em 1995, foi de apenas metade do consumo de energéticos classificados pelo BEE-MG (1996) como "outras fontes secundárias".

[33] No Anexo VII estão apresentadas as características físico-químicas do coque verde de petróleo produzido na REGAP. Em 1996 a REGAP produziu 207.000 toneladas de coque verde de petróleo (PETROBRÁS/ REGAP, fax, 1997).

### 2.5.6 Gás natural

O gás natural distribuído pela GASMIG[34] é produzido pela Petrobrás na Bacia de Campos, no Estado do Rio de Janeiro. Atualmente, o gasoduto atende à indústria mineira localizada no eixo Rio de Janeiro - Juiz de Fora - Betim/ Petrobrás/ REGAP - Contagem. São distribuídos 550 mil $m^3$/dia de gás natural para 28 indústrias como Belgo Mineira, Paraibuna de Papéis, Malharia Master, Tyressoles, Pneusbrás, Mannesmann, Fiat, Samag e Magnesita, dentre outras. Com a conclusão, em dezembro de 1997, da primeira etapa do Ramal Norte do gasoduto que ligará Contagem à Santa Luzia, São José da Lapa e Vespasiano, municípios da Região Metropolitana de Belo Horizonte, o número de empresas atendidas passará para 49, estando entre elas a Cecrisa, Celite e Aço Forjas (SILVA, 1996; CREA-MG, 1997).

A investigação realizada neste trabalho identificou o interesse das fábricas de cimento em empregar gás natural para gerar energia elétrica em termelétricas próprias. Como não há ainda muitas ramificações do gasoduto, as fábricas de cimento devem aguardar a expansão da oferta de gás pela GASMIG. Com a entrada em operação da primeira etapa do Ramal Norte, a SOEICOM será a primeira fábrica de cimento que poderá receber o gás natural. Embora as fábricas da Tupi e da Paraíso estejam instaladas no eixo do gasoduto, é necessário construir redes de distribuição para levar o gás natural até elas. A segunda etapa do Ramal Norte, que irá até Sete Lagoas, deverá estar concluída entre 2001 e 2002 e deverá atender as fábricas da CIMINAS, Cauê e Mauá (CEMIG, entrevista, 1997).

Para viabilizar o emprego do gás natural no setor cimenteiro, a GASMIG está negociando a venda desse energético para uso múltiplo, ou seja, geração de energia elétrica no horário de ponta (18 às 21 horas) e geração de energia térmica para os fornos de clínquer fora do horário de ponta. A geração de energia elétrica é preferencial e por isso as termelétricas deverão operar ininterruptamente nos períodos de seca, produzindo energia elétrica para consumo próprio e, possivelmente, para venda a terceiros. O uso do gás natural exclusivamente nos fornos de clínquer não é economicamente viável devido ao seu custo maior em relação ao óleo 7A e aos carvões. (CEMIG, entrevista, 1997)[35].

---

[34] A GASMIG é subsidiária da CEMIG e atua na distribuição do gás natural no Estado de Minas Gerais.

[35] A tarifa da GASMIG para o gás natural é calculada em função do volume contratual mensal e do volume efetivamente consumido, sendo que os valores das tarifas variam de R$0,227/ $m^3$, para consumos até 2.500 $m^3$/mês, a R$0,1124/ $m^3$, para consumos acima de 1.500.000 $m^3$/ mês (CEMIG, 1997).

# CAPÍTULO 3
# PRODUÇÃO DE CIMENTO E MEIO AMBIENTE

> "La natura ci permette di fare quase di tutto, ma a tre condizioni: che lo si faccia su scala ridotta, con intensità limitata, a bassa velocità; solo cosí risponde alle sollecitazioni con squilibri molti ridotti..."
>
> (Laura Conti, 1983)

Neste Capítulo, pretende-se mostrar que um empreendimento industrial de grande porte, mesmo dotado das mais modernas tecnologias de controle da poluição, é responsável pelo lançamento de inúmeras substâncias nocivas ao meio ambiente e, desse modo, altera significativamente os ritmos das extensas regiões onde seus impactos são sentidos.

Com esse objetivo, apresenta-se particularidades da geração e emissão de poluentes nas plantas de produção de cimento. A abordagem não é exaustiva, pois envolve tema de enorme complexidade, mas pretende ser suficiente para fazer transparecer os pontos principais do conflito entre essa indústria e o Meio Ambiente.

## 3.1 GERAÇÃO E CONTROLE DA POLUIÇÃO NA INDÚSTRIA DE CIMENTO

A indústria de cimento é conhecida por seu elevado potencial poluidor associado às emissões de material particulado[36] e de compostos gasosos como o dióxido de carbono, dióxido de enxofre e os óxidos de nitrogênio. O nível de emissão dos efluentes atmosféricos depende das características tecnológicas do processo industrial, da composição química e mineralógica das matérias-primas e da composição química dos combustíveis empregados.

Devido à natureza do processo, o controle das emissões atmosféricas sempre foi de grande importância para a indústria de cimento. Até recentemente, as atenções estavam direcionadas para a redução das emissões de material particulado. Atualmente, as emissões de gases e de vapores que ocorrem durante o processo de clinquerização são também fatores importantes na preservação da qualidade ambiental.

---

[36] O material particulado é constituído por partículas sólidas de tamanhos diversos, variando entre 0,01 à 100 micra, com diâmetro e formato irregular (CETESB, 1992).

Na análise da formação e emissão de efluentes de processamento, é importante considerar o fenômeno de formação de "ciclos químicos", que ocorre na rota de produção do sistema de pré-aquecimento para a zona de clinquerização do forno, por certos compostos que estão presentes no meio reagente na forma de haletos ou de óxidos. Devido ao ponto de ebulição relativamente baixo desses compostos, eles vaporizam e passam para a corrente gasosa, sendo carregados pelos gases do forno para as partes mais frias do sistema. Dependendo da temperatura, eles se condensam nessas regiões e alguns deles passam para o fluxo de matérias-primas e novamente são introduzidos no forno. Esse fenômeno é particularmente importante no caso dos compostos alcalinos, dos compostos de cloro e enxofre e dos óxidos de metais pesados (WEISWEILLER & KRÊMAR, 1990). A formação dos ciclos é determinada pela composição química e mineralógica de matérias-primas, pela composição química dos combustíveis e pelas características tecnológicas de processo. Sua formação pode prejudicar a operação do forno e a qualidade do cimento produzido, além de aumentar o grau de periculosidade do material particulado emitido nas chaminés das fábricas de cimento (NEUMANN et al., 1990).

O comportamento de determinados elementos durante o processamento e sua influência nas emissões para o meio ambiente é melhor compreendido se os ciclos químicos forem diferenciados em ciclos internos e ciclos externos. Os ciclos internos são formados pelos compostos que vaporizam no forno e condensam nas partes inferiores do pré-aquecedor, sendo reintroduzidos no forno juntamente com o fluxo descendente de matérias-primas. Os ciclos externos são formados pelas substâncias coletadas nos equipamentos de controle da poluição - precipitador eletrostático ou filtro de mangas - e que são realimentadas no sistema do forno juntamente com a farinha crua (NEUMANN et al., 1990).

Os pontos onde ocorrem a vaporização e a condensação desses compostos dependem sobretudo das propriedades de cada um deles. Se os ciclos não são interrompidos, formam-se ciclos fechados, ocorrendo o aumento da concentração (enriquecimento) de determinados elementos e compostos nos materiais presentes no forno, no pré-aquecedor, no moinho de matérias-primas e nos equipamentos de controle da emissão de poluentes (NEUMANN et al., 1990).

O grau de vaporização desses compostos, a absorção de seus vapores pelas matérias-primas presentes no pré-aquecedor, moinho de cru e filtros e seu grau de incorporação no clínquer determinam o tempo necessário para se atingir o grau de saturação de um ciclo químico. O tempo de acumulação varia entre algumas horas, para os álcalis e compostos de enxofre, até muitos meses, no caso dos metais pesados, especialmente o tálio. A concentração de uma substância nos materiais presentes no sistema do forno, após a saturação do ciclo, pode ser muitas vezes maior que sua concentração inicial (NEUMANN et al., 1990).

Os problemas ocasionados pela formação dos ciclos químicos podem ser resolvidos pela sua interrupção através de sistemas de purga (bypass) instalados no ponto de transição entre o forno e o pré-aquecedor. O sistema de purga do gás (bypass do gás) remove a porção dos gases de exaustão do forno que contém compostos na forma de vapor capazes de formar ciclos. Cloretos alcalinos e sulfatos, bem como alguns metais pesados, podem ser, assim, retirados do processo. O sistema de purga da farinha (bypass da farinha) remove parte das matérias-primas pré-aquecidas que estão enriquecidas pelos ciclos químicos formados pelos compostos condensados no pré-aquecedor. O terceiro método de interrupção dos ciclos consiste na instalação de um sistema de purga de pós (bypass do pó), que retira parte do pó coletado nos filtros e interrompe os ciclos externos (NEUMANN et al., 1990).

A Figura 3.1 apresenta um fluxograma do processo de produção de clínquer destacando os ciclos químicos que podem ser formados nos fluxos de materiais e os sistemas de purga empregados para interrupção dos ciclos saturados.

### 3.1.1 Material particulado

O material particulado ainda é considerado o principal poluente das fábricas de cimento, sendo constituído pelo pó gerado no processo térmico de produção de clínquer , pelo pó gerado nas operações de moagem de farinha crua e de cimento e pelos pós gerados nos locais e pontos de transferência de materiais e produtos pulverulentos (CETESB, 1992).

Devido à geração elevada de material particulado, cerca de 128 kg por tonelada de clínquer no sistema do forno e 48 kg por tonelada de clínquer nas demais fontes[37] (CETESB, 1992) e à grande variação na distribuição granulométrica das partículas presentes no fluxo de gases que emanam das chaminés das fábricas de cimento, é necessário instalar equipamentos para controlar a emissão de pós. Normalmente, instala-se um pré-coletor de partículas seguido de um precipitador eletrostático, ou filtro de mangas, de alta eficiência na retenção de partículas menores que 10 micra, que constituem as partículas inaláveis, e que correspondem à 40% das partículas emitidas. Atualmente, já estão disponíveis modernos precipitadores eletrostáticos, que permitem reduzir significativamente os níveis de emissão de material particulado, atingindo-se valores menores que 50 mg de material particulado por $Nm^3$ de gás emitido nas chaminés das plantas cimenteiras[38] (RANZE & WOLF, 1994).

---

[37] As outras fontes de emissões atmosféricas de material particulado constituem-se nas chamadas "poeiras fugitivas" formadas pelo material particulado levantado do solo devido à movimentação de veículos de transporte de carga nas áreas industriais da fábrica e das pilhas de matérias-primas estocadas em pátios.

[38] Precipitadores eletrostáticos de alta eficiência já foram instalados nas fábricas de cimento da Soeicom, Tupi e Itaú (Processos COPAM/PA/Nº 001/77, 71/79 e 015/79).

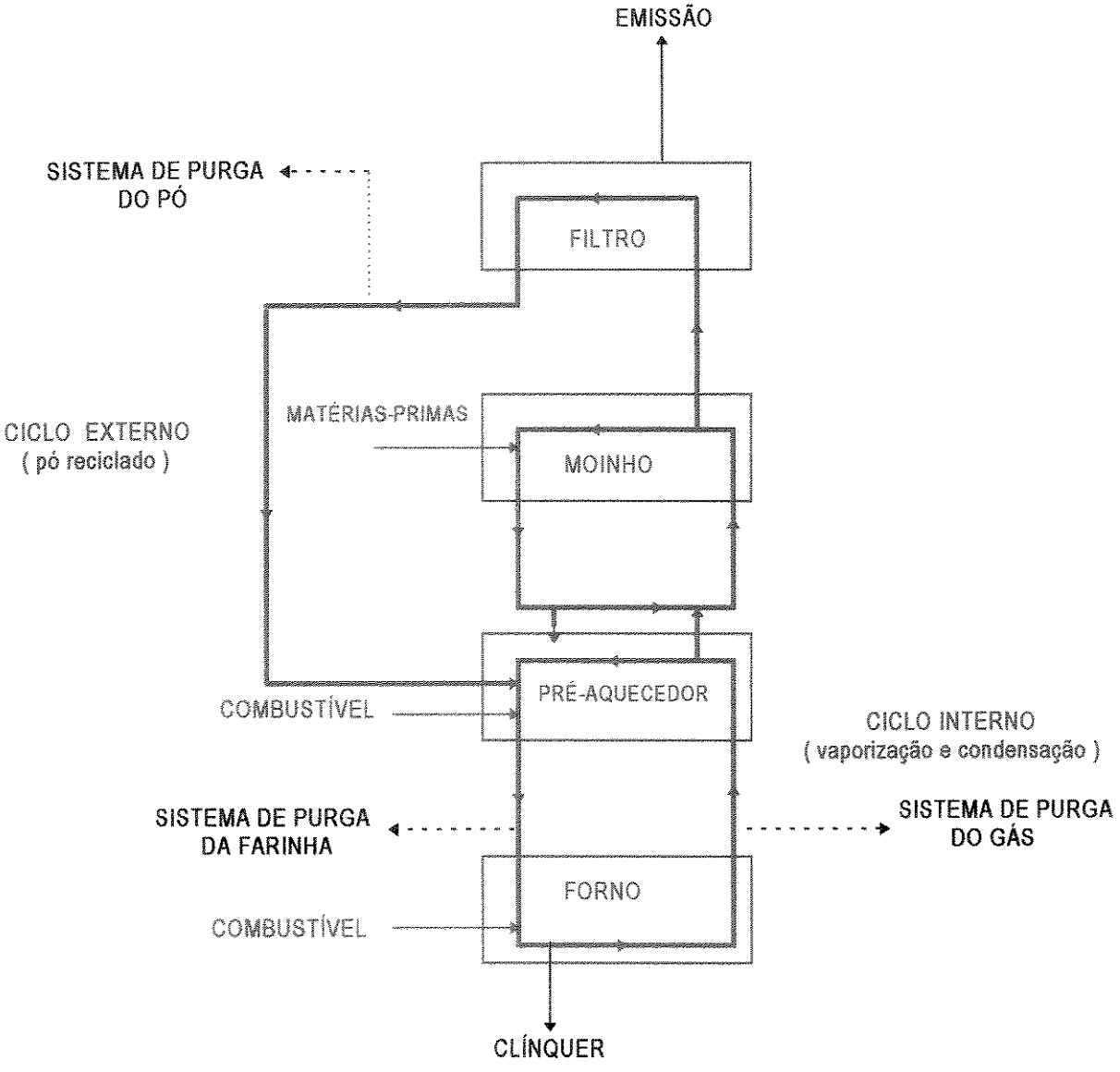



FIGURA 3.1 - Formação de ciclos químicos no processo de produção de clínquer
Fonte: Adaptado de NEUMANN et al. (1990)

Do ponto de vista da constituição química, o material particulado difere das matérias-primas pela presença de cerca de 8% de CaO, produto da descarbonatação do calcário e de 15 à 16% de certos sais, principalmente cloretos e sulfatos de metais alcalinos, originados nas diversas reações químicas do processo, que são volatilizados devido aos seus baixos pontos de ebulição e arrastados pelos gases de combustão (CHAHINE, 1991). A Tabela 3.1 apresenta a composição química do material particulado comparada com a composição química da farinha.

TABELA 3.1 - Composição química do material particulado

| COMPOSTO | PORCENTAGEM | |
|---|---|---|
| | MATERIAL PARTICULADO | FARINHA |
| $CaCO_3$ | 55,5 | 78,3 |
| CaO | 8,1 | |
| $SiO_2$ | 13,6 | 13,8 |
| $Al_2O_3$ | 4,5 | 4,2 |
| $Fe_2O_3$ | 2,1 | 1,5 |
| outros (1) | 16,2 | 1,5 |

(1) cloretos e sulfatos de cálcio, de sódio e de potássio
Fonte: CHAHINE (1991)

Os gases quentes provenientes da combustão fluem em contra-corrente com as matérias-primas. Os materiais particulados são arrastados pelos gases, cujos fluxos são dirigidos para os equipamentos de controle da poluição atmosférica, que removem a maior parte das partículas de pó contidas nos gases. O pó coletado é conhecido como "pó de cimento"[39] e normalmente é reintroduzido no forno juntamente com a farinha.

A excessiva emissão de material particulado para a atmosfera representa um risco à saúde humana e ao meio ambiente. A redução da emissão de material particulado tem que se constituir num compromisso com a saúde dos trabalhadores e das populações e com a qualidade do meio ambiente.

### 3.1.2 Gases

O dióxido de carbono emitido nas plantas de cimento tem origem no processo de calcinação da farinha e nas reações de combustão. As reações de formação do $CO_2$ são as seguintes:

I. calcinação: $CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$ ;

II. combustão: $C + O_2 \rightarrow CO_2$ .

[39] Também conhecido como CKD, sigla de "cement kiln dust", comumente empregada pela USEPA, EUA.

Na produção de um quilograma de clínquer são gerados 0,538 kg de $CO_2$ nas reações de descarbonatação de matérias-primas e 0,334 kg de $CO_2$ nas reações de combustão do carvão mineral empregado como energético, estimando-se um consumo de 3.350 kJ/ kg de clínquer produzido (800 kcal/ kg de clínquer), totalizando 0,872 kg de $CO_2$/ kg de clínquer produzido. Assim, 62% do $CO_2$ emitido é originado no processo de calcinação da farinha e 38% nas reações de combustão (KREFT, 1990).

Por causa da natureza do processo, não é possível influenciar na quantidade de $CO_2$ gerado nas reações de descarbonatação da farinha. Na maioria das plantas de clínquerização, apenas 52% da energia térmica fornecida é utilizada na formação do clínquer, sendo o restante dividido entre o calor sensível dos gases de exaustão (22%), as perdas no resfriamento do clínquer (14%) e as perdas por radiação e convecção (10%) (KREFT, 1990). Desse modo, projetos de conservação de energia podem resultar na redução da emissão do $CO_2$ produzido nas reações de queima dos combustíveis empregados no processo.

Uma série de alternativas já estão disponíveis para a redução do consumo de combustíveis e, consequentemente, dos níveis de emissão de $CO_2$. O calor contido nos gases de exaustão pode ser empregado na secagem das matérias-primas e dos carvões. É possível melhorar as condições de isolamento do forno e dos pré-aquecedores. A instalação de modernos resfriadores de clínquer e pré-aquecedores de cinco e seis estágios permite reduzir o consumo específico de energia térmica para níveis inferiores à 2.930 kJ/kg de clínquer (700 kcal/kg clínquer) (KREFT, 1990; RANZE & WOLF,1994).

A adoção de medidas de conservação de energia reduz os custos ambientais da produção de cimento através da redução na exploração e no consumo de recursos naturais e na diminuição da poluição. Além disso, a utilização mais eficiente da energia térmica reduz os níveis de emissão de $CO_2$, que é o principal gás associado ao efeito estufa.

O enxofre é introduzido no processo de produção de clínquer através das matérias-primas e do combustível. Nas matérias-primas, o enxofre se apresenta ligado quimicamente em três formas diferentes:

I. como sulfatos: $CaSO_4$. $2H_2O$; $CaSO_4$; $MgSO_4$. $2H_2O$; $BaSO_4$ ;
II. como sulfetos: $FeS_2$; PbS; ZnS ;
III. em compostos orgânicos.

A forma como o enxofre está combinado nas matérias-primas e nos combustíveis definem seu comportamento no processo: podem ser oxidados ou reduzidos para formar o gás $SO_2$.

As análises que são feitas em relação à emissão de $SO_2$ em plantas de cimento devem considerar o fato peculiar relacionado à composição química das matérias-primas e à atmosfera do forno de clínquer. Os vapores de álcalis como $Na_2O$ e $K_2O$, presentes nos gases do forno, têm grande afinidade pelo enxofre e reagem com o $SO_2$, formando sulfatos durante o processo de oxidação das matérias-primas. Os sulfatos alcalinos formados condensam-se nas regiões frias do forno e sobre a superfície do material no pré-aquecedor. Eventualmente, eles retornam à zona de queima do forno, com exceção de uma pequena fração que é arrastada pelo fluxo dos gases de exaustão. Devido à sua volatilidade, parte dos sulfatos alcalinos é novamente evaporada na zona de clinquerização e a outra parte é incorporada ao clínquer. Cerca de 84% do enxofre que entra no processo fica ligado ao clínquer na forma de sulfatos (SPRUNG, 1985). O ciclo estabelecido pelos compostos de enxofre é genericamente referido como ciclo interno do enxofre.

Dependendo das concentrações dos óxidos alcalinos na matéria-prima e das quantidades de enxofre introduzidas no processo, podem ocorrer situações em que a quantidade de óxidos alcalinos volatilizados é insuficiente para reagir com todo o $SO_2$ presente. Nesse caso, o $SO_2$ em excesso reage primeiramente com o CaO resultante do processo de calcinação para formar $CaSO_4$, nas regiões do forno onde as temperaturas são relativamente altas. O $SO_2$ remanescente reage, então, com o $CaCO_3$ presente nas matérias-primas formando sulfato de cálcio. Essa reação ocorre nos pré-aquecedores, em regiões onde as temperaturas são inferiores à 400 °C.

As reações que ocorrem entre os óxidos alcalinos e o $SO_2$ dependem da concentração de oxigênio nos gases do forno, da temperatura , da volatilidade dos óxidos alcalinos e da concentração de $SO_2$ e são as seguintes (GOLDMANN et al., 1981):

I. $Na_2O + SO_2 + ½\ O_2 \rightarrow Na_2SO_4$ ;

II. $K_2O + SO_2 + ½\ O_2 \rightarrow K_2SO_4$ ;

III. $CaO + SO_2 + ½\ O_2 \rightarrow CaSO_4$ .

IV. $CaCO_3 + SO_2 + ½\ O_2 \rightarrow CaSO_4 + CO_2$

Nas condições que predominam na zona de clinquerização do forno, de 30% à 80% dos sulfatos são decompostos para formar $SO_2$, que deixa esta região do forno juntamente com os outros gases de exaustão.

Nos sistemas com pré-calcinadores, a maior parte do combustível é queimada nesse equipamento e o contato íntimo com as grandes quantidades de CaO livre aí presentes proporciona condições ideais para a absorção do $SO_2$ formado na combustão.

Outro aspecto a ser considerado está relacionado aos fornos que apresentam sistemas de purga do gás. Nesse sistema, após deixar a câmara de fumos, os gases são resfriados por diluição com ar até 400°C e filtrados para garantir uma pequena concentração de pós no efluente emitido para a atmosfera. Entretanto, esse procedimento limita a absorção do $SO_2$ pelo CaO e pelo $CaCO_3$ presentes no fluxo descendente de matérias-primas e, dessa forma, mais de 50% do dióxido de enxofre contido nos gases enviados ao sistema de purga são lançados na atmosfera. Concentrações acima de 4.000 mg $SO_2$/ $Nm^3$ foram medidas para fornos dotados de um único sistema de purga, o que mostra que esses sistemas podem contribuir significativamente para a emissão total de $SO_2$ de uma fábrica moderna de produção de clínquer (NIELSEN, 1991).

A geração de $SO_2$ à partir dos sistemas de pré-aquecimento e pré-calcinação é proveniente da oxidação dos sulfetos presentes nas matérias-primas, que formarão $SO_2$ nos estágios superiores do pré-aquecedor.

Quando não absorvido no fluxo de matérias-primas, o $SO_2$ deixa o sistema do forno de clínquer juntamente com os outros gases de exaustão. Devido ao pequeno tempo de retenção dos gases de exaustão em regiões de baixa temperatura no forno de clínquer e no sistema de moagem e secagem de matérias-primas, mais de 99% do enxofre emitido na chaminé da planta estará na forma de $SO_2$ (NIELSEN, 1991).

A emissão de $SO_2$ em uma planta de clínquer pode ser reduzida pelo emprego de combustíveis com menores teores de enxofre, já que é impossível reduzir a concentração de minerais de enxofre nas matérias-primas, uma vez que os minérios empregados, em geral, são provenientes das jazidas das fábricas [40]. Outro meio para a redução da emissão de $SO_2$ envolve a instalação de torres de lavagem para a absorção de $SO_2$ por cal hidratada (NIELSEN, 1991).

A formação de óxidos de nitrogênio no processo de produção de clínquer baseia-se em dois mecanismos. O primeiro compreende a formação do "NO térmico" nas chamas quentes dos queimadores do forno de clínquer a partir da oxidação parcial das moléculas de nitrogênio do ar de combustão. O segundo refere-se ao "NO do combustível", formado no sistema de queima do pré-calcinador pela oxidação do nitrogênio contido no combustível (KROBOTH et al.,1990; DEUSSNER, 1995). A maior parte dos óxidos de nitrogênio é constituída pelo "NO térmico".

A oxidação de moléculas de nitrogênio para formar "NO térmico" é muito significativa em temperaturas superiores à 1.200°C, em contraste com a formação de "NO do combustível", que predomina em faixas de temperaturas menores, entre 850 e 900°C. A temperatura de chama dos

[40] Em geral, as plantas de cimento estão instaladas nas proximidades da mina de calcário.

queimadores do forno de clínquer é sempre maior que 1.500°C, favorecendo a produção de quantidades consideráveis de "NO térmico".

A extensão da formação de "NO térmico" depende da temperatura de chama, do excesso de ar utilizado no processo de combustão e do tempo de retenção do nitrogênio do ar na zona de altas temperaturas, bem como das características da própria chama, ou seja, do projeto do queimador. Os mais modernos queimadores garantem uma redução de 15 à 25% na quantidade de óxidos de nitrogênio formados (DEUSSNER, 1995).

Nas regiões mais frias do forno pode ocorrer a oxidação do NO à $NO_2$. Entretanto, o $NO_2$ normalmente corresponde a menos de 10% das emissões de $NO_x$ na chaminé da planta de cimento.

Na região do queimador secundário do pré-calcinador, onde predominam temperaturas entre 820 e 1.100°C, as seguintes reações podem ocorrer:

I. $\text{"N"} + O \rightarrow NO$ ;

II. $\text{"N"} + NO \rightarrow N_2 + O$ ,

onde "N" significa nitrogênio do combustível.

As reações mostram que a formação de "NO do combustível" depende do teor de nitrogênio no combustível, do nível de oxigênio na zona de queima e mostram também que o NO presente nos gases de exaustão do forno atua como um agente redutor do nitrogênio ligado ao combustível. Desse modo, a quantidade de NO produzido no pré-calcinador é também influenciada pela concentração inicial do NO na corrente gasosa proveniente do forno de clínquer.

A redução da emissão de óxidos de nitrogênio pode ser obtida através da instalação de sistemas de controle automático da combustão, garantindo-se uma redução de 10 à 20% na emissão de $NO_x$ (NIELSEN, 1991).

A redução na emissão de $NO_x$ pode ser conseguida também através da instalação de queimadores que operam com baixa concentração de ar primário. Outro método consiste na introdução de modificações no projeto dos pré-calcinadores com injeção de compostos nitrogenados - amônia ou uréia - no sistema do forno, onde predominam temperaturas entre 900 e 1.000°C, nas quais o NO é efetivamente reduzido a $N_2$ , sem riscos de emissão de $NH_3$ para a atmosfera.

A reação que ocorre é a seguinte:

$$NH_3 + NO + OH \rightarrow N_2 + 2H_2O\ .$$

Redução de 60 à 70% das emissões de NO do pré-calcinador foram obtidas para uma razão molar de $NH_3$/NO igual a 1 (NIELSEN, 1991).

O NO emitido pela chaminé é oxidado na atmosfera pelo oxigênio do ar para formar $NO_2$, um gás muito tóxico. É também possível ocorrer reações que levam à formação de ozônio ou ácido nítrico, com grandes prejuízos ao meio ambiente e à saúde das pessoas.

A Figura 3.2 destaca os pontos de emissão dos principais efluentes atmosféricos de uma planta de cimento.

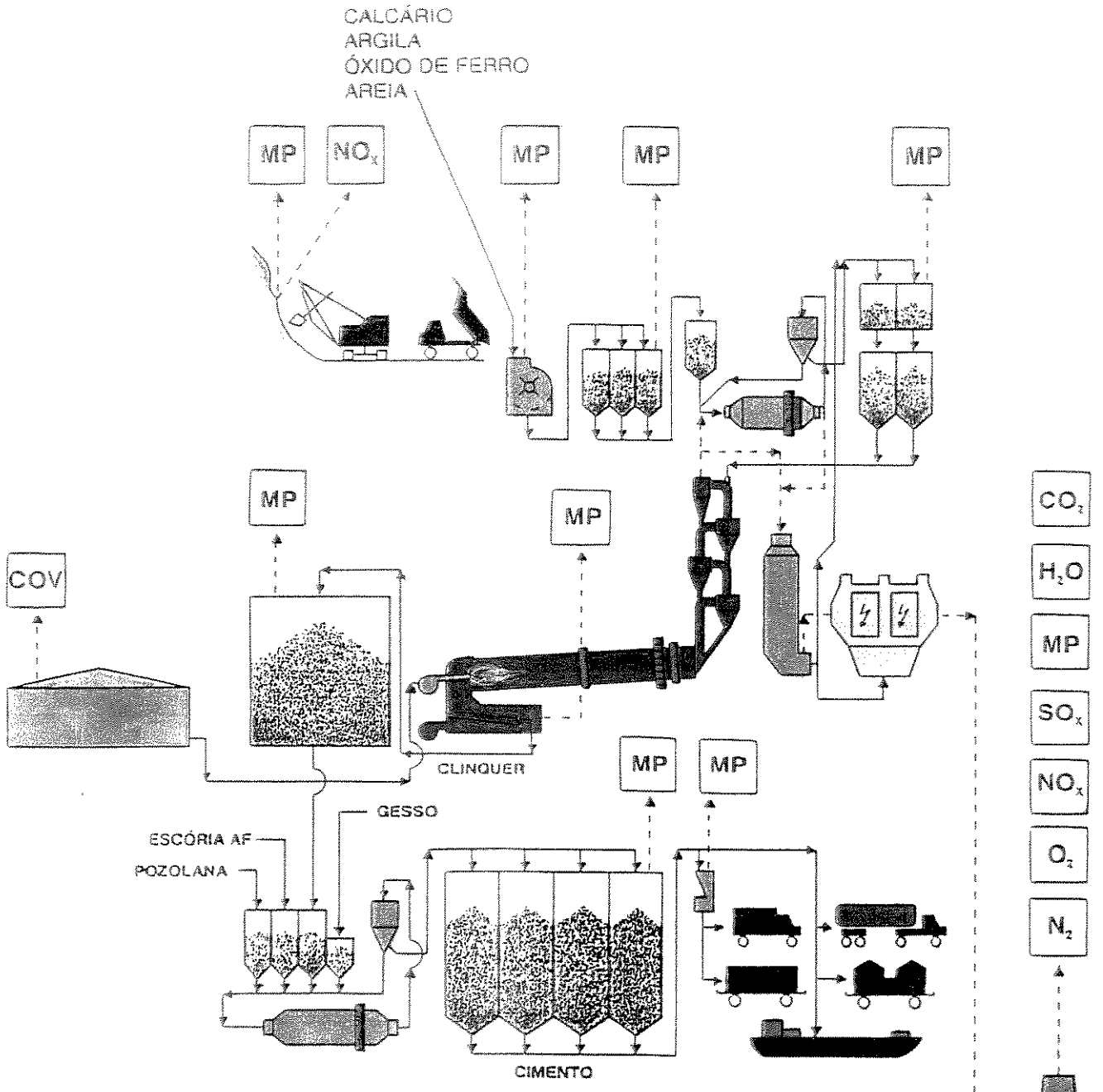
## 3.2 INFLUÊNCIA DAS MATÉRIAS-PRIMAS E DOS COMBUSTÍVEIS NA EMISSÃO DE POLUIÇÃO

Para a produção de cimento, cada fábrica utiliza minérios provenientes das minas de calcário e argila normalmente localizadas nas proximidades da planta industrial, o que faz com que tenham composições químicas e mineralógicas diferentes. Os componentes principais - CaO, $SiO_2$, $Al_2O_3$ e $Fe_2O_3$ - determinam o comportamento da matéria-prima no forno de clínquer e as características das fases cristalográficas do clínquer produzido que, por sua vez, determinam as características do cimento.

Além dos constituintes principais, esses minérios apresentam uma série de outros minerais secundários, como haletos, sulfetos e álcalis, e elementos traços, tais como chumbo, zinco, tálio, cádmio, cromo, níquel e arsênio, que vão fazer parte da massa de reagentes do processo. Esses materiais têm importância menor na produção de clínquer do ponto de vista das demandas de energia térmica do processo. Porém, podem interferir de modo significativo na operação dos equipamentos devido aos ciclos químicos que formam. Além disso, se emitidos para a atmosfera no fluxo de gases, podem provocar sérios impactos ao meio ambiente e às populações das áreas de influência ambiental da fábrica, devido à sua toxicidade.

Os fluoretos são introduzidos no processo por meio das argilas e do calcário, que contêm minerais contendo flúor. Os fluoretos são volatilizados na zona de clinquerização do forno, passando para a fase gasosa. Nas regiões frias do forno, reagem com o CaO produzindo $CaF_2$ e, desse modo, formando o ciclo interno de fluoretos (SPRUNG, 1985).

BIBLIOTECA CENTRAL




MP = MATERIAL PARTICULADO
$SO_x$ = ÓXIDOS DE ENXOFRE
$NO_x$ = ÓXIDOS DE NITROGÊNIO
COV = COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS
$O_2$ = OXIGÊNIO
$N_2$ = NITROGÊNIO

FIGURA 3.2 - Emissões atmosféricas de uma fábrica de cimento
Fonte: RIBEIRO (1995)

A circulação dos fluoretos não causa problemas operacionais devido à coalescência e à formação de anéis nos refratários, uma vez que a quantidade dessas substâncias introduzidas no forno é pequena. Além disso, de 88% a 98% dos fluoretos são incorporados na massa de clínquer. Os fluoretos remanescentes, na forma de $CaF_2$ , ficam ligados ao material particulado contido nos gases de exaustão do forno, formando o ciclo externo dos fluoretos (SPRUNG, 1985).

Os cloretos são introduzidos no processo através das matérias-primas e combustíveis e, quando aquecidos no forno de clínquer, são volatilizados, podendo reagir com os álcalis para formar cloretos alcalinos. Em contraste com os sulfatos, os cloretos alcalinos se volatilizam com mais facilidade e por isso estão ligados ao clínquer somente em pequena extensão. Os cloretos alcalinos condensam-se em regiões do forno de menor temperatura e assim sua concentração é enriquecida devido aos ciclos internos que formam. Desse modo, é necessário instalar um sistema de purga para cloretos alcalinos, para evitar problemas operacionais nos sistemas dos fornos. Altas concentrações de cloreto favorecem a formação de coalescência e anéis nos refratários do forno e no ciclone do último estágio do pré-aquecedor (SPRUNG, 1985).

Quando um equipamento de despoeiramento de alta eficiência é empregado para o controle da emissão de material particulado, a emissão de cloretos durante o processo de produção não é considerável. De 21% a 26% dos cloretos alimentados no forno são incorporados ao clínquer (SPRUNG, 1985).

O comportamento dos elementos traços no processo de produção de clínquer pode ser conhecido através dos balanços de massa para o sistema do forno, que devem ser elaborados considerando-se ss especificidades tecnológias e operacionais do processo (WEISWEILLER & KRÊMAR, 1990), pois esses elementos influenciam na fabricação e na qualidade do cimento produzido. Entretanto, não há muita informação sobre isso. Segundo SHIRASAKA et al. (1996), "*poucos artigos foram publicados sobre o assunto*".

O que está publicado e foi recuperado na investigação realizada neste trabalho, refere-se a estudos de casos. Os resultados encontrados e registrados retratam, portanto, situações particulares. Outro aspecto observado, foi que a maior parte dos estudos foram realizados com o objetivo de analisar o comportamento de metais pesados quando resíduos estavam sendo empregados como combustíveis complementares nos fornos de clínquer. O elenco de elementos e compostos químicos considerados nos estudos variou.

Entretanto, pode-se observar uma convergência de opiniões em relação aos seguintes pontos:

I. A maioria dos elementos traços que são introduzidos no sistema com as matérias-primas e combustíveis combinam-se na fase sólida (clínquer ou material particulado) (KIRSCH, 1992). Os metais pesados e outros elementos traços podem ser concentrados na massa reagente como conseqüência dos ciclos químicos que seus compostos formam, ou podem ser emitidos juntamente com os gases de exaustão para a atmosfera (WEISWEILLER & KELLER, 1992).

II. Devido ao seu baixo ponto de ebulição, o mercúrio[41] e seus compostos volatilizam-se e passam para a fase gasosa, sendo lançados para a atmosfera com os gases de exaustão (WEISWEILLER & KELLER, 1992). Segundo esses autores, há indícios de que mais de 90% do mercúrio introduzido no sistema do forno seja emitido na forma de vapor para o meio ambiente. Portanto, "*o processo de produção de clínquer não oferece segurança em relação à emissão de mercúrio e seus compostos*" (LIEBL & GERGER, 1993).

III. O tálio pode ocorrer em concentrações relativamente altas nos pós emitidos das fábricas de cimento devido a sua alta volatilidade e de seus compostos e aos ciclos químicos formados (KIRCHNER, 1987). Num estudo realizado em oito fábricas de cimento, observou-se que a concentração de tálio aumentou entre 10,5 e 185 vezes em relação à quantidade do elemento introduzida juntamente com as matérias-primas devido ao ciclo externo formado, enquanto que no ciclo interno, o aumento na concentração de tálio variou de 332 à 14.470 vezes a quantidade alimentada no sistema (KIRCHNER, 1987).

Outros dois pontos de consenso entre os pesquisadores estão relacionados aos elementos de menor volatilidade ou pouco voláteis:

I. O cromo é introduzido no sistema do forno através das matérias-primas (99%). Tem baixa volatilidade e, na quase totalidade, é incorporado ao clínquer. Cerca de 1,2% do total de cromo introduzido no sistema aparece no pó coletado no precipitador eletrostático (WEISWEILLER & KRÊMAR, 1990).

II O vanádio, o nióbio, o tântalo, o molibdênio e o tungstênio são introduzidos no sistema através das matérias-primas e do combustível empregado. O nióbio, o tântalo e o tungstênio são classificados como elementos de baixa volatilidade e, portanto, são incorporados ao clínquer. O vanádio e o molibdênio podem ser encontrados em quantidades relativamente grandes no pó coletado nos equipamentos de despoeiramento (WEISWEILLER & KRÊMAR, 1990).

[41] Temperatura de ebulição do mercúrio: 357 °C.

SPRUNG (1985) investigou o comportamento de uma série de elementos traços: arsênio, cádmio, cromo, chumbo, níquel, tálio e zinco. A maioria desses elementos, quando alimentados no forno, foram retidos no clínquer. As investigações indicaram que a distribuição de um elemento entre o clínquer e o pó retido nos precipitadores eletrostáticos depende da quantidade do elemento alimentada no forno, do teor de cloretos nos materiais e das características tecnológicas e operacionais do processo produtivo. A maior parte do zinco, de 86% a 90%, e do chumbo, de 59% a 86%, ficou ligada ao clínquer, sendo que o comportamento desses dois metais foi influenciado pela concentração de cloretos. Maiores concentrações de cloreto aumentam a volatilidade do chumbo. De 2% a 22% da massa de chumbo introduzida no processo foi encontrada no pó retido no precipitador eletrostático.

Em comparação com o chumbo, o cromo e o níquel se comportaram como elementos relativamente não voláteis. O níquel apresentou níveis de incorporação no clínquer de 93% a 97% em relação à massa total desse elemento introduzida no processo. O cromo se comportou de maneira semelhante ao chumbo, apresentando um nível de incorporação no clínquer entre 77% e 93%. Para o arsênio, foram encontradas níveis de incorporação no clínquer variando entre 83% e 91%. Os outros 7% a 9% estão associados aos pós retidos nos precipitadores eletrostáticos. O cádmio se comportou como o chumbo, mas sua volatilidade foi maior, sendo que somente 51% da massa do metal introduzida no forno foi incorporada ao clínquer. SPRUNG (1985), entretanto, afirma que "*há necessidade de estudos posteriores para se determinar os fatores que controlam a ligação do cádmio ao clínquer e a sua volatilidade*".

O tálio pode ocorrer em concentrações relativamente altas no material particulado emitido na chaminé das fábricas de cimento devido ao ciclos químicos que são formados. Os níveis de ligação do tálio no clínquer variaram entre 0,1% e 2,2%, confirmando seu comportamento similar ao dos cloretos, que estão apenas ligeiramente incorporados ao clínquer. Por causa da alta volatilidade desse metal, SPRUNG (1985) "*recomendou que sua emissão fosse rigorosamente monitorada*".

Outra pesquisa, mais recente, foi realizada por VON SEEBACH & TOMPKINS (1991) para investigar o comportamento de diferentes elementos nos processos por via seca, com sistemas com pré-aquecedores e pré-calcinadores e nos processos por via úmida. Os elementos analisados foram antimônio, arsênio, bário, berílio, cádmio, cromo, chumbo, selênio, prata vanádio e zinco. O objetivo da pesquisa foi estimar, através de um balanço de massa, o percentual de retenção desses metais no clínquer e a fração emitida pela chaminé, em função da massa alimentada. A taxa de retenção obtida foi maior que 99%, com exceção do selênio, para o qual encontraram valores maiores que 95%. Embora as taxas de emissão encontradas tenham sido relativamente baixas, eles sugeriram "*uma monitorização cuidadosa da emissão do antimônio, cádmio, chumbo, selênio,*

*prata e zinco".* Mercúrio e tálio também foram investigados por VON SEEBACH & TOMPKINS (1991), nas mesmas condições de processo. A média de retenção do tálio foi de 90% e a do mercúrio de 61%. Os autores sugeriram, além da *"monitorização rigorosa desses metais, a realização de novos estudos sobre seu comportamento nos processos de produção de cimento".*

Os resultados encontrados por VON SEEBACH & TOMPKINS (1991) em relação à porcentagem de retenção de vários elementos químicos no clínquer estão apresentados na Tabela 3.2.

TABELA 3.2 - Porcentagem de retenção no clínquer e de emissão de elementos químicos em plantas de cimento [1]

| ELEMENTO QUÍMICO | RETENÇÃO (%) | EMISSÃO (%) |
|---|---|---|
| mercúrio | ≥61,3 ± 32,5 | 10 a 90 |
| tálio | 90,1219 ± 10,7113 | 10 a 20 |
| cromo | 99,8553 | 0,128 |
| chumbo | 99,8531 | 0,167 |
| bário | 99,8781 | 0,030 |
| cádmio | ≥ 99,5550 | 0,440 |
| arsênio | ≥ 99,8868 | 0,022 |
| berílio | ≥ 99,8681 | 0,114 |
| selênio | ≥ 95,4002 | 0,298 |
| prata | ± 99,8420 | 0,163 |
| níquel | ≥ 99,9574 | 0,048 |
| antimônio | ≥ 99,7690 | 0,266 |
| zinco | 99,7869 | 0,220 |
| vanádio | ≥ 99,9922 | 0,004 |

(1) Em relação à quantidade alimentada no sistema.
Fonte: VON SEEBACH & TOMPKINS (1991)

Os autores concluíram que a taxa de retenção de um determinado elemento nos sólidos presentes no sistema parece ser característica intrínseca de cada elemento, não sendo relevante se eles são introduzidos no sistema através das matérias-primas ou dos combustíveis.

Os autores também estudaram as emissões na chaminé da fábrica de cimento e demonstraram que nenhum dos elementos analisados foram emitidos como elemento livre ou na forma de vapor. Os elementos emitidos estavam condensados e adsorvidos no material particulado lançado na atmosfera.

Nas investigações realizadas neste trabalho não se encontraram registros de estudos publicados sobre a produção de cimento no Brasil, considerando toda a complexidade do processo de produção e suas implicações sobre o meio ambiente. Como as tecnologias empregadas pelas fábricas de cimento instaladas no Brasil são de origem estrangeira, é provável que muitas conclusões dos pesquisadores estrangeiros em relação à emissão de metais pesados possam ser estendidas às fábricas brasileiras.

Entretanto, não se pode desconsiderar as diferenças das matérias-primas e combustíveis empregados, das condições topográficas e meteorológicas, das exigências dos órgãos de fiscalização e controle ambiental e, possivelmente, de operação das fábricas.

Como o emprego de resíduos como combustíveis complementares em fornos de clínquer tem se tornado prática crescente no Brasil, a discussão sobre o estudo e o controle da emissão de metais pesados pelas plantas de cimento deve ser considerada, pois os riscos associados à emissão de metais tóxicos para o meio ambiente aumentarão na medida em que as quantidades desses elementos presentes na massa de resíduos empregados como combustíveis complementares ou matérias-primas secundárias nos fornos de clinquer são significativamente maiores que nas matérias-primas e nos combustíveis convencionais utilizados.

# CAPÍTULO 4

# A UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO COMBUSTÍVEIS COMPLEMENTARES EM FORNOS DE CLÍNQUER

Neste Capítulo, discute-se os aspectos ambientais e tecnológicos da destinação de resíduos para tratamento térmico nas fábricas de cimento, especialmente nos casos onde esses materiais são processados com o objetivo de substituir parcela do combustível convencional empregado na fabricação de clínquer.

Analisa-se essa alternativa de reaproveitamento de resíduos, considerando-se os impactos sobre as áreas de influência ambiental das fábricas de cimento.

Apresenta-se uma classificação para o tratamento térmico de resíduos em fornos de clínquer e nomeia-se as características que um resíduo deve ter para ser utilizado como combustível complementar ou matéria-prima secundária.

É dado destaque para o emprego de resíduos nos fornos de clínquer das fábricas de cimento da CIMINAS e da SOEICOM, instaladas em Minas Gerais.

## 4.1 O PAPEL DA INDÚSTRIA DE CIMENTO NA DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS

A geração de resíduos é um dos mais sérios problemas ambientais da atualidade. A redução das quantidades geradas e a destinação dos resíduos têm sido alvo de estudos, de pesquisas, de regulamentações e de estratégias gerenciais e de marketing por parte do poder público, principalmente através de seus órgãos ambientais, de universidades, de instituições diversas e de muitas empresas, embora com resultados práticos ainda aquém dos desejados.

Uma das alternativas, que entrou recentemente na pauta para a redução dos impactos negativos relacionados aos resíduos inevitavelmente gerados, é o seu reaproveitamento como matérias-primas ou como insumos energéticos em outras atividades produtivas.

O reaproveitamento de resíduos *"aparece nos dias atuais como bandeira, em função tanto da importância desta técnica de redução dos desperdícios de recursos naturais, quanto da minimização dos impactos ambientais oriundos da disposição final dos resíduos. Deste modo, o reaproveitamento pode ser visto como uma contribuição ao rendimento global das várias atividades humanas relacionadas ao seu ambiente natural, reduzindo as perdas e ao mesmo tempo*

*substituindo parcialmente as necessidades de extração e/ou utilização de recursos naturais"* (FIGUEIREDO, 1994).

SPRUNG (1992) preparou um diagrama para representar as possibilidades do reaproveitamento de resíduos nas fábricas de cimento considerando as valorizações energética[42] e material dos resíduos empregados, o qual está apresentado na Figura 4.1.

Esse diagrama é muito didático do ponto de vista das possibilidades do reaproveitamento dos resíduos nas fábricas de cimento, mas está incompleto porque não faz referência às medidas necessárias à coleta, à preparação, ao acondicionamento e ao transporte dos resíduos antes do seu emprego, e também não considera que no processamento dos resíduos são gerados novos resíduos, à exceção das cinzas produzidas nas termelétricas que, para ele, devem ser dispostas em aterro.

Por exemplo, no caso dos resíduos empregados como combustíveis complementares estão associadas emissões de poluentes atmosféricos e eventuais riscos devido à incorporação de compostos tóxicos ao clínquer, o mesmo podendo se dizer dos resíduos utilizados como matérias-primas secundárias na produção de cimento.

Propõe-se, então, uma outra versão para o diagrama de SPRUNG, onde se considera os aspectos relacionados ao manuseio e transporte dos resíduos, bem como a emissão de poluentes gerados no seu tratamento térmico em fornos de clínquer. Esse novo diagrama está apresentado na Figura 4.2.

## 4.2 RESÍDUOS COMO MATÉRIAS-PRIMAS SECUNDÁRIAS E COMO COMBUSTÍVEIS COMPLEMENTARES

Uma série de requisistos devem ser atendidos para que um resíduo possa ser empregado como matéria-prima secundária numa fábrica de cimento. Do ponto de vista tecnológico, além de sua compatibilidade química com as matérias-primas e o clínquer, esses materiais devem apresentar propriedades estruturais semelhantes às do cimento e garantir uniformidade e qualidade ao produto obtido, além de ter um custo competitivo em relação às matérias-primas convencionais.

[42] A valorização energética consiste na utilização de um resíduo de bom poder calorífico como combustível de substituição (ou complementar) num sistema térmico industrial, ou num incinerador de resíduos onde há recuperação do calor gerado (ANRED,1989).

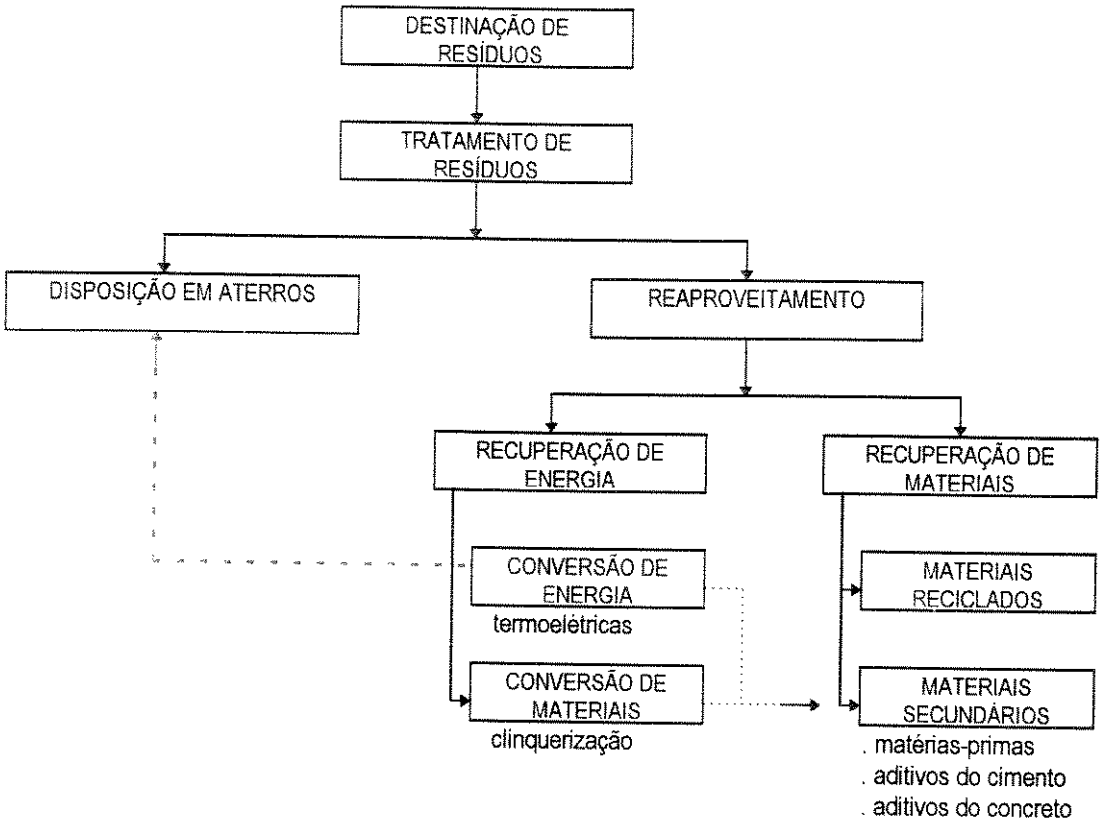



Figura 4.1 - Alternativas para o reaproveitamento de resíduos em uma fábrica de cimento
Fonte: SPRUNG (1992)

Do ponto de vista ambiental, o emprego de resíduos como matérias-primas secundárias deve manter a compatibilidade ambiental do cimento e do concreto[43] e gerar impactos ambientais iguais ou menores aos do processo produtivo quando matérias-primas convencionais são empregadas (SPRUNG, 1992).

Portanto, é necessário considerar o processo de produção do cimento para além dos limites da fábrica, os riscos de impacto ao meio ambiente decorrentes da geração, do manuseio, do transporte e do tratamento do resíduo até o seu emprego na fabricação do cimento, e a importação de novos riscos ao meio ambiente local, com a transferência de resíduos de onde eles foram gerados até as fábricas de cimento.

[43] A compatibilidade ambiental é usualmente estimada ou avaliada como a soma dos impactos internos devido ao processo de exploração de matérias-primas, do transporte e do consumo de energia, e dos efeitos do processo produtivo sobre o meio ambiente (SPRUNG et al., 1994). Também pode ser entendido, no sentido restrito, como uma propriedade do material. Nesse caso, a compatibilidade ambiental leva em conta somente o efeito do cimento e do concreto sobre a saúde humana e sobre os meios solo, ar e água.

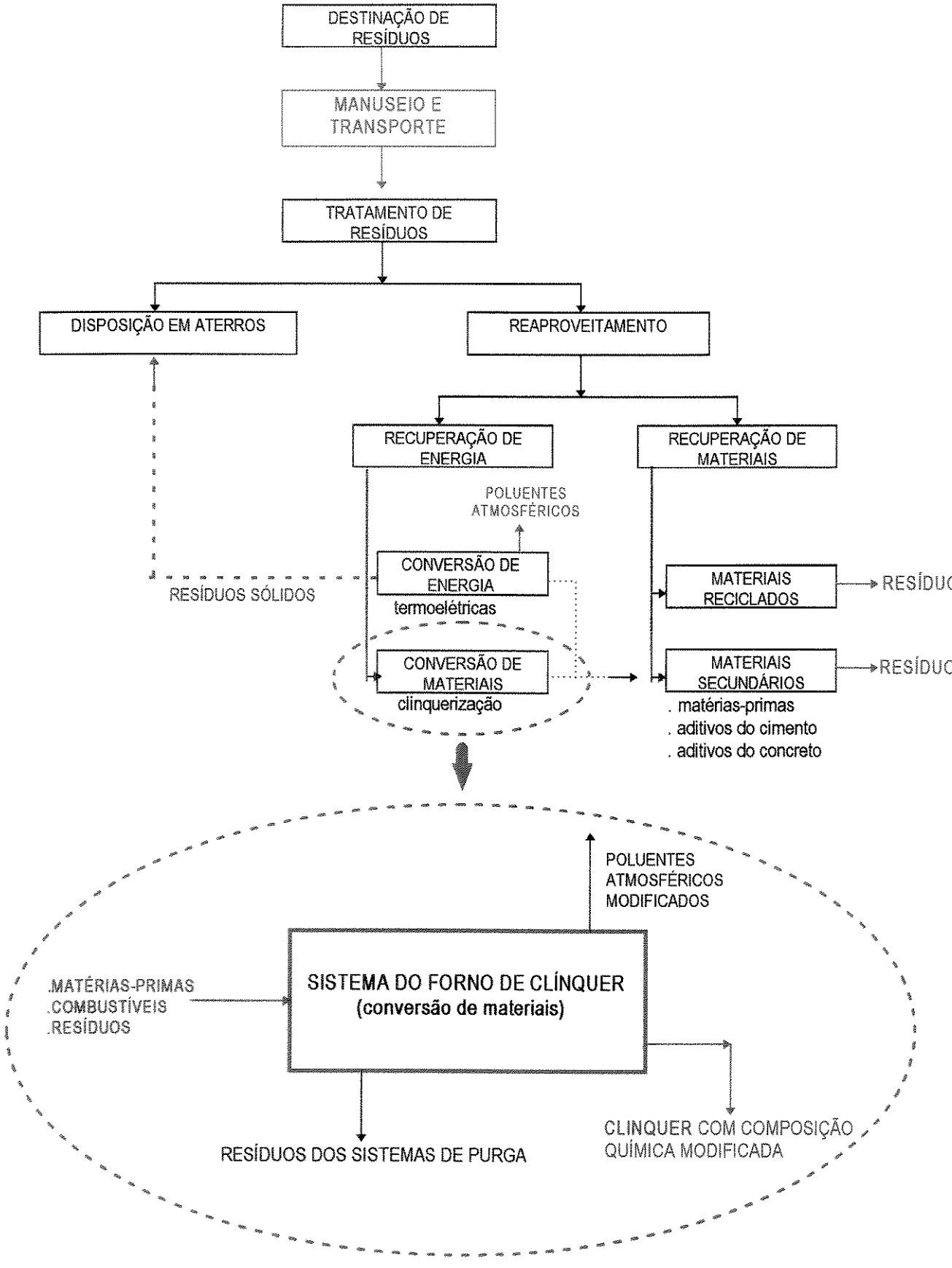



FIGURA 4.2 - Alternativas para o reaproveitamento de resíduos em uma fábrica de cimento considerando os aspectos ambientais dessa atividade

Fonte: Elaboração própria a partir de SPRUNG (1992)

Entretanto, dada a grande complexidade do processo, a falta de estudos sistemáticos abrangentes e a enorme diversidade dos materiais utilizados, não é uma tarefa fácil quantificar se a utilização de resíduos provocará impactos ambientais iguais, menores, ou maiores que aqueles ocasionados pela produção de cimento com o emprego de materiais convencionais.

O emprego de resíduos como matérias-primas secundárias é limitado pela composição química do resíduo, podendo ser utilizados materiais em cuja massa predominam elementos como cálcio, silício e ferro. Um exemplo desse tipo de resíduo são as escórias de altos fornos, cuja utilização como adição ao cimento já se consolidou.

A Tabela 4.1 contém uma série de resíduos que se enquadram na categoria de matérias-primas secundárias para a produção de cimento, agrupados por tipo de constituinte de interesse ao processo industrial.

TABELA 4.1 - Resíduos empregados como matérias-primas secundárias

| GRUPO | TIPO DE RESÍDUO |
|---|---|
| CÁLCIO | cal industrial<br>lama de cal |
| SILÍCIO | areia de fundição<br>areia de cromo |
| FERRO | piritas ustuladas<br>hematitas sintéticas<br>lamas de $Fe_2O_3$ |
| SILÍCIO-ALUMÍNIO-CÁLCIO | cinzas volantes<br>escórias<br>areias |
| ENXOFRE | gesso sintético |
| FLÚOR | torta de $CaF_2$ |

Fonte: LIEBL & GERGER (1993)

As alternativas para o reaproveitamento de resíduos como combustíveis complementares são muitas, já que mesmo materiais que apresentam pequeno poder calorífico vêm sendo empregados[44] . É comum a utilização de coque de petróleo, pó de grafite, finos de carvão, resíduos plásticos, pneus usados, resíduos de madeira, cascas e palha de arroz, casca de côco, bagaço de cana, alcatrões, resíduos petroquímicos, lamas de estações de tratamento de efluentes, borras de tinta, solventes usados, borras asfálticas, terras de filtração contaminadas, carvões de filtração contaminados, resíduos de indústrias de tintas etc. Também podem ser empregadas misturas de resíduos (blend) preparadas para tal finalidade. Entretanto, há resíduos que, em geral, não são

[44] A USEPA recomenda a utilização de resíduos cujo poder calorífico seja maior que 5.000 BTU/lb (11.620 kJ/kg; 2.800 kcal/kg) (USA, CRF 40, Part 266.100, 1992).

utilizados, como os resíduos contaminados com PCB's, os resíduos radioativos, os resíduos hospitalares, os resíduos de pesticidas e os resíduos urbanos.

*"Na verdade, as principais condições para que um resíduo seja promovido à matéria-prima secundária estão associadas à sua disponibilidade a longo prazo nas quantidades necessárias, à sua composição química compatível com sua utilização e, sobretudo, ao seu grau de homogeneidade "*(SPRUNG,1992) .

Essas considerações, feitas por SPRUNG (1992) para os resíduos empregados como matérias-primas secundárias, são apropriadas também para os resíduos utilizados como combustíveis complementares.

Uma análise destes aspectos mostra que existem quatro situações específicas para o tratamento de resíduos nas fábricas de cimento:

I. como combustível complementar nos queimadores do forno de clínquer e do pré-calcinador;
II. como matéria-prima secundária na produção de clínquer e de cimento;
III. como forma de destinação de resíduos para incineração;
IV. como forma de destinação de resíduos para inertização de elementos tóxicos na massa de clínquer.

No primeiro caso, se enquadram os resíduos orgânicos, de elevado poder calorífico, que apresentam baixa concentração de metais pesados, enxofre e halogênios e cuja disponibilidade, composição química e homogeneiradade atendem às condições citadas por SPRUNG (1992).

A segunda, refere-se aos resíduos que são introduzidos no processo com o objetivo de substituir parte das matérias-primas utilizadas ou do clínquer produzido. Enquadram-se neste caso os resíduos contendo $SiO_2$, $Al_2O_3$ e/ou CaO como seu constituinte principal. Esses resíduos podem ser utilizados também na forma de adições ao cimento. O exemplo tradicional é o emprego das escórias de altos fornos.

A terceira, refere-se aos resíduos que são alimentados nos fornos de clínquer para serem incinerados, ou seja, para serem destruídos através de seu tratamento térmico nas altas temperaturas encontradas nesses equipamentos. Neste caso se enquadram os resíduos orgânicos contaminados com elevadas concentrações de metais tóxicos. A quantidade gerada desses resíduos não é suficiente para atender aos requisitos necessários à sua classificação como combustíveis complementares ou matérias-primas secundárias. As fábricas de cimento representam então o papel de empresas incineradoras. Ocasionalmente, pode haver estoques

elevados desse tipo de material nas instalações da indústria geradora, que não tinha outra maneira de destiná-los a não ser através do seu armazenamento e, agora, vê nos fornos de cimento uma boa oportunidade para se livrar de tão incômodo passivo ambiental. Erroneamente, esses resíduos são referenciados como combustíveis complementares.

A quarta, refere-se aos resíduos que são introduzidos no processo com o objetivo de serem inertizados na estrutura mineralógica do clínquer. É o caso dos resíduos inorgânicos contaminados com metais pesados que ficam, na sua maior parte, incorporados à massa de clínquer.

A prática da utilização de combustíveis complementares é justificada pela indústria de cimento pela possibilidade de redução dos custos de produção, porque o preço dos resíduos são atrativos quando comparados com o preço dos combustíveis convencionais.

Nas situações onde as fábricas de cimento funcionam como incineradores, as empresas geradoras de resíduos pagam às cimenteiras pela "destruição térmica" desses materiais nos fornos de clínquer. Nesses casos, o preço cobrado pelas fábricas de cimento é determinado por fatores intrínsecos ao próprio resíduo, sendo que o poder calorífico, a facilidade de manuseio, a facilidade de alimentação no forno, a necessidade de pré-tratamento, os níveis de contaminantes e a quantidade disponível, estocada ou gerada, são os principais critérios para a formação do preço do tratamento térmico. Em boa parte dos casos, o valor cobrado, embora aquém dos praticados pelo tratamento térmico de resíduos em incineradores convencionais, proporciona lucros às fábricas de cimento, compensando desembolsos para a aquisição dos combustíveis convencionais.

Do ponto de vista do processo químico, os fornos de clínquer operam em condições que coincidem, ou até mesmo excedem em alguns casos, àquelas necessárias à destruição térmica dos resíduos (SANTI & NEBRA, 1996): altas temperaturas de processo (> 1.450°C); longo tempo de residência dos materiais (≅ 30 minutos para sólidos, > 3 segundos para gases); condições de oxigenação adequadas; ambiente alcalino; meio reagente capaz de transformar quimicamente os resíduos inorgânicos (cinzas) em minerais silicatados, incorporando-os ao clínquer.

Se comparados aos incineradores convencionais, os fornos de clínquer são vantajosos para o tratamento térmico dos resíduos, não só em relação aos preços praticados, mas, principalmente, em relação às condições operacionais do forno. Na Tabela 4.2 estão apresentados os parâmetros operacionais de fornos de clínquer e de incineradores convencionais para comparação.

TABELA 4.2 - Parâmetros operacionais de fornos de clínquer e incineradores convencionais

| PARÂMETROS | FORNO DE CLÍNQUER | INCINERADOR |
|---|---|---|
| Temperatura (°C) | 1.400-1.600 | 700 -1.400 |
| Tempo de residência (s) | 6,0 - 9,0 | 0,5 - 2,0 |
| Turbulência | maior (Re > 100.000) | menor (Re > 10.000) |

Fonte: CETESB (1992), MOORE (1995)

### 4.2.1 Tratamento térmico de resíduos organoclorados

Os compostos organoclorados são substâncias muito estáveis mesmo quanto submetidas a temperaturas elevadas e, em sua maioria, apresentam alta toxicidade. Dessa forma, resíduos contendo organoclorados são difíceis de serem destruídos. A incineração é considerada, atualmente, a forma mais adequada para sua destinação.

Quando incinerados, os organoclorados produzem gases ácidos e o controle de sua emissão para a atmosfera é feito em lavadores de gases que estão acoplados aos incineradores. Nesses lavadores os gases ácidos são neutralizados com soluções de hidróxido de sódio ou de carbonato de cálcio, e o processo gera efluentes líquidos que, por sua vez, devem ser tratados antes de seu lançamento nos corpos receptores.

Lavadores de gases ácidos não precisam ser acoplados aos fornos de clínquer, porque o ambiente interno do forno é naturalmente alcalino. Qualquer cloro que entra no forno de clínquer encontra de 100 a 1.000 vezes o cálcio equivalente para reagir com ele. A reação do HCl formado com o CaO é sempre muito favorável. Como o sistema do forno de clínquer é projetado para trocar calor, o gás é exposto a uma grande área superficial de matérias-primas, e o sistema comporta-se efetivamente como um lavador (CHAHINE, 1991).

Na combustão de compostos organoclorados são formados gás cloro e ácido clorídrico. Esses dois compostos obedecem à seguinte equação de equilíbrio (CHAHINE, 1991):

$$Cl_2 + H_2O \Leftrightarrow 2\,HCl + \tfrac{1}{2}\,O_2 .$$

Nas temperaturas do forno de clínquer, a reação é totalmente deslocada para a direita e o ácido clorídrico é o único composto produzido pela combustão das moléculas organocloradas.

A retenção do HCl dentro do forno é então assegurada devido às seguintes reações químicas que aí ocorrem:

I. $Na_2O + 2\,HCl \rightarrow 2NaCl + H_2O$ ;

II. $K_2O + 2\,HCl \rightarrow 2KCl + H_2O$ .

Os cloretos alcalinos obtidos são voláteis. Eles percorrem todo o comprimento do forno e são captados em grande parte dentro dos equipamentos de controle de emissão de pós. Este é o método empregado em algumas fábricas de cimento para reduzir a quantidade de compostos alcalinos no clínquer. O HCl é assim empregado para se obter cimentos com baixo teor de álcalis.

CHAHINE (1991) apresenta um balanço de cloro para resíduos organoclorados tratados no forno de clínquer da fábrica de cimento Frangey - Lafarge, na França. O teor do elemento cloro foi determinado nos fluxos de materiais que entram no forno, no clínquer, nos pós do precipitador eletrostático e nos gases e poeiras emitidos na chaminé. Os resultados estão apresentados na Tabela 4.3. A retenção do cloro nos materiais sólidos foi superior à 99,9%.

TABELA 4. 3 - Balanço de massa para o elemento cloro na planta de clínquer da fabrica de cimento Frangey-Lafarge

| | FLUXO DE CLORO (g/ t de clínquer) |
|---|---|
| ENTRADAS | |
| cru | 112,5 |
| combustível clássico | 27,4 |
| resíduo clorado | 1.221,0 |
| TOTAL | 1.360,9 |
| SAÍDAS | |
| clínquer + filtro | 1.248,6 |
| pós | 54,6 |
| gases | 1,3 |
| TOTAL | 1.304,4 |

Fonte: LAFARGE (1994)

### 4.2.2 Tratamento térmico de pneus

Um dos tipos de resíduos de grande interesse das fábricas de cimento são os pneus usados, pois eles atendem, simultaneamente, às três condições principais para que um resíduo seja enquadrado na categoria de "combustível complementar", como discutido por SPRUNG (1992): disponibilidade a longo prazo nas quantidades necessárias, composição química adequada, alto grau de homogeneidade e elevado poder calorífico.

Por esses motivos, pneus usados têm sido empregados como combustível complementar em fornos de clínquer em quantidades crescentes em países como os Estados Unidos (BLUMENTHAL, 1996) e a França (LAFARGE, 1994). No final de 1996, a indústria de cimento americana consumiu de 75 a 100 milhões das 253 milhões de toneladas de pneus usados gerados nos Estados Unidos anualmente[45] .

Os pneus podem ser completamente destruídos nos fornos de clínquer devido às características desses equipamentos que combinam temperaturas extremamente elevadas com uma atmosfera oxidante e um tempo de residência de materiais relativamente longo. A combustão completa impede a formação de PCI's[46] , de fuligem, ou de odores (McGRATH, 1993; BLUMENTHAL, 1996; HANSEM, 1992; DENGLER et al., 1996).

Os pneus são compostos por cerca de 89% de carbono e 7% de hidrogênio, razão pela qual eles apresentam poder calorífico relativamente alto, cerca de 33.000 kJ/kg (≅ 8.000 kcal/kg), e entram rapidamente em combustão (McGRATH, 1993). Outro ponto considerado vantajoso é o aço dos aros estruturais dos pneus que podem substituir, em parte, a demanda de ferro nas matérias-primas. É considerado também um ponto positivo o teor de enxofre encontrado na borracha, que é menor que os teores dos carvões normalmente empregados pelas indústrias de cimento. O teor de enxofre nos pneus é de cerca de 1,8 % em peso (McGRATH, 1993).

A Tabela 4.4 apresenta alguns dados sobre a composição média de diferentes tipos de pneus.

TABELA 4.4 - Composição média de diferentes tipos de pneus

| PARÂMETROS | TIPOS DE PNEUS | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ÔNIBUS E CAMINHÃO | | CAMINHÃO | CARRO DE PASSEIO | |
| | comum | radial | LEVE | comum | radial |
| Peso médio (kg) | 50 | 57,1 | 18,75 | 7,06 | 8,62 |
| Borracha (%) | 63,2 | 55,4 | 56,1 | 55,6 | 53,3 |
| Carbono (%) | 22,4 | 19,6 | 32,6 | 33,3 | 32,0 |
| Fibra (%) | 10,6 | - | 8,2 | 8,3 | 4,0 |
| Aço (%) | 3,8 | 25,0 | 3,1 | 2,8 | 10,7 |

Fonte: NEUMANN et al. (1990)

[45] Em 1996, nos Estados Unidos, havia 27 fornos processando resíduos derivados de pneus - TDF (tyre-derived fuel) - ou processando pneus inteiros e outros 20 fornos licenciados pela USEPA. Nesse ano, os fornos de clínquer responderam por cerca de 15% do mercado de pneus usados naquele país (BLUMENTHAL, 1996).

[46] Produtos de combustão incompleta.

## 4.3 TECNOLOGIAS DE ALIMENTAÇÃO DE RESÍDUOS NOS FORNOS DE CLÍNQUER

As tecnologias para a alimentação dos resíduos nos fornos de clínquer variam em função de suas propriedades físico-químicas. Os resíduos líquidos são introduzidos através do queimador primário do forno de clínquer ou pelo queimador secundário do pré-calcinador, enquanto que os resíduos sólidos a granel ou os resíduos acondicionados em tambores ou bombonas e os resíduos pastosos são introduzidos na câmara de fumos, situada entre o último estágio do pré-aquecedor e o forno (PROCESSO COPAM/PA/Nº 008/89). Em alguns casos o resíduo é previamente misturado às matérias-primas nas etapas preliminares de sua preparação e introduzidos no forno juntamente com a farinha, através do sistema de pré-aquecimento (PROCESSO/COPAM/PA/Nº 015/78).

Não há concordância entre os técnicos do setor e das instituições ambientais sobre o melhor ponto do sistema para se introduzir os resíduos nos fornos de clínquer, devido à ampla faixa de temperatura na unidade de produção de clíquer, que varia de cerca de 300°C na saída do pré-aquecedor à cerca de 2.000°C na chama do queimador principal, e devido à influência da temperatura nas reações químicas que ocorrem no interior dos equipamentos que podem dar origem a produtos indesejáveis como PCI's e dioxinas.

A Figura 4.3 apresenta um esquema simplificado da planta de produção de cimento onde estão assinalados os pontos onde resíduos são introduzidos no sistema do forno e os pontos onde ocorrem as emissões de poluentes.

Além dos aspectos técnico-operacionais, o reaproveitamento de resíduos como matérias-primas secundárias e como combustíveis complementares, ou a sua destruição em fornos de clínquer depende também de outros fatores muito importantes que estão relacionados aos aspectos ambientais, sociais e econômicos e que devem ser considerados: a saúde do trabalhador na fábrica de cimento e na construção civil; os impactos sobre as populações e o meio ambiente; os riscos do manuseio e transporte; o treinamento dos operários das fábricas de cimento para o manuseio adequado dos resíduos e a utilização de equipamentos de proteção individual; os aspectos legais e as regulamentações do poder público; a qualidade do produto (sua utilização pela população) e a aceitação do produto pelos consumidores (preconceitos).

Os métodos de alimentação de pneus nos fornos de clínquer são diversos e foram desenvolvidos através da experiência adquirida com a prática. Os pneus picados normalmente são introduzidos junto ao queimador principal, enquanto que pneus inteiros são, em geral, alimentados no meio do forno.

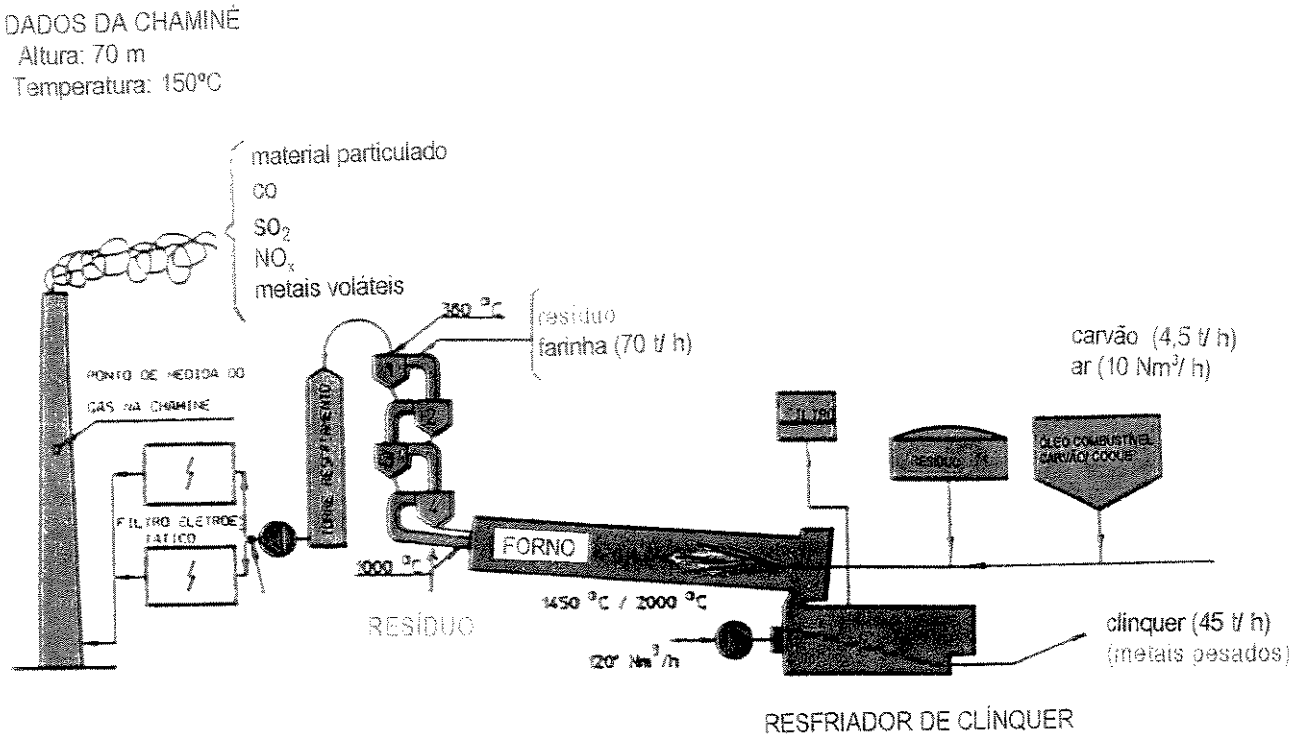



FIGURA 4.3 - Fluxograma do forno de clínquer com alimentação de resíduo como combustível complementar
Fonte: PROCESSO COPAM/PA/Nº 008/89

O controle da combustão é um ponto vital no processamento dos pneus , sendo mais fácil controlar a queima de pneus inteiros devido a sua menor área superficial em relação ao seu volume, promovendo-se uma combustão moderada (HANSEN, 1992). "*Pneus inteiros queimam por, aproximadamente, 15 a 20 minutos. Desse modo, se dois ou três pneus são introduzidos em cada revolução do forno, cerca de 50 a 60 pneus podem estar dentro dele simultaneamente, em vários estágios de queima/consumo, propiciando uma taxa de combustão estável e previsível*" (HANSEN, 1992). A alimentação de pneus no pré-aquecedor não é aconselhada porque provoca problemas operacionais. Os pedaços pequenos, que entram em contato com o fluxo de gases de exaustão do forno, começam a queimar tão logo entram na corrente gasosa, cuja temperatura é de cerca de 850°C, criando uma atmosfera redutora no pré-aquecedor (DENGLER, 1996).

## 4.4. UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS NAS FÁBRICAS DE CIMENTO BRASILEIRAS

### 4.4.1 Escórias de alto forno e outros resíduos como adições ao cimento

O emprego de resíduos como matéria-prima secundária, na forma de adições ao clínquer, é um procedimento antigo na indústria de cimento brasileira, que se tornou "*tradicional usuária de escórias de alto forno a partir de 1952 e de cinzas volantes de termelétricas desde 1969*" (MARCIANO Jr. & KIHARA, 1997).

Outros resíduos, como o gesso sintético, vêm sendo utilizados para substituir o gesso natural, com vantagens para o produtor em relação aos custos mais baixos desses materiais e em relação à qualidade final do cimento, que passa a apresentar maior resistência aos meios agressivos (MARCIANO Jr. & KIHARA, 1997). A Tabela 4.5 apresenta os valores estimados por MARCIANO Jr. & KIHARA (1997) para a quantidade de resíduos empregados como aditivos nas fábricas de cimento brasileiras no período de 1952 à 1995.

TABELA 4.5 - Brasil: Emprego de resíduos como aditivos ao cimento

| RESÍDUO | QUANTIDADE UTILIZADA ( milhões t ) | ECONOMIA EM COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS ( milhões t ) | REDUÇÃO NA EMISSÃO DE $CO_2$ ( $10^9$ $Nm^3$ ) | PERÍODO CONSIDERADO |
|---|---|---|---|---|
| escória de alto forno | 59,0 | 5,2 | 8,23 | 1952-1995 |
| pozolana (1) | 12,0 | 1 | 1,64 | 1969-1995 |
| gesso sintético | 5,8 | 3 | 0,47 | 1976-1995 |
| filler calcário | 3,5 | - | - | 1978-1995 |
| TOTAL | 80,3 | 6,5 | 10,34 | 1952-1995 |

(1) As cinzas volantes correspondem à 9 milhões t.
Fonte: MARCIANO Jr. & KIHARA (1997)

### 4.4.2 Emprego de resíduos como combustíveis complementares na produção de cimento

Nos últimos anos, as indústrias de cimento instaladas no Brasil têm demonstrado um interesse crescente em utilizar resíduos como combustíveis complementares em seus fornos de clínquer, o que é justificado pela possibilidade da redução dos custos da produção do cimento e pelas vantagens ambientais globais que ela proporciona, como a redução no consumo de recursos naturais não renováveis, a minimização dos impactos decorrentes da disposição dos resíduos em aterros e a redução da emissão de $CO_2$.

A quantificação do consumo de resíduos pela indústria de cimento brasileira é realizada pelo SNIC e publicada anualmente em relatórios específicos sobre o desempenho econômico e energético do Setor[47] .

A partir desses dados, pode-se concluir que as fábricas de cimento brasileiras vem consumindo resíduos gerados em outras atividades produtivas há muitos anos; que os tipos de resíduos empregados são aqueles disponíveis nas regiões onde essas fábricas estão instaladas, o que tem uma relação direta com a redução de gastos com frete, cujos valores poderiam inviabilizar economicamente o emprego desses materiais como combustíveis complementares; que há resíduos, como a casca de arroz, a moinha de carbono, os resíduos de madeiras e as raspas de pneus, que há muito tempo vêm sendo empregados como energéticos nos fornos de clínquer; e que alguns resíduos vêm se destacando em relação às quantidades consumidas, como a casca de arroz, o coque verde de petróleo e o alcatrão.

MARCIANO Jr. (1997) relacionou os tipos de resíduos, as quantidades utilizadas pelas fábricas de cimento brasileiras e a economia de óleo combustível associada, para o período compreendido entre 1976 e 1995. O resultado é apresentado na Tabela 4.6. Estima-se que, desde 1991, mais de 80.000 t de resíduos foram processados nos fornos de clínquer das fábricas brasileiras.

Apesar da grande variedade de resíduos utilizada, cinco deles - casca de arroz, moinha de carvão vegetal, coque de petróleo, resíduos de madeira e pneus - são responsáveis por uma economia de 595 mil toneladas de óleo combustível, o que representa 80% da economia de óleo combustível decorrente do emprego de resíduos como combustíveis complementares.

Embora a compilação apresentada não permita visualizar a evolução das quantidades de resíduos empregadas, ela é importante por mostrar a variedade de resíduos que estão sendo utilizados, bem como para sinalizar que o ano de 1976 marcou o início do emprego sistemático de resíduos como combustíveis complementares pelas fábricas de cimento instaladas no Brasil.

Portanto, constata-se que o emprego de materiais diversos que apresentam algum potencial energético como combustíveis complementares nos fornos de clínquer da indústria brasileira de cimento é anterior ao tema ter entrado na pauta de discussões sobre a utilização dos fornos de clínquer como processadores de resíduos, sendo que isso também se aplica aos países desenvolvidos.

---

[47] Esses resíduos são denominados "energéticos alternativos" pelo SNIC. As quantidades de resíduos empregadas por fábrica, referentes ao período 1985-1995, estão apresentadas no Anexo V. Dados compilados em relação ao consumo total anual de cada um desses resíduos, para o período considerado, são apresentados no Anexo VIII.

TABELA 4.6 - Brasil: Resíduos empregados como combustíveis complementares em fábricas de cimento no período 1976/ 1995

| TIPO DE RESÍDUO | QUANTIDADE ( t ) | ECONOMIA DE ÓLEO COMBUSTÍVEL ( t ) |
|---|---|---|
| alcatrão | 48.349 | 25.569 |
| alcatrão de madeira | 152 | 82 |
| argila filtrante | 8.100 | 2.648 |
| bagaço de cana | 5.866 | 1.839 |
| borra de alcatrão | 4.502 | 2.381 |
| carbono peletizado | 11.989 | 9.222 |
| carvão coque | 22.778 | 14.497 |
| carvão peletizado | 6.972 | 4.358 |
| casca de castanha | 300 | 115 |
| casca de côco | 100 | 38 |
| casca de arroz | 737.724 | 262.460 |
| casca de babaçu | 48.200 | 19.465 |
| casca de dendê | 14.900 | 4.012 |
| chip's de madeira | 2.632 | 821 |
| coque de petróleo | 131.387 | 105.110 |
| gás pobre | 8.165 | 819 |
| lenha | 73.082 | 19.676 |
| moinha de carvão vegetal | 202.979 | 117.689 |
| moinha e coque | 15.589 | 7.237 |
| palha de arroz | 6.126 | 2.083 |
| pneus | 65.451 | 44.054 |
| pó de coletor de alto forno | 24.931 | 8.376 |
| pó de coque | 2.221 | 976 |
| pó de grafite | 1.000 | 385 |
| rejeito carbonoso 4.500 | 22.045 | 9.115 |
| rejeito carbonoso 5.100 | 16.281 | 7.514 |
| resíduo lavador alto forno | 18.500 | 5.337 |
| resíduos de pinus | 3.027 | 640 |
| resíduos de madeira | 228.282 | 65.851 |
| serragem de madeira | 4.504 | 1.513 |
| tar | 7.737 | 4.315 |
| terra clarificante | 1.452 | 475 |
| terra fuller | 2.587 | 593 |
| turfa | 8.708 | 2.364 |
| TOTAL | 1.756.618 | 751.629 |

Fonte: MARCIANO Jr., comunicação privada (1997)

## 4.5 O QUADRO NAS FÁBRICAS DE CIMENTO INSTALADAS EM MINAS GERAIS

O emprego de resíduos como combustíveis complementares pela indústria de cimento "foi oficializado" em Minas Gerais em 1989, quando o COPAM[48] concedeu a primeira licença para a CIMINAS processar resíduos em um de seus fornos de clínquer.

Outras fábricas de cimento também solicitaram licença ao COPAM para processar resíduos em seus fornos. A Cauê obteve sua Licença de Instalação em junho de 1994 e a Licença de Operação para processar resíduos da COFAP em dezembro de 1994; a SOEICOM obteve a Licença de Instalação em maio de 1996 e a Licença de Operação para processar resíduos da USIMINAS em junho de 1997; a Tupi obteve a Licença Prévia em março de 1997; a Itaú obteve a Licença Prévia em maio de 1997[49].

As investigações mostraram que a Paraíso, instalada no Município de Barroso, também tem interesse em processar resíduos em seus fornos de clínquer (PROCESSO/COPAM/PA/Nº 006/81). Entretanto, essa fábrica não foi licenciada pelo COPAM porque não estava atendendo à legislação ambiental vigente para plantas de produção de cimento[50].

As empresas do Grupo Lafarge - CMOC-Uberaba, CMOC-Arcos, Mauá e Matsulfur - ainda não têm interesse em empregar resíduos em seus fornos de clínquer, como relatado pela CMOC-Uberaba: "*existe política da Empresa para desenvolver este tipo de trabalho em apenas uma unidade (Catagalo/RJ)*" (CMOC-Uberaba, questionário, 1997).

O Quadro 4.1 apresenta um resumo para a situação das fábricas de cimento instaladas em Minas Gerais em relação ao processamento de resíduos em seus fornos de clínquer e ao processo de licenciamento ambiental no COPAM.

---

[48] A concessão de licenças ambientais no Estado de Minas Gerais é atribuição do COPAM. Existem dois tipos de licenciamento: o licenciamento preventivo e o licenciamento corretivo. O primeiro compreende as fases de Licença Prévia - LP, Licença de Instalação - LI e Licença de Operação - LO, que serão concedidas a um empreendimento novo, ou quando da expansão das instalações industriais existentes. O segundo compreende as fases de Licenças de Instalação - LI e Licença de Operação - LO e aplica-se aos empreendimentos que se encontram na etapa de instalação ou de funcionamento e que não foram objeto de licenciamento preventivo. O processamento de resíduos em fornos de clínquer está sujeito ao licenciamento preventivo.

[49] Não há mais informações sobre esse Processo, pois as pastas referentes a ele não estavam disponíveis na DIDOC/FEAM no período em que a pesquisa foi realizada.

[50] O interesse da indústria em empregar resíduos como combustíveis complementares foi confirmado, através de contato telefônico, pelo Engº Edson das Dores Ribeiro, da Cimento Paraíso, em maio de 1997.

QUADRO 4.1 - Minas Gerais: Utilização de resíduos como combustíveis complementares em fornos de clínquer

| FÁBRICA | INTERESSE NO EMPREGO DE RESÍDUOS ? | LICENCIAMENTO NO COPAM (1) | ESTÁGIO DA ATIVIDADE |
|---|---|---|---|
| CIMINAS<br>Pedro Leopoldo | SIM | LP, LI para instalação<br>LO para resíduos diversos<br>LP, LI para pneus | Emprego de resíduos diversos<br>Solicitação de LO para pneus<br>Solicitação de LO para novos resíduos |
| CAUÊ<br>Pedro Leopoldo | SIM | LP, LI para instalação<br>LO para poucos resíduos | Suspensa |
| SOEICOM<br>Vespasiano | SIM | LP, LI para instalação<br>LO para alguns resíduos siderúrgicos | Emprego de resíduos siderúrgicos |
| PARAÍSO<br>Barroso | SIM | NÃO | Modernização das instalações industriais |
| ITAÚ<br>Itaú de Minas | SIM | LP para instalação | Informações não disponíveis |
| TUPI<br>Carandaí | SIM | LP para instalação | Solicitação de LI |
| CMOC<br>Uberaba | NÃO | - | - |
| CMOC<br>Arcos | NÃO | - | - |
| MATSULFUR<br>Montes Claros | NÃO | - | - |
| MAUÁ<br>Matozinhos | NÃO | - | - |

(1) LP = Licença Prévia
LI = Licença de Instalação
LO = Licença de Operação

Fonte: elaboração própria a partir de dados dos Processos COPAM, questionários e contatos telefônicos (atualização: julho de 1997)

Assim, das dez fábricas de cimento que produzem clínquer em Minas Gerais, três já têm Licença de Operação concedidas pelo COPAM para processar algum tipo de resíduo em seus fornos de clínquer; duas têm Licença Prévia e, portanto, estão a meio caminho para processar resíduos em seus fornos e uma, que tem interesse nessa prática, está passando por um processo de modernização, que deverá adequá-la à legislação ambiental estadual para as fábricas de cimento, para credenciá-la a obter do COPAM sua licença para o tratamento de resíduos. Ou seja, atualmente, o tratamento térmico de resíduos é do interesse de 60% das fábricas de cimento instaladas em Minas Gerais.

As fábricas que têm interesse em empregar resíduos são as de maior capacidade instalada e de maior produção. As três empresas que têm Licença de Operação responderam pela produção anual de 3.483 mil toneladas de cimento em 1995, número que correspondeu à 50% da

produção do Estado de Minas Gerais, e consumiram 254 mil tEOC, número que correspondeu à 46% dos energéticos utilizados para fins térmicos (SNIC, 1995).

Portanto, fica demonstrado que o interesse em processar resíduos nas fábricas de cimento está se ampliando.

A grande complexidade que envolve todo o processo - a coleta e acondicionamento do resíduo na indústria geradora; o transporte, normalmente por via rodoviária; a alimentação e o tratamento no forno de clínquer - demanda ações apropriadas do poder público e das fábricas de cimento para se conhecer de maneira abrangente e aprofundada esta prática, a fim de se estabelecer as medidas adequadas para minimizar os impactos negativos sobre o meio ambiente e a saúde das pessoas.

Entretanto, as ações ainda não atingiram o nível requerido, que deveria incluir aspectos como o pré-tratamento do resíduo, normalmente na indústria geradora ou numa unidade especialmente dedicada ao processamento e destinação de resíduos; a estocagem do resíduo na fábrica de cimento, mesmo que por períodos curtos, já que os sistemas de alimentação do forno para os resíduos pastosos e sólidos operam muitas vezes em bateladas, e, também, porque o tratamento térmico do resíduo deve ser efetuado somente quando o forno estiver operando nas condições de regime normal de processamento; o treinamento dos operários das fábricas de cimento que não estão habituados a lidar com produtos perigosos, como é o caso da maioria dos resíduos processados; o controle das emissões de substâncias tóxicas pelas chaminés, levando-se em conta os aspectos relacionados aos balanços de materiais, considerando os ciclos químicos que são formados por diversas dessas substâncias no sistema de produção de clínquer, e a qualidade do cimento produzido, em particular quanto aos aspectos toxicológicos associados à incorporação de metais pesados em sua estrutura.

### 4.5.1 Tecnologias para a alimentação de resíduos nos fornos de clínquer

Embora o leque dos resíduos que podem ser processados nos fornos de clínquer seja grande, a concepção tecnológica básica para os sistemas de alimentação de resíduos nos fornos tem sido a mesma de uma fábrica de cimento para outra: os resíduos são alimentados ou na caixa de fumaça, ou na zona de queima do forno. O local da alimentação é escolhido em função das características físicas e químicas dos resíduos. O estado físico do resíduo também pode determinar a escolha do local onde ele será introduzido no forno. Em geral, resíduos sólidos ou pastosos, ou resíduos acondicionados em tambores de papelão, são introduzidos no forno pela caixa de fumaça, enquanto que resíduos líquidos são introduzidos junto ao queimador primário.

A taxa de alimentação dos resíduos depende de sua composição química e é determinada a partir de um balanço de massa teórico para os principais elementos químicos que podem influenciar de maneira negativa o processo de produção, a qualidade do cimento produzido e a emissão de efluentes atmosféricos e, portanto, dos problemas de poluição que poderão ocasionar. A taxa máxima de alimentação é calculada para cada resíduo pela seguinte equação (SANTI e NEBRA, 1996; PROCESSO COPAM/PA/Nº 008/89):

$$\Gamma = \frac{Ei.\upsilon}{\sum[c_i(1-\sigma_i)]}$$

onde $\Gamma$ representa a taxa máxima de alimentação do resíduo, expressa em kg/h; $E_i$ representa a emissão admitida para o componente i do resíduo, fixada pelos órgãos ambientais e expressa em mg/Nm$^3$; $\upsilon$ representa a vazão na chaminé da planta de cimento e é expressa em Nm$^3$/h; $c_i$ representa a concentração do elemento i no resíduo e $\sigma_i$ representa a taxa de retenção do elemento i no clínquer.

Em geral, os resíduos são processados tão logo chegam à fábrica de cimento. Entretanto, a alimentação do resíduo é realizada somente quando o sistema do forno estiver operando em condições de regime normal, o que é avaliado através dos diversos parâmetros de processo - temperatura dos gases no forno, concentração de CO e $O_2$, taxa de alimentação de farinha, pressão interna do forno, condições de funcionamento do precipitador eletrostático e do sistema de intertravamento[51].

Nas Figuras 4.4 a 4.7 são apresentadas fotos dos sistemas de alimentação de resíduos no fornos de clínquer da CIMINAS[52].

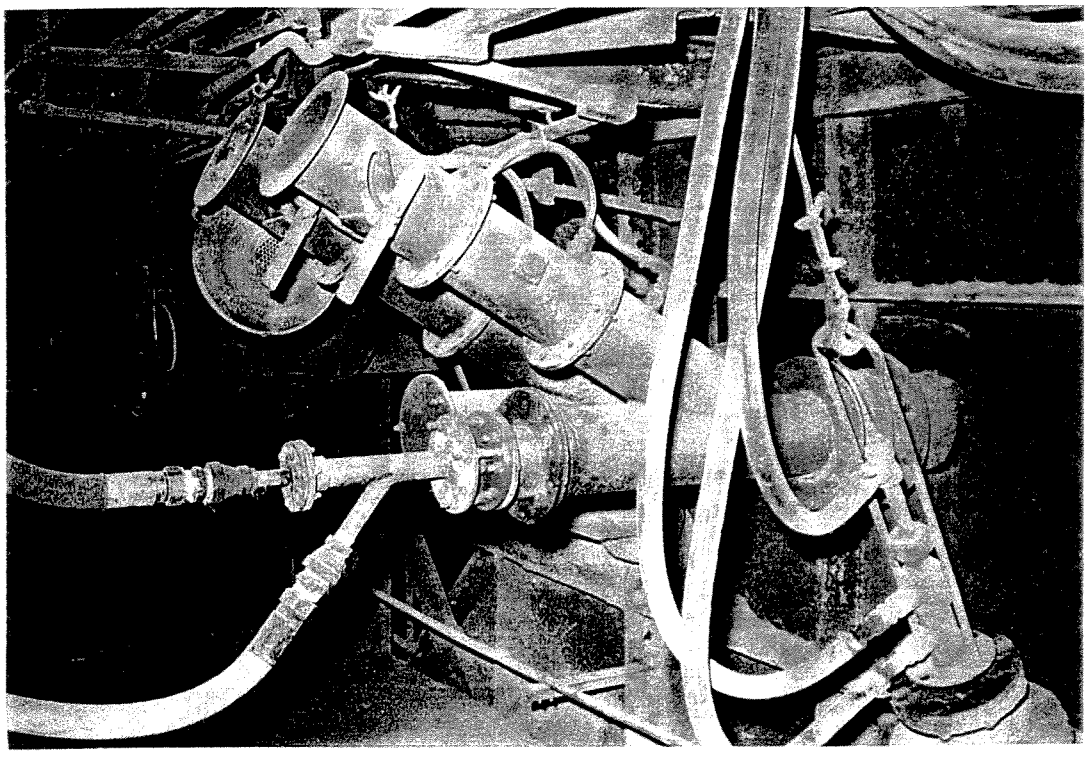
### 4.5.2 Resíduos empregados

As investigações levaram ao conhecimento do emprego de resíduos como combustíveis complementares pelas fábricas de cimento instaladas em Minas Gerais já em 1985. Isto é particularmente notável, porque a primeira licença concendida pelo COPAM para a queima de resíduos em fornos de clínquer só ocorreu em 1989.

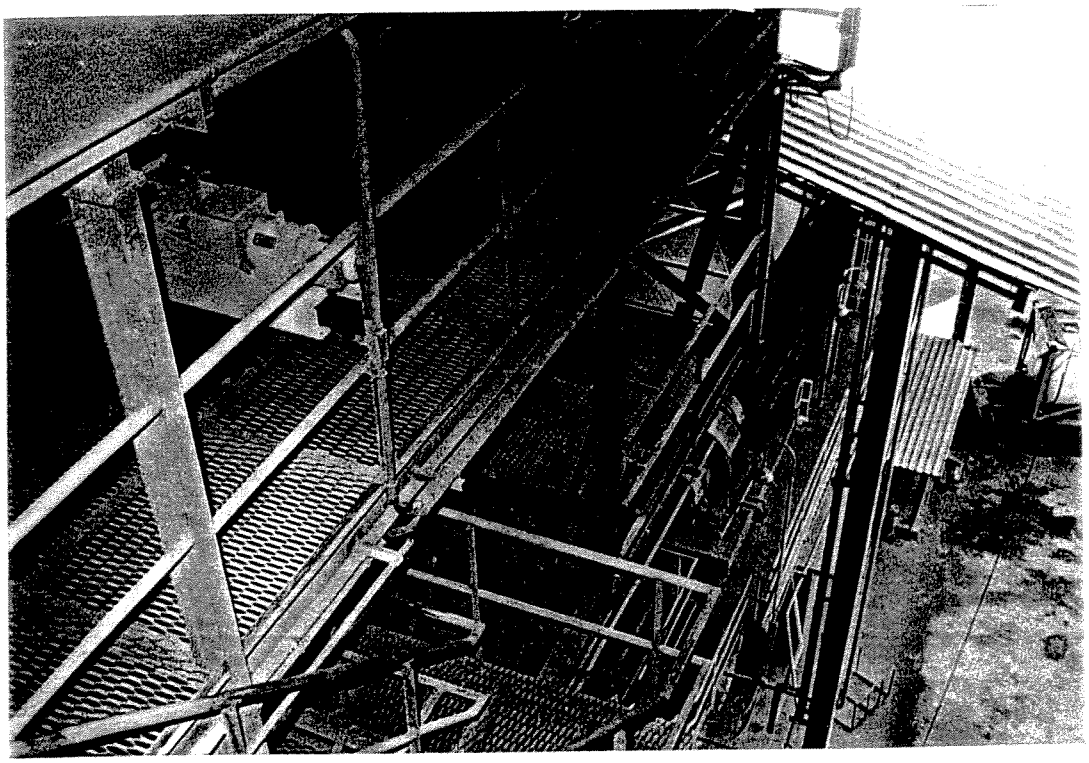
---

[51] O sistema de intertravamento promove a interrupção automática da alimentação dos resíduos em função de alterações nos parâmetros operacionais dos fornos.

[52] As fotos foram cedidas pela CIMINAS. Outras fotos estão apresentadas no Anexo VI.

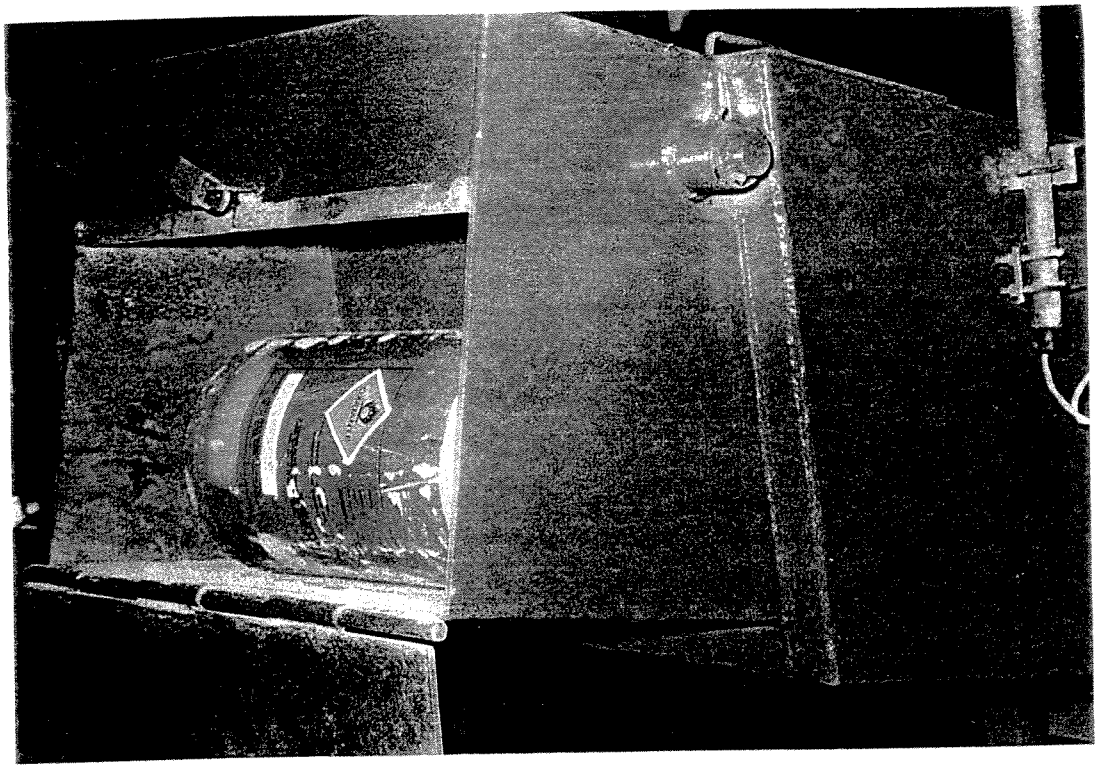


MAÇARICOS DE INJEÇÃO DE LÍQUIDOS AO FORNO.

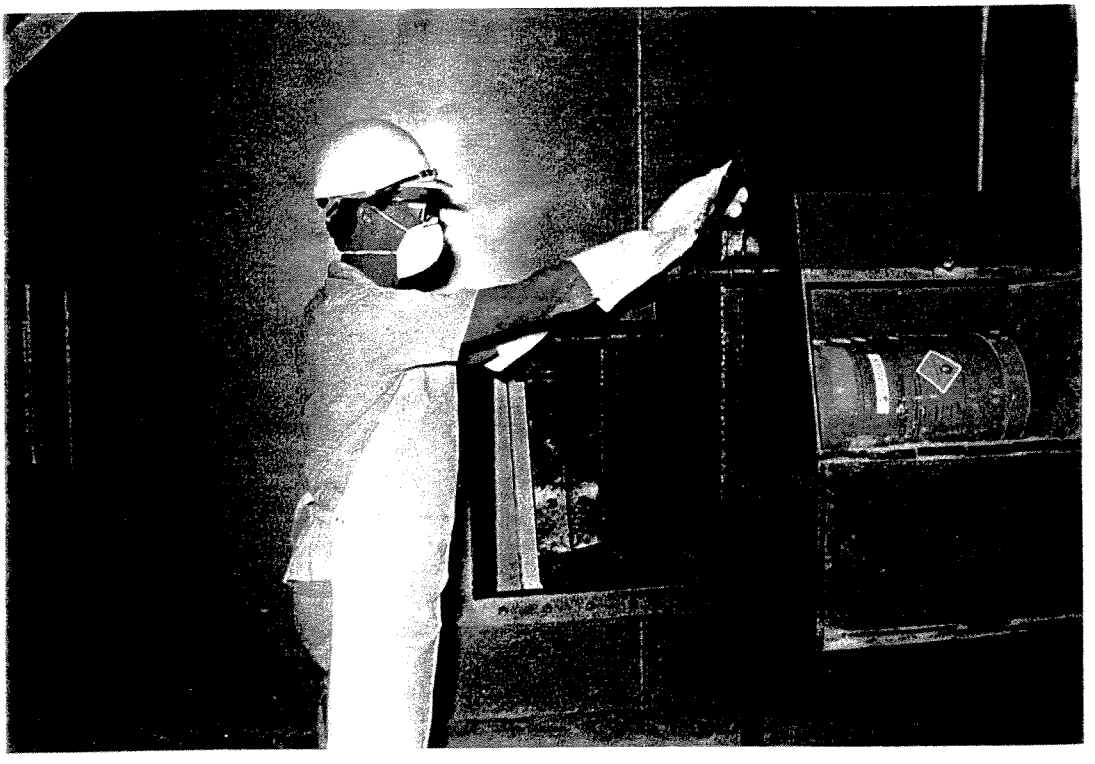


VISTA GERAL SUPERIOR.
OBS.: TANQUE PARA LÍQUIDOS DESCARREGANDO ANDAR TÉRREO E VISTA SUPERIOR NA TORRE DO EXTREMO DO PARAFUSO TRANSPORTADOR PARA SÓLIDOS.

FIGURA 4.4 - Sistema de alimentação de resíduos líquidos no forno de clínquer CIMINAS, Pedro Leopoldo/MG

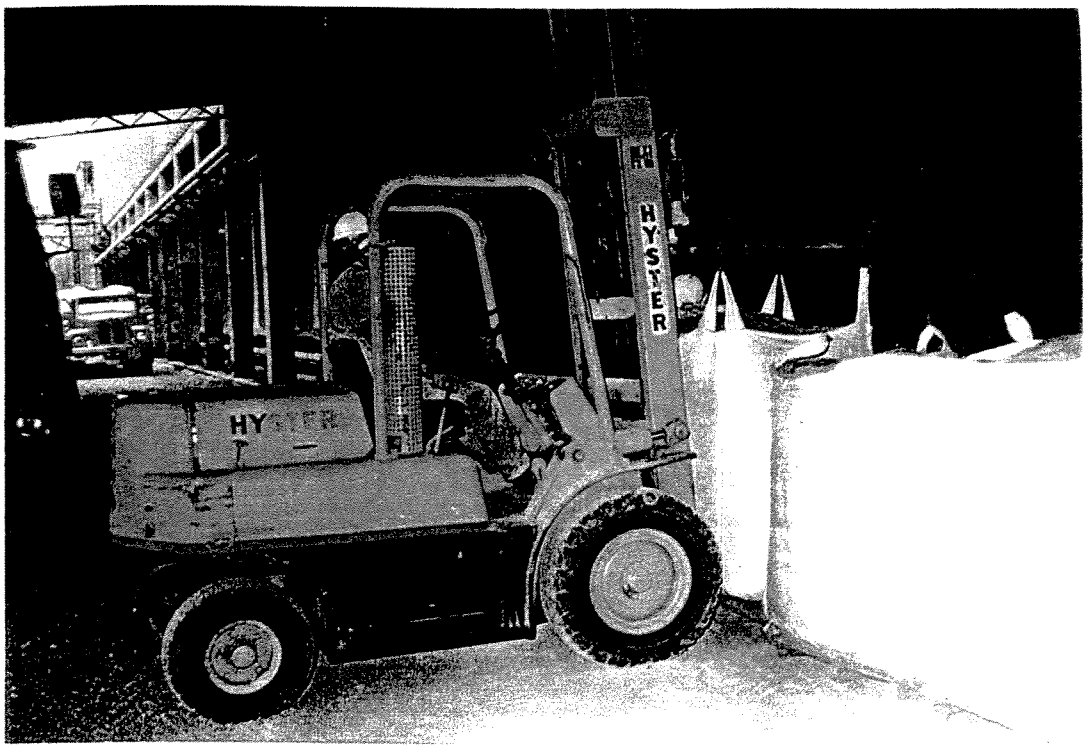


TAMBORIL NA BICA.
OBS.: NA LATERAL CONTADOR MAGNÉTICO.



ACIONAMENTO DE COMPORTAS DE SEGURANÇA.

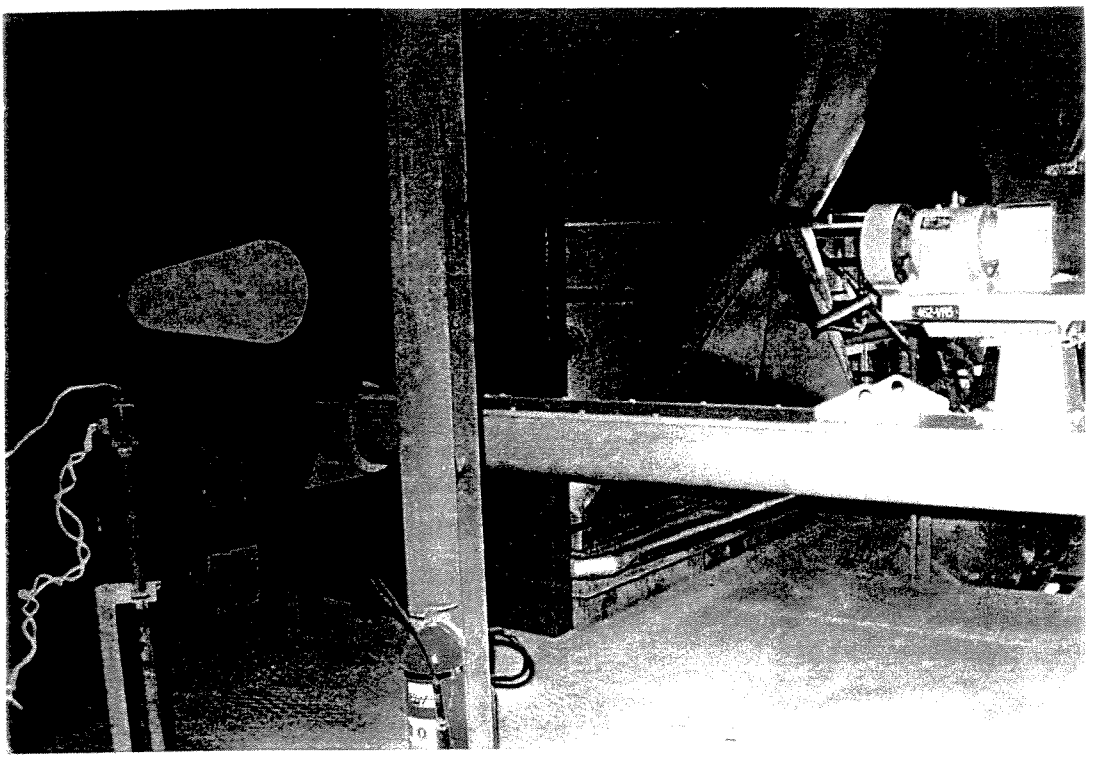
FIGURA 4.5 - Sistema de alimentação de resíduos acondicionados em tambores de papelão - CIMINAS, Pedro Leopoldo/MG



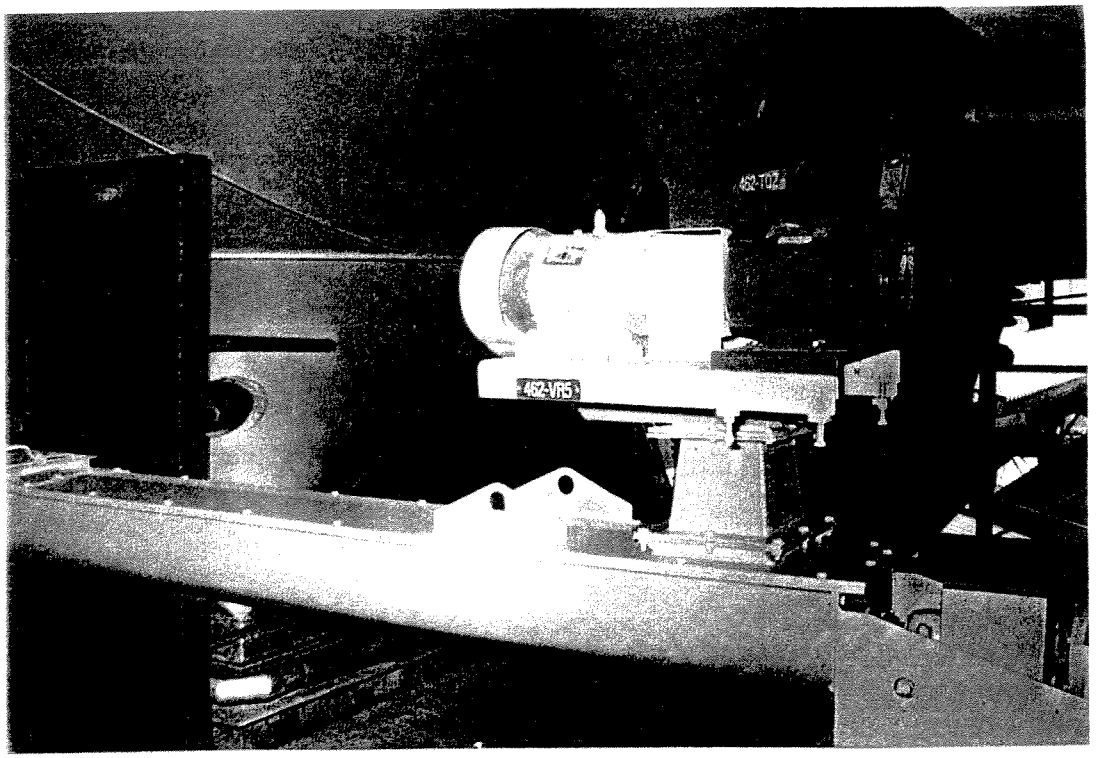

COLOCAÇÃO NO DEPÓSITO DE DESCARREGAMENTO.
OBS.: PAIOLAS DE MADEIRA. DEPÓSITO COBERTO.

COLOCAÇÃO DO BIG-BAG PARA DESCARGA, NA TREMONHA DO PARAFUSO ALIMENTADOR.
OBS.: TALHA MANUAL.

FIGURA 4.6 - Sistema de alimentação de resíduos pastosos acondicionados



PARAFUSOS ALIMENTADOR DE RESÍDUOS SÓLIDOS.
OBS.: CONE INFERIOR DA TREMONHA RESPECTIVA.




DETALHE DA VÁLVULA ROTATIVA DE REGULAGEM DE ALIMENTAÇÃO DO PARAFUSO TRANSPORATADOR.

FIGURA 4.7 - Parafuso alimentador de resíduos sólidos -
CIMINAS, Pedro Leopoldo/MG

No periodo 1985-1995, as fábricas de cimento instaladas em Minas Gerais, que empregaram resíduos como combustíveis complementares em seus fornos de clínquer, queimaram, sequencialmente, casca de arroz, resíduos de madeira, moinha de carbono e de coque, alcatrão e pó de coletor de alto forno. Em 1995, foram utilizadas 25,1 mil toneladas de resíduos como combustível complementar, sendo 21,3 mil toneladas de coque verde de petróleo.

Os lodos de estação de tratamento de efluentes industriais, borra de filtração de resina, resinas plásticas fora de especificação, borras de tinta de fábricas de automóveis, borras oleosas de origens diversas, borras de fundo de tanques de decapagem, borras de fundo de tanques de fosfatização, alcatrões, borra de retífica, óleos combustíveis contaminados são exemplos de resíduos que vêm sendo processados nos fornos de clínquer das fábricas de cimento instaladas em Minas Gerais.

A maior parte dos resíduos processados são gerados em outros empreendimentos. Como não há informações sobre as quantidades totais dos resíduos licenciados pelo COPAM que foram processados e como o poder calorífico dos resíduos que sofreram tratamento térmico variou num intervalo muito amplo, de 8.360 kJ/kg (2.000 kcal/kg), para lodo de estação de tratamento de efluentes industriais a 25.000 kJ/kg (6.000 kcal/kg), para borras oleosas, não é possível concluir se os resíduos foram empregados exclusivamente como combustíveis complementares ou se os fornos de clínquer também funcionaram como incineradores

A CIMINAS tem processado resíduos diversos com certa regularidade, como mostra o grande número - mais de vinte - de solicitações de Licenças de Operação que fez ao COPAM[53]. A SOEICOM solicitou Licença de Operação para alguns resíduos gerados na unidade de laminação da USIMINAS. A Cauê processou borra de retífica das unidades da COFAP instaladas nos municípios de Santo André e Itajubá, mas atualmente a atividade está suspensa, provavelmente por motivos ligados à alteração de seu controle acionário, ocorrido em fevereiro de 1997.

Há dados sobre a composição química e principais propriedades físico-químicas dos resíduos que foram ou estão sendo licenciados pelo COPAM. Para ilustrar, apresenta-se alguns dados sobre o processamento de resíduos da COPENE-BA nos fornos de clínquer da CIMINAS e algumas informações sobre o processamento de resíduos da USIMINAS no forno de clínquer da SOEICOM.

[53] O COPAM exige que os resíduos sejam licenciados individualmente.

A COPENE Petroquímica SA, instalada no Município de Camaçari, na Bahia, fabrica produtos petroquímicos de primeira geração como eteno, propeno e benzeno. Oito resíduos de processamento dessa unidade industrial foram licenciados pelo COPAM para serem tratados nos fornos de clínquer da CIMINAS e estão identificados no processo de licenciamento como alcatrão, coque, polímero de isopreno, fase pastosa da centrífuga, polímero de butadieno, caixa de areia, areia de "quench" e óxido de ferro com hidrocarbonetos.

O *alcatrão* é um resíduo proveniente da unidade de butadieno, resultado da condensação de produtos orgânicos pesados no interior de alguns equipamentos. O *coque* é formado no interior de equipamentos onde se processa a nafta. É resultado de reações não controladas durante a etapa de craqueamento da nafta. O *polímero de isopreno* é formado nos reatores de síntese do isopreno, pela polimerização desse composto nos pontos frios do reator. O *polímero de butadieno* é formado nos reatores de síntese do butadieno pela polimerização indesejada desse composto em pontos frios do reator. O resíduo *caixa de areia* é gerado no sistema de drenagem do tratamento de efluentes da planta. É constituído de óleos e areia. A *areia de "quench"* é formada pela mistura de óleo de "quench" derramado e areia utilizada na sua contenção. É gerada quando ocorre vazamento desse óleo durante a manutenção, ou mesmo na operação dos equipamentos. O resíduo *óxido de ferro contaminado com hidrocarbonetos* é gerado nos tanques de estocagem de matérias-primas e produtos. É originado na corrosão dos tanques, formando-se uma mistura de óxidos com os hidrocarbonetos armazenados. O resíduo denominado *fase pastosa da centrífuga* é gerado na centrifugação das borras de "quench" (polímero formado a base de óleo de "quench"), borra das bacias AD's ( resíduo do fundo das bacias de contenção de derramamentos) e das borras do silo (resíduos provenientes do fundo dos separadores de água e óleo). É composto por areia, coque e alcatrão contidos nas borras oleosas e de óleos e graxas (PROCESSO COPAM/PA/Nº 008/89/25/95).

Segundo a Norma NBR 10.004, todos os resíduos da COPENE são classificados como Perigosos - Classe I, sendo que a toxicidade é o principal fator determinante da periculosidade para os resíduos alcatrão, coque, caixa de areia, areia de "quench", óxido de ferro com hidrocarbonetos e fase pastosa da centrífuga. A inflamabilidade é o principal fator determinante da periculosidade dos resíduos identificados como polímeros de isopreno e polímero de butadieno.

O tratamento dos resíduos da COPENE nos fornos da CIMINAS iniciou-se em agosto de 1996. No período que se estendeu até março de 1997, foram tratados os resíduos identificados como caixa de areia, coque e óxido de ferro com hidrocarbonetos. A Tabela 4.7 apresenta dados sobre poder calorífico, estado físico, taxa de geração do resíduo pela COPENE, estoque na COPENE e quantidade processada na CIMINAS.

TABELA 4.7 - Resíduos da COPENE processados nos fornos da CIMINAS

| RESÍDUO | PODER CALORÍFICO (kJ/kg) | ESTADO FÍSICO | TAXA DE GERAÇÃO ( t/ mês) | ESTOQUE NA COPENE (1) ( t ) | QUANTIDADE PROCESSADA (2) ( t ) |
|---|---|---|---|---|---|
| óxido de ferro com HC | 7.690 | sólido em grãos | 6,8 | 200 | 98 |
| coque | 30.480 | sólido em grãos | 5,0 | 60 | 26 |
| caixa de areia | inorgânico | lama consistente | 1,0 | 60 | 3 |

(1) Referente ao mês de agosto/1996
(2) Massa total do resíduo processada no período de agosto/1996 à março/1997
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do Processo COPAM/PA/Nº 008/89/25/95 e CSD GEOCLOCK, 1997

É interessante destacar as concentrações de elementos traços presentes nesses resíduos, Os resultados estão apresentados na Tabela 4.8. Para efeito de comparação, foram assinalados os limites de concentração de elementos traços que são adotados pela FEAM como referência[54].

TABELA 4.8 - Análise química dos resíduos da COPENE

| PARÂMETRO | CONCENTRAÇÃO MÉDIA (ppm) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | LIMITES DA FEAM | RESÍDUOS | | |
| | | óxido de ferro | coque | caixa de areia |
| arsênio | 200 | 5,7 | 4,0 | 4,0 |
| cádmio | 100 | 14,6 | 1,2 | 1,2 |
| chumbo | 1.000 | 99,9 | 35,2 | 284 |
| cianeto | 100 | 0,7 | 0,7 | 0,9 |
| cloreto | 60.000 | 337,7 | 197,5 | 296 |
| cobre | 1.000 | 230,4 | 29,2 | 126,5 |
| cromo total | 1.000 | 219,7 | 94,3 | 245,5 |
| fluoreto | 2.000 | 158,7 | 29,0 | 91,4 |
| mercúrio | 10 | 10,6 | 0,6 | 6,8 |
| níquel | 1.000 | 129,6 | 228,5 | 211,0 |
| selênio | 50 | 7,3 | 9,3 | 9,4 |
| zinco | 5.000 | 1.091,1 | 150,5 | 1.439,5 |
| antimônio | 50 | 27,9 | 29,9 | 28,5 |
| berílio | 50 | 10,6 | 11,7 | 11,7 |
| cobalto | 200 | 32,1 | 35,0 | 35,2 |
| vanádio | 1.000 | 366,0 | 397 | 398,5 |

Fonte: CSD GEOCLOCK, 1997

Em agosto e setembro de 1996, foi realizado o monitoramento das emissões na chaminé da fábrica da CIMINAS durante o processamento dos resíduos óxido de ferro, coque e caixa de areia. Os resultados encontrados estão apresentados na Tabela 4.9.

[54] Esses limites, baseados em padrões utilizados na Fábrica de Cimento Obourg, na Bélgica, fazem parte da proposta de Deliberação Normativa que estabelece normas para o "Licenciamento de Co-processamento de Resíduos em fornos de cimento" , encaminhada pela FEAM ao COPAM em julho/1997, conforme 5.1.4.

TABELA 4.9 - Resultados da análise de efluentes na chaminé da CIMINAS durante o processamento de resíduos da COPENE

| PARÂMETRO | UNIDADE | LIMITES DA FEAM | CONCENTRAÇÃO NO EFLUENTE (valores médios) | |
|---|---|---|---|---|
| | | | ÓXIDO DE FERRO (1) | COQUE E CAIXA DE AREIA (2) |
| material particulado | mg/Nm$^3$ | 180 (4) | 114,34 | 156,11 |
| BTXE (3) | µg/ Nm$^3$ | 20.000 (5) | 1.637,67 | 966,37 |
| Cd, Hg, Tl | µg/ Nm$^3$ | 200 | 6,27 | 6,80 |
| As, Co, Ni, Se, Te | µg/ Nm$^3$ | 1.000 | 283,71 | 190,39 |
| Sb, Pb, Cr, CN, F, Cu, Mn, Pt, Ba, Rh, V, Sn | µg/ Nm$^3$ | 5.000 | 34,48 | 214,67 |
| Taxa de emissão de material particulado | kg/h | - | 32,68 | 42,21 |

(1) teor de oxigênio na saída da chaminé: 13,2 %
(2) teor de oxigênio na saída da chaminé: 12,0%
(3) BTXE = compostos orgânicos semi-voláteis (benzeno, tolueno, xileno e etil-benzeno)
(4) padrão admitido em regiões não urbanizadas
(5) padrão segundo a norma alemã
Fonte: CSD GEOCLOCK, 1997

Também foram analisados diversos elementos traços no clínquer produzido quando resíduos da COPENE estavam sendo processados e os resultados apresentados na Tabela 4.10 foram comparados com as concentrações desses elementos no clínquer produzido em condições de processamento convencionais.

TABELA 4.10 - Resultados da análise do clínquer produzido durante o processamento de resíduos da COPENE

| PARÂMETRO | CONCENTRAÇÃO NO CLÍNQUER (valores médios em ppm) | | |
|---|---|---|---|
| | resíduo COPENE óxido de ferro | resíduos COPENE coque e caixa de areia | sem resíduos |
| arsênio | 207 | 74 | 786 |
| bário | 1.451 | 379 | 1.368 |
| cádmio | 18 | 7 | 18 |
| chumbo | 166 | 57 | 193 |
| cromo | 123 | 72 | 125 |
| níquel | 183 | 49 | 178 |
| zinco | 228 | 94 | 216 |
| antimônio | 691 | 282 | 684 |
| mercúrio | 14 | 13 | 16 |
| cianetos | nd | nd | nd |
| selênio | | | 355 |
| vanádio | | | 141 |
| cobalto | | | 133 |
| cobre | | | 58 |

nd = não detetável
Fonte: CSD GEOCLOCK, 1997

A SOEICOM fez opção para processar resíduos gerados pelas Usinas Siderúrgicas de Minas Gerais - USIMINAS, instalada no Município de Ipatinga. Esses resíduos são originados no tratamento dos efluentes brutos da Laminação na estação de tratamento de óleos denominada ETOL, onde as fases oleosa e aquosa do efluente são separadas. O óleo é retirado mecanicamente e o efluente residual é submetido a um tratamento físico-químico para remoção do óleo remanescente, na estação de tratamento denominada ETEL.

Os óleos recolhidos na ETOL e na ETEL, cerca de 700 toneladas por mês, são transportados através de caminhões tanque até o sítio de disposição, conhecido como Poço Fundo, localizado fora das instalações da USIMINAS, onde são depositados em bacias de contenção com capacidade de armazenamento de 18.000 $m^3$ de resíduo[55] .

Frente a possibilidade de se esgotar a capacidade dessas bacias, a USIMINAS optou pelo tratamento dos resíduos em fornos de clínquer. Os resíduos encaminhados à fábrica de cimento foram identificados como resíduo da ETOL (borra de óleo), resíduo da ETEL (espuma de óleo ETEL-Floc) e resíduo do Poço Redondo (resíduo armazenado nas bacias de contenção)[56] .

Os dados sobre taxa de emissão de efluentes atmosféricos e sobre a concentração de metais pesados no clínquer produzido com o emprego desses resíduos ainda não estão disponíveis, porque a Licença de Operação, concedida à SOEICOM para tratar os resíduos da USIMINAS, foi concedida em julho/1997.

Estão registradas no Processo COPAM/PA/Nº 001/77/20/97 as estimativas para a taxa de emissão de zinco, cromo, níquel e cobre e para a concentração desses elementos no clínquer, que foram transcritas nas Tabelas 4.11 e 4. 12.

A SOEICOM instalou recentemente modernos precipitadores eletrostáticos projetados para uma emissão máxima de 50 mg de material particulado por $Nm^3$ de gás. Medições da emissão na chaminé da fábrica da SOEICOM mostraram valores situados entre 12 e 30 mg de material particulado/ $Nm^3$ de gás, para um padrão de 100 mg/$Nm^3$, estabelecido pelo COPAM (PROCESSO COPAM/PA/Nº 001/77/20/97).

Com um consumo mensal de cerca de 4.000 toneladas (≅ 140 t/dia) de óleo combustível 7A , a SOEICOM pretende processar 70 toneladas de resíduo por dia, em taxas de alimentação de 3 ou 6 toneladas de resíduos por hora, garantindo 20% de substituição do energético convencional e o controle operacional do processo (PROCESSO COPAM/PA/Nº 001/77/20/97).

---

[55] São quatro bacias de 4.500 $m^3$ cada, construídas em 1993.

[56] A composição química típica desses resíduos está apresentada no Anexo IX.

TABELA 4.11 - Taxa de emissão estimada para os elementos zinco, cromo, níquel e cobre[1]

| ELEMENTO LIMITANTE | CONCENTRAÇÃO NO RESÍDUO (ppm) | TAXA DE ALIMENTAÇÃO (kg/ h) | FATOR DE EMISSÃO (mg/Nm³) | PADRÃO DE EMISSÃO (mg/Nm³)[2] |
|---|---|---|---|---|
| zinco | 500 | 3.000 | 0,51 | 30 |
| | 500 | 6.000 | 1,02 | |
| cromo | 100 | 3.000 | 0,1 | 7 |
| | 100 | 6.000 | 0,2 | |
| níquel | 200 | 3.000 | 0,2 | 1,4 |
| | 200 | 6.000 | 0,4 | |
| cobre | 400 | 3.000 | 0,4 | 7 |
| | 400 | 6.000 | 0,8 | |

(1) Eficiência do precipitador eletrostático igual a 90%
(2) NBR 1265
Fonte: PROCESSO COPAM/PA/Nº 001/77/20/97

TABELA 4.12 - Concentração dos elementos zinco, cromo, níquel e cobre no clínquer[1]

| ELEMENTO LIMITANTE | CONCENTRAÇÃO NO RESÍDUO (ppm) | ALIMENTAÇÃO (kg/ h) | CONCENTRAÇÃO ESTIMADA NO CLÍNQUER [2] (mg/ kg) | CONCENTRAÇÃO DO ELEMENTO NO CLÍNQUER SEM RESÍDUO (mg/ kg) |
|---|---|---|---|---|
| zinco | 500 | 1,5 | 12 | 352,6 |
| | | 3,0 | 24 | |
| cromo | 100 | 0,3 | 2,4 | 45,8 |
| | | 0,6 | 4,8 | |
| níquel | 200 | 0,6 | 4,8 | 53,8 |
| | | 1,2 | 9,6 | |
| cobre | 400 | 1,2 | 9,6 | 32,3 |
| | | 2,4 | 19,2 | |

(1) Calculada para uma produção de 3.000 toneladas de clínquer por dia
(2) Considerando-se que toda a massa do elemento ficou incorporada ao clínquer
Fonte: PROCESSO COPAM/PA/Nº 001/77/20/97

# CAPÍTULO 5
# ASPECTOS SOCIAIS DA PRODUÇÃO DE CIMENTO

"Postes e tijolos, fios, chaves, instalações e aparelhos não valem a vida humana, as penas da viuvez, a falta de um pai aos filhos. Está no Gênesis que as criaturas deste mundo foram feitas para servir ao homem. Neste sentido, o homem é a medida de todas as coisas. Só se justificam a posse, o uso, o gozo, a exploração e o desenvolvimento dos bens, forças e engenhos materiais enquanto na sua captação, invenção, domínio ou emprego se respeitarem os valores humanos do trabalho."

Costa Manso, maio de 1960.

Neste Capítulo pretende-se mostrar que um empreendimento industrial de grande porte não pode ser visto como um sistema isolado. Ele envolve, depende e interfere no funcionamento de muitas instituições, em diversos outros empreendimentos e na vida de milhares de pessoas. Ele é o centro de uma teia que influencia todos os seus nós e que reage às alterações em qualquer um deles.

Entende-se que uma maneira apropriada de evidenciar as inter-relações que se formam na Sociedade em torno das fábricas de cimento é apresentar o elenco dos principais atores envolvidos e o papel desempenhado por cada um deles, procurando mostrar que suas atuações estão entrelaçadas.

Além disso, destaca-se alguns aspectos associados à saúde dos trabalhadores e populações diretamente influenciados pelas fábricas de cimento, com o objetivo de enfocar esse ponto tão importante e ainda tão pouco considerado nas decisões de ordem técnica, econômica e política. Alguns dados relacionados aos impactos negativos causados pelas atividades ligadas à produção e ao consumo de cimento sobre a saúde das pessoas são apresentados.

Dá-se atenção especial para a atuação dos órgãos ambientais no controle das atividades relacionadas à produção de cimento e ao tratamento térmico de resíduos nos fornos de clínquer.

## 5.1 OS PRINCIPAIS ATORES NO CENÁRIO DA PRODUÇÃO DE CIMENTO

As fábricas de cimento, as instituições e os órgãos ligados ao Sistema Nacional de Meio Ambiente, as instituições normativas, as empresas geradoras e gestoras de resíduos, as populações e os trabalhadores das fábricas e da construção civil são os principais atores no cenário da produção e do uso de cimento.

### 5.1.1 As fábricas de cimento

As fábricas de cimento são unidades industriais pertencentes ao grupo das Indústrias de Transformação de Minerais Não-Metálicos, onde a tecnologia de processo, usualmente empregada, é composta, em linhas gerais, por cinco etapas:

I. explotação e britagem das matérias-primas;
II. moagem e homogeneização das matérias-primas;
III. produção de clínquer em fornos a altas temperaturas;
IV. produção do cimento através da moagem de clínquer com adições ativas;
V. ensacamento e expedição do cimento.

Em 1995, as 58 fábricas de cimento instaladas no Brasil produziram 28 milhões de toneladas. Dessas, 7 milhões de toneladas foram fabricadas no Estado de Minas Gerais, o maior produtor brasileiro de cimento[57].

### 5.1.2 Os órgãos ambientais e o SISNAMA

A organização dos setores governamentais da área de meio ambiente foi estabelecida pela Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981 , que criou o Sistema Nacional do Meio Ambiente - SISNAMA e definiu as bases da Política Nacional de Meio Ambiente.

O SISNAMA é integrado por todos os órgãos federais, estaduais e municipais responsáveis pela preservação e melhoria da qualidade ambiental. O órgão central do SISNAMA é o Ministério do Meio Ambiente, Recursos Hídricos e da Amazônia Legal - MMA; o órgão consultivo e deliberativo é o Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA e o órgão executivo é o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA, que mantém superintendências

[57] No Anexo III é apresentada a relação das fábricas de cimento instaladas no Brasil.

estaduais, responsáveis por implementar as diretrizes da política ambiental estabelecida na esfera federal.

Todos os Estados brasileiros e o Distrito Federal dispõem de um órgão ambiental. A atuação municipal na área de meio ambiente é pequena. Dos cerca de 5.000 municípios do país, apenas 200 possuem alguma ação institucionalizada[58] (GUTBERLET, 1996). No Quadro 5.1 é apresentada uma síntese das instituições que compõem o SISNAMA.

A legislação vigente no Brasil confere ao poder público a responsabilidade de prevenir e propor medidas mitigadoras para os problemas ambientais, cabendo a ele controlar e fiscalizar a utilização dos recursos naturais e as atividades potencial ou efetivamente poluidoras; identificar e propor medidas para a recuperação de áreas degradadas; monitorar a qualidade do ar, corpos d'água e solos; fomentar estudos e pesquisas sobre a proteção e o uso racional dos recursos ambientais e promover a educação ambiental.

As enormes desigualdades sociais, culturais, econômicas e ambientais entre os Estados brasileiros levaram a proposições diferentes para a legislação estadual, para as ações de fiscalização, de controle e de licenciamento, e para o planejamento, os projetos e as pesquisas na área de meio ambiente em cada um deles, existindo, também, diferenças entre as propostas dos Estados e da Federação.

A Sociedade Civil tem participação e representação nos conselhos de meio ambiente dos órgãos governamentais. Ela participa do CONAMA, na esfera federal, dos conselhos estaduais de meio ambiente, como o COPAM em Minas Gerais, e nos conselhos municipais de meio ambiente, os CODEMAS.

A Sociedade Civil também pode intervir nos acontecimentos e nas decisões sobre o meio ambiente através de ações judiciais, por meio de instrumentos como a Ação Popular e a Ação Civil Pública e através de representações encaminhadas ao Ministério Público, que é uma instituição pública autônoma que defende os interesses coletivos e difusos.

[58] Através de leis ambientais municipais, da inserção de artigos referentes às questões ambientais na Lei Orgânica do Município e da criação de CODEMAS.

QUADRO 5.1 - Brasil: Composição institucional do SISNAMA

| Esfera administrativa | Instituição | Papel institucional | Atribuições |
|---|---|---|---|
| FEDERAL | Ministério do Meio Ambiente , Recursos Hídricos e da Amazônia Legal - MMA | Órgão central do SISNAMA | Desenvolvimento de estratégias para as questões ambientais;<br>Promoção do incentivo ao desenvolvimento de pesquisas e estudos ambientais;<br>Aplicação de penalidades para os agentes degradadores do meio ambiente. |
| | Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA | Órgão máximo consultivo e deliberativo do SISNAMA | Formulação de diretrizes para a política nacional do meio ambiente;<br>Estabelecimento de normas e padrões ambientais. |
| | Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis -IBAMA | Órgão executivo do SISNAMA | Coordenação e execução da política ambiental de preservação, controle, fomento e uso racional dos recursos naturais;<br>Licenciamento de grandes obras;<br>Atuação supletiva dos órgãos ambientais estaduais;<br>Promoção de atividades de educação ambiental. |
| ESTADUAL | Secretarias estaduais de meio ambiente | Apoio executivo aos Governos dos Estados | Implementação da política ambiental estadual;<br>Elaboração e aperfeiçoamento da legislação e normas ambientais. |
| | Conselhos estaduais do meio ambiente | Órgãos consultivos e deliberativos, formados por segmentos do Governo e da Sociedade Civil | Definição de diretrizes para a política estadual do meio ambiente;<br>Concessão de licenças ambientais;<br>Estabelecimento de normas e legislação ambientais;<br>Aplicação de penalidades aos agentes degradadores do meio ambiente. |
| | Instituições e agências ambientais | Órgãos executivos do sistema de meio ambiente estadual | Realização do controle e da fiscalização das atividades e empreendimentos degradadores do meio ambiente;<br>Realização de estudos e de pesquisas, avaliação e planejamento ambiental;<br>Promoção de atividades de educação ambiental. |
| MUNICIPAL | Secretarias municipais de meio ambiente | Apoio executivo às prefeituras | Definição de diretrizes para a política municipal de meio ambiente;<br>Elaboração do zoneamento ambiental;<br>Concessão de licenças;<br>Edição de normas e legislação ambientais.<br>(1) |
| | Conselhos Municipais de Meio Ambiente - CODEMAS | Órgãos formados por segmentos da Sociedade Civil | Realização de trabalhos suplementares aos órgãos estaduais no controle, fiscalização e licenciamento ambiental, principalmente em atividades de menor porte;<br>Promoção da participação da comunidade nas decisões sobre as questões ambientais através de audiências públicas. |

(1) O espectro de atuação das secretarias municipais de meio ambiente não está bem definido ainda.
Fonte: Adaptado de GUTBERLET (1996)

### 5.1.3 O Sistema de Meio Ambiente do Estado de Minas Gerais

O Sistema de Meio Ambiente do Estado de Minas Gerais foi reestruturado pela Lei 11.903, de 07 de setembro de 1995, e é composto pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente e do Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais - SEMAD e pelas instituições a ela vinculadas: a Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM, o Instituto Estadual de Florestas - IEF, o Instituto Mineiro de Gestão de Águas - IGAM e o Conselho de Política Ambiental - COPAM[59].

A FEAM é uma instituição de direito público, vinculada ao Governo do Estado de Minas Gerais, que tem como objetivos fundamentais realizar estudos e pesquisas sobre o meio ambiente, atuar na sua proteção, conservação e melhoria, licenciar e controlar as atividades potencialmente poluidoras e fazer o monitoramento ambiental, observadas as diretrizes do COPAM (www.bhnet.com.br/feam, 1997).

O COPAM é o órgão estadual responsável pela formulação e execução da política ambiental em Minas Gerais. Dentre suas atribuições, estão a formulação de normas técnicas e padrões de qualidade ambiental, a autorização para a implantação e operação de atividades potencialmente poluidoras e a aprovação de normas e diretrizes para o Sistema Estadual de Licenciamento Ambiental (www.bhnet.com.br/feam, 1997).

### 5.1.4 O controle ambiental do processamento de resíduos em fornos de clínquer pela CETESB-SP, FEAM-MG, FEEMA-RJ e IAP-PR

Para ilustrar a participação dos órgãos estaduais de meio ambiente no licenciamento e no controle do tratamento de resíduos em fornos de clínquer, foram selecionadas para estudo a Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM, de Minas Gerais, a Cia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB, de São Paulo, a Fundação de Estadual de Engenharia do Meio Ambiente - FEEMA, do Rio de Janeiro e o Instituto Ambiental do Paraná - IAP, porque fábricas de cimento instaladas nesses Estados vêm processando resíduos[60].

O quadro do licenciamento e do controle ambiental mostra que a experiência desses órgãos é pequena em relação ao tratamento térmico de resíduos em fornos de clínquer, pois o

---

[59] Essas entidades estão ajustando suas atribuições à nova configuração proposta para o Sistema Estadual de Meio Ambiente.

[60] No Anexo X estão apresentados dados e informações sobre as fábricas de cimento instaladas nos Estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Paraná.

processamento sistemático desses materiais pelas fábricas de cimento é relativamente recente no Brasil e, além disso, quando considerada globalmente, essa é uma prática bastante complexa.

É notável a influência das experiências e das legislações estrangeiras na normatização e regulamentação do uso de resíduos como combustíveis complementares e matérias-primas secundárias em fornos de clínquer, às vezes, sem se levar em consideração as condições específicas nas quais elas foram estabelecidas.

A forma de atuar desses órgãos estaduais de meio ambiente é regulada por uma série de documentos normativos aprovados pelos conselhos estaduais de meio ambiente, por leis ambientais federais, que se aplicam a todo o Território Nacional e por leis ambientais estaduais, particularizadas para cada Estado.

Para o caso específico do tratamento de resíduos em fornos de clínquer, a situação dos órgãos ambientais que estão sendo considerados é a seguinte: A FEEMA e o IAP já dispõem de documentos normativos para o licenciamento e o controle do tratamento térmico ou da destruição de resíduos em fornos de clínquer, a FEAM-MG submeteu ao COPAM uma proposta de Deliberação Normativa afim de "*estabelecer normas para o Licenciamento de Co-Processamento de resíduos em fornos de cimento no Estado de Minas Gerais*", que está sendo apreciada pela sua Câmara de Poluição Industrial e a CETESB-SP já elaborou uma proposta para a normatização do licenciamento e controle do processamento de resíduos em fornos de clínquer, mas cujo conteúdo não pôde ser conhecido, à época da visita feita àquela Companhia (fevereiro/1997), pois ainda não havia sido aprovada.

Diferenças conceituais importantes marcam o controle ambiental no processamento de resíduos em fornos de clínquer realizado pelos quatro órgãos ambientais considerados.

As normas estabelecidas pela FEEMA-RJ tratam da "*destruição térmica de resíduos*" de modo geral, considerando que a queima de resíduos em fornos de clínquer é uma das formas possíveis de destinação de resíduos. A FEEMA-RJ considera que ocorre "*co- processamento* ", quando "*a unidade de processo industrial é capaz de efetuar a destruição térmica de resíduos durante o processo produtivo*" (FEEMA, DZ-1.314.R-0, 1993).

A CETESB-SP orienta as suas ações com relação ao tratamento térmico de resíduos em fornos de clínquer considerando que o emprego de resíduos "*só será autorizado para fins de reaproveitamento de energia nos casos de substituição de parte do combustível ou para substituição de algum componente das matérias-primas e que o processamento de resíduos não*

*poderá gerar taxas de emissão superiores àquelas geradas em incineradores convencionais"* (MAGANHA et al., 1996; CETESB, entrevista, 1997).

O IAP-PR e a FEAM-MG tomam como princípio que *"a queima de um resíduo sólido em fornos de clínquer não deverá gerar taxas de emissão maiores do que o processamento do mesmo resíduo em incineradores de resíduos sólidos perigosos"* [61].

A FEEMA-RJ iniciou o controle ambiental do tratamento térmico de resíduos em 1993. Além de documentos normativos próprios, aprovados pela Comissão Estadual de Controle Ambiental - CECA, a FEEMA-RJ considera como referências as normas NBR 10.004, NBR 10.007, NB 1.265[62] e a Lei nº 1.356, de 03 de outubro de 1988, e a Resolução CONAMA 001/86, que tratam da exigência da elaboração de Estudos de Impacto Ambiental - EIA e do respectivo Relatório de Impacto Ambiental - RIMA.

As normas próprias que orientam as ações da FEEMA-RJ englobam a "Diretriz de Implantação do Sistema de Manifesto de Resíduos Industriais", de 27 de junho de 1985, os "Padrões de Emissão de Poluentes do Ar para Processo de Destruição Térmica", de 31 de agosto de 1993, a "Diretriz para Licenciamento de Processo de Destruição Térmica de Resíduos", de 14 de setembro de 1993, e a "Diretriz de Destinação de Resíduos Industriais", de 29 de novembro de 1994 (FEEMA, DZ-1310.R-3, 1985; FEEMA NT-574.R.0, 1993; FEEMA, DZ-1314.R.0, 1993; FEEMA, DZ-1311.R.0, 1994).

Em vista de ainda não dispor de norma própria, a CETESB-SP tem adotado como referência os padrões estabelecidos pela Norma NB - 1.265 (CETESB, entrevista, 1997).

O IAP-PR dispõe de documento normativo próprio e considera como referências as normas NBR 10.004, NB 1.265, NB 98[63] e NB 1.183 . A norma específica própria do IAP-PR para orientar as ações de licenciamento ambiental referentes ao tratamento de resíduos em fornos de clínquer constitui o documento intitulado *"Normatização para Reaproveitamento ou Destruição de Resíduos em Fornos de Clínquer"* (IAP, sem data).

---

[61] IAP - PR, Normatização para Reaproveitamento ou Destruição de Resíduos em Fornos de Clínquer (sem data); FEAM - MG, Proposta de Deliberação Normativa para o Licenciamento de Co-Processamento de Resíduos em Fornos de Cimento no Estado de Minas Gerais, 1997.

[62] NBR 10.004: Resíduos Sólidos - Classificação e PN 1:603.06-008: Resíduos Sólidos - Classificação (revisão), NBR 10.007: Amostragem de Resíduos e NB 1.265: Incineração de Resíduos Sólidos Perigosos - Padrões de Desempenho.

[63] NB 98: Armazenamento e Manuseio de Líquidos Inflamáveis e Combustíveis; NB 1.183: Armazenamento de Resíduos Sólidos Perigosos.

Os limites adotados pelo IAP-PR para o controle das emissões na chaminé dos fornos são aqueles estabelecidos pela norma alemã TA Luft [64]. O monitoramento da qualidade do ar da área de influência das fábricas de cimento é feito de acordo com a Resolução CONAMA 03/90. Por considerar o tratamento de resíduos em fornos de clínquer uma atividade nova, o IAP- PR exigiu das duas fábricas de cimento instaladas no Paraná a apresentação de Estudo de Impacto Ambiental - EIA e o seu respectivo Relatório de Impacto Ambiental - RIMA.

A FEAM-MG não dispõe ainda de documento normativo próprio e considera como referência as normas NBR 10.004 e NB 1.265, a norma alemã TA Luft e "*os padrões utilizados na Fábrica de Cimento Obourg, em conformidade com a norma belga* " para o licenciamento do processamento de resíduos nos fornos de clínquer. Para o monitoramento da qualidade do ar a FEAM-MG segue as diretrizes estabelecidas pela Resolução CONAMA 03/90 (FEAM, 1997).

Os quatro órgãos ambientais estaduais exigem a realização de testes de queima, "*que consiste da análise de uma série de amostras de efluentes gasosos, de resíduos e do produto, que será realizada durante o período no qual é permitido a queima experimental de resíduos* " (MAGANHA,et al., 1996); atendem ao Decreto Federal nº 96.044, de 18 de maio de 1988, que regulamenta o transporte rodoviário de produtos perigosos, definindo que o fabricante, o gerador, o transportador e o destinatário têm responsabilidade civil pelos danos causados em acidentes com os produtos; e só recebem resíduos oriundos de outro Estado com a autorização prévia do órgão ambiental daquele Estado.

O IAP-PR e a FEAM-MG exigem que os resíduos empregados como combustíveis complementares em fornos de clínquer tenham um poder calorífico mínimo de 11.720 kJ/kg de resíduo (2.800 kcal/kg), que é o valor estabelecido na legislação norte-americana (5.000 BTU/ lb; USA, CFR 40, Part 266.100, 1992).

A FEEMA-RJ entende o processamento de resíduos em fornos de clínquer como um caso particular da destruição térmica de resíduos. Por isso, ela não faz restrições sobre os tipos de resíduos que podem ser alimentados nos fornos de clínquer. O IAP-PR coloca a destruição térmica de resíduos e o reaproveitamento de resíduos para fins térmicos no mesmo nível. Entretanto, ele não permite o processamento nos fornos de clínquer de lamas galvânicas, ácidos e bases inorgânicas, explosivos, resíduos radioativos e pesticidas. A FEAM-MG não permite o tratamento nos fornos de clínquer de resíduos radioativos, farmacêuticos, hospitalares, pesticidas, explosivos e bifenilas policloradas. A CETES-SP não permite o uso dos fornos de clínquer para a

[64] Podem ser fixados limites diferentes para fornos específicos, desde que sejam realizados testes de queima e que seja comprovado que as emissões atendem aos padrões da Norma NB - 1.265 ou outros limites fixados pelo IAP (IAP, sem data).

destruição de resíduos pura e simples. A CETESB-SP só autoriza o emprego de resíduos para fins de aproveitamento de energia ou para a substituição de algum componente das matérias-primas (FEEMA, DZ-1314.R.0, 1993; IAP [sem data]; FEAM, 1997; MAGANHA et al., 1996; CETESB, entrevista, 1997).

Os quatro órgãos ambientais estaduais abordam o tratamento de resíduos em fornos de clínquer pelas normas que regulam a concessão de licenciamento para as atividades potencialmente poluidoras. Exigem que as fábricas de cimento estejam operando como fonte controlada, isto é, estejam atendendo aos padrões de emissão estabelecidos na legislação ambiental para a finalidade a que se destinam.

Dos quatro órgãos ambientais estaduais, somente a FEEMA-RJ leva a uma audiência pública a discussão da concessão do licenciamento definitivo para a destruição térmica de resíduos.

### 5.1.5 As instituições normativas

As duas instituições normativas aqui consideradas são a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT e o Instituto de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - INMETRO.

A ABNT é o órgão responsável pela normatização técnica no Brasil. Foi fundada em 1940, tendo como objetivo principal fomentar o desenvolvimento tecnológico brasileiro através da elaboração e difusão da normalização técnica e da certificação de qualidade em produtos e sistemas.

As normas editadas pela ABNT que tratam dos resíduos são a NBR 10.004:Resíduos Sólidos - Classificação e sua revisão PN 1:603.06-008: Resíduos Sólidos - Classificação; a NBR 10.005: Lixiviação; a NBR 10.006: Solubilização; a NBR 10.007: Amostragem; a NB 1.265: Incineração de Resíduos Sólidos Perigosos - Padrões de Desempenho; a NB 98: Armazenamento e Manuseio de Líquidos Inflamáveis e Combustíveis; a NB 1.183: Armazenamento de Resíduos Sólidos Perigosos e o PN 1: 603.04-003: Transporte de Resíduos.

Essas normas são utilizadas como referências pelos órgãos ambientais no licenciamento e controle das atividades relacionadas ao tratamento térmico de resíduos em fornos de clínquer e pelas fábricas de cimento nos seus programas de gerenciamento ambiental.

A série de normas da ABNT que trata das características dos diversos tipos de cimento produzidos no Brasil é constituída pela EB -1: Cimento Portland Comum; pela NBR 11.578: Cimento Portland Composto; pela EB - 758: Cimento Portland Pozolânico; pela EB - 2: Cimento Portland de Alta Resistência Inicial; pela EB - 208: Cimento Portland de Alto Forno e pela NBR 5.737: Cimento Portland Resistente a Sulfatos.

Essas normas são utilizadas pelas fábricas de cimento no controle da qualidade do produto final colocado no mercado e informam ao consumidor as propriedades de cada tipo de cimento.

O INMETRO foi fundado em 1973 com o objetivo de reunir a padronização de pesos e medidas, a normalização e a qualidade industrial, que antes eram tratadas de maneira compartimentada. Cabe ao INMETRO fazer cumprir as regulações compulsórias emitidas pelo Governo Federal, homogeneizar critérios, estabelecer padrões de referência e fomentar a normalização voluntária no País. O INMETRO verifica a conformidade da qualidade de produtos com as regulamentações específicas, atuando na proteção e educação do consumidor. Desde março de 1995, atua exclusivamente como credenciador de organismos de certificação (GUTBERLET, 1996).

Ao INMETRO cabe a tarefa de elaborar normas e procedimentos de inspeção e fabricação de veículos e equipamentos, bem como regularizar o transporte de cargas e produtos perigosos a granel em todo o território nacional. Ele expede "*Certificados de Capacitação para o Transporte de Produtos Perigosos a Granel*" para fabricantes e transportadores dos veículos utilizados no transporte de produtos perigosos a granel (INMETRO, 1985).

Em Minas Gerais, a obtenção desse certificado é uma das exigências da FEAM e do COPAM para o licenciamento ambiental do transporte rodoviário de produtos perigosos e de resíduos no Estado.

### 5.1.6 Os geradores de resíduos

As indústrias são os principais geradores de resíduos que atualmente são utilizados pelas fábricas de cimento como combustíveis complementares em fornos de clínquer ou como matérias-primas secundárias.

No Brasil, as indústrias siderúrgicas, as indústrias químicas e petroquímicas, as fábricas de veículos automotores e as agroindústrias são as principais geradoras de resíduos empregados pelas fábricas de cimento.

Em geral, essas indústrias buscam nas fábricas de cimento a "solução definitiva para a destinação de seus resíduos", o que, na maioria das vezes, é motivado pelas imposições do órgão ambiental do Estado onde elas se encontram instaladas.

Há também os casos de "simbiose regional". Os mais clássicos são aqueles em que os resíduos empregados são gerados em atividades produtivas de grande escala localizadas na mesma região em que a fábrica de cimento está instalada. Esse é o caso da produção de arroz nos Estados do Rio Grande do Sul e de Goiás, onde a casca de arroz é empregada como combustível complementar pelas fábricas de cimento desses Estados[65].

As indústrias começaram a se preocupar em dar um destino apropriado para os resíduos que elas geram a partir das exigências dos órgãos ambientais e, mais recentemente, com o advento das normas internacionais para a qualidade ambiental. Até então, a gestão de resíduos não era considerada pela maioria das indústrias instaladas no Brasil.

### 5.1.7 As empresas gestoras de resíduos

O interesse crescente da indústria de cimento instalada no Brasil em processar resíduos em seus fornos de clínquer tem levado diversas empresas de consultoria da área ambiental a se especializarem no gerenciamento de resíduos.

As empresas gestoras de resíduos, como são conhecidas, desempenham o papel de intermediador entre o gerador de resíduos e a fábrica de cimento. Sua atuação consiste em identificar resíduos gerados ou estocados em diferentes unidades industriais, com características apropriadas para serem reaproveitados pelas fábricas de cimento como combustível complementar ou como matéria-prima secundária.

Essas empresas costumam atuar em parceria com as fábricas de cimento, oferecendo apoio tecnológico e comercial, sendo responsáveis pela caracterização e classificação dos resíduos, pelos projetos e instalação dos sistemas de alimentação dos resíduos nos fornos, pela coleta, preparação e acondicionamento para o transporte dos resíduos da indústria geradora até a fábrica de cimento e pelo acompanhamento do processo de licenciamento junto aos órgãos ambientais.

---

[65] As tabelas apresentadas no Anexo V retratam bem essa situação particular.

Empresas com esse perfil começaram a aparecer no Brasil há cerca de sete anos. São, portanto, atores novos na atividade de produção de cimento.

A intermediação de resíduos é um negócio muito lucrativo, pois o gerador de resíduos e a indústria de cimento têm interesses convergentes. O *gerador de resíduos* quer se ver livre dos problemas associados ao resíduo gerado, especialmente se ele apresentar elevada periculosidade. A *indústria de cimento* está interessada em reduzir seus custos com matérias-primas e insumos energéticos.

Entretanto, a destruição de resíduos tem se mostrado tão lucrativa para as fábricas de cimento que é importante ressaltar a opinião de um técnico da FEEMA-RJ: "*O interesse atual das cimenteiras está relacionado com o ganho financeiro decorrente do tratamento térmico de resíduos em seus fornos de clínquer; as fábricas querem alugar seus fornos para incineração de resíduos, o que pode ser comprovado pelo elevado teor de umidade e, portanto, pelo baixo poder calorífico dos resíduos que estão sendo tratados. A médio e longo prazos, as fábricas procuram combustíveis alternativos*" (FEEMA, entrevista, 1996).

No Brasil, o campo de trabalho para as empresas gestoras de resíduos é bastante fértil, porque ainda não há informações e dados disponibilizados sobre os tipos, as quantidades e a destinação da maioria dos resíduos de forma sistemática e atualizada.

Dentre as empresas gestoras de resíduos no Brasil, destacam-se a CSD-Geoclock Geologia e Engenharia Ambiental, com sede na cidade de São Paulo, que atua em parceria com a fábrica de cimento CIMINAS, instalada no município de Pedro Leopoldo, em Minas Gerais; a Ambiência Engenharia de Recursos Ambientais Ltda, com sede em Alphaville, no Estado de São Paulo, que atua em parceria com fábricas de cimento do Grupo Votorantim instaladas nos Estados de São Paulo, Paraná e Rio de Janeiro; a Transforma, com sede na cidade de Curitiba, que atua em parceria com a fábrica de cimento Itambé, instalada no Estado do Paraná, com a fábrica de cimento Mauá, instalada no Estado do Rio de Janeiro e com a fábrica de cimento Tupi, instalada no Município de Carandaí, em Minas Gerais; e a Ambiental Laboratórios, que também atua em parceria com a Cimento Itambé, instalada no Estado do Paraná.

Há um grande número de empresas atuando na área ambiental e que podem assumir o papel de gestoras de resíduos. Talvez o que falta é a oportunidade real para entrar nesse negócio, considerando que o número de indústrias de cimento que têm interesse nessa prática ainda é pequeno e há necessidade de informações privilegiadas sobre a disponibilidade de resíduos apropriados ao tratamento nos fornos de clínquer.

### 5.1.8 As populações

As populações afetadas diretamente pela atividade de produção de cimento e portanto pelo tratamento de resíduos nos fornos de clínquer são principalmente aquelas que vivem nas áreas de influência das fábricas.

As populações indiretamente afetadas pelo tratamento térmico de resíduos nos fornos de clínquer estão distribuídas pelas cidades, pelos distritos e pelas vilas localizadas ao longo das rodovias por onde estes resíduos são transportados.

Também faz parte desse conjunto toda a população que é exposta ao cimento empregado como produto final.

Ainda não foram feitas estimativas do número de pessoas que estão expostas aos riscos decorrentes da fabricação do cimento e de seu emprego, particularmente nos casos em que se utiliza resíduos como combustíveis complementares ou como matérias-primas secundárias.

### 5.1.9 Os trabalhadores das fábricas de cimento e da construção civil

Os trabalhadores das fábricas de cimento e da construção civil, que estão em contato direto com a produção, o manuseio e o uso do cimento são os mais expostos aos riscos do emprego de resíduos perigosos como matérias-primas secundárias e combustíveis complementares na produção de cimento.

Os maiores riscos estão relacionados à falta de costume dos trabalhadores das fábricas de cimento no manuseio de produtos perigosos, à exposição no interior da fábrica à poluição atmosférica durante a operação e, principalmente, na manutenção de equipamentos operando resíduos perigosos e ao contato com a pele dos trabalhadores da construção civil com o cimento que incorporou materiais tóxicos.

Apesar do número expressivo de trabalhadores expostos a esses riscos, já que a indústria de cimento ofereceu, em 1994, 27 mil empregos diretos, e a construção civil é uma indústria intensiva em mão-de-obra, não existem estudos sistemáticos, dados e análises estatísticas sobre os efeitos do emprego de resíduos na produção de cimento na saúde dos trabalhadores.

## 5.2 OS PRINCIPAIS ATORES ENVOLVIDOS NO TRATAMENTO DE RESÍDUOS NAS FÁBRICAS DE CIMENTO DE MINAS GERAIS

### 5.2.1 As fábricas de cimento

As fábricas de cimento instaladas em Minas Gerais que têm Licença de Operação concedida pelo COPAM [66] para tratar resíduos em seus fornos de clínquer são a CIMINAS e a Cauê, localizadas no Município de Pedro Leopoldo, e a SOEICOM, localizada no Município de Vespasiano, ambos na Região Metropolitana de Belo Horizonte.

Estão em processo de licenciamento a Itaú, localizada no Município de Itaú de Minas, e a Tupi, localizada no Município de Carandaí. A Paraíso, localizada no Município de Barroso, também está interessada em processar resíduos, mas está com o seu pedido de licença condicionado ao cumprimento da legislação ambiental estadual no que se refere às emissões de material particulado.

### 5.2.2 O Copam e a Feam

O licenciamento ambiental de atividades potencialmente poluidoras do meio ambiente no Estado de Minas Gerais é da competência do Conselho Estadual de Meio Ambiente - COPAM. A produção de cimento é considerada uma atividade de alto potencial poluidor e por isso está sujeita às regulamentações e às leis ambientais estabelecidas para o Estado de Minas Gerais.

Embora o COPAM não disponha ainda de uma regulamentação formalizada e aprovada para o tratamento de resíduos em fornos de clínquer [67], já existe alguma experiência no Estado de Minas Gerais, adquirida com o licenciamento e o controle ambiental das fábricas de cimento CIMINAS, Cauê e SOEICOM.

Nesses casos, o COPAM determinou que a Licença Prévia e a Licença de Instalação fossem concedidas por forno de clínquer. A Licença de Operação é concedida para resíduos gerados numa mesma unidade industrial, para possibilitar a análise de cada caso. Esta análise é baseada nas concentrações de constituintes, nos teores de umidade, porcentagem e composição química da fração inorgânica (cinzas), no estado físico e no poder calorífico de cada resíduo, além da temperatura do local onde eles serão alimentados no forno. É feita uma estimativa da emissão

---

[66] Em Minas Gerais, o tratamento térmico de resíduos em fornos de clínquer está sujeito ao Licenciamento de Atividades Poluidoras no COPAM.

[67] Sobre normatização em Minas Gerais ver 5.1.4.

de metais pela chaminé da fábrica de cimento, baseada em dados da literatura referentes aos índices de fixação desses elementos no clínquer. A taxa de alimentação do resíduo no forno é determinada por esses parâmetros, para garantir um nível de emissão adequado à manutenção da qualidade ambiental na região de influência do empreendimento. É exigido um teste de queima, com monitorização dos efluentes atmosféricos. Entretanto, este teste é único e as amostras são coletadas num intervalo de tempo pequeno, o que pode levar a resultados equivocados e muitas vezes não representativos das condições normais de processamento.

A proposta de Deliberação Normativa elaborada pela FEAM e que está sendo analisada pela Câmara de Poluição Industrial do COPAM contempla essas diretrizes.

### 5.2.3 Outros atores

Em relação ao transporte de resíduos , atuam o DNER, no âmbito federal, e o DER-MG, no âmbito estadual, que são responsáveis pela regulamentação, fiscalização e controle do transporte rodoviário em geral, o INMETRO, que é responsável pelo controle dos veículos destinados ao transporte de produtos perigosos e a ABNT.

Os resíduos provenientes de outras unidades da Federação estão sujeitos também à normas e regulamentações ambientais vigentes no Estado em que ele foi gerado, as quais nem sempre são iguais às determinadas pelo COPAM.

Ainda estão envolvidas as empresas geradoras dos resíduos, independentemente da sua localização, que são responsáveis pela destinação adequada dos resíduos e por quaisquer danos que esses materiais possam provocar.

A intermediação de todo procedimento é realizada pela empresa gestora de resíduos. As empresas gestoras de resíduos que atuam conjuntamente com as fábricas de cimento de Minas Gerais, que têm licença para processar resíduos, são a CSD-Geoclock, (São Paulo-SP) com a CIMINAS; a TECISAN - Técnica de Engenharia Civil e Sanitária Ltda (Belo Horizonte-MG) com a Cauê, a CRB Técnica Ambiental (Rio de Janeiro-RJ) com a SOEICOM e a TRANSFORMA (Curitiba-PR) com a Cimento Tupi.

O envolvimento dos diferentes atores com interesses no processamento de resíduos em fornos de clínquer nas fábricas de cimento instaladas em Minas Gerais é apresentado nos Quadros 5.2 e 5.3.

QUADRO 5.2 - Minas Gerais: Atores envolvidos no tratamento térmico de resíduos em fábricas de cimento

| ATORES | NOME |
|---|---|
| Fábricas de cimento licenciadas pelo COPAM | Ciminas - Pedro Leopoldo<br>Cauê - Pedro Leopoldo<br>Soeicom - Vespasiano<br>Tupi - Carandaí [1]<br>Itaú - Itaú de Minas [1] |
| Órgãos ambientais e outras instituições públicas | ESTADUAIS |
| | MG: COPAM e FEAM<br>SP: CETESB<br>RJ: FEEMA<br>BA: CRA [2]<br>Polícia Militar/ Corpo de Bombeiros<br>Polícia Rodoviária<br>DER-MG<br>Defesa Civil |
| | FEDERAIS |
| | MMA, CONAMA e IBAMA<br>ABNT<br>INMETRO<br>DNER |
| | MUNICIPAIS |
| | Prefeituras<br>CODEMAS |
| Empresas gestoras de resíduos | CSD-Geoclock - SP<br>TECISAN - MG<br>CRB - RJ<br>TRANSFORMA - PR |
| Empresas transportadoras | diversas empresas credeciadas junto aos órgãos responsáveis pelo transporte de produtos perigosos e licenciadas pelo COPAM |
| Populações direta e indiretamente envolvidas | .Populações dos Municípios de Pedro Leopoldo e Vespasiano.<br>.Populações dos Municípios de Barroso, Itaú de Minas e Carandaí (Pedra do Sino)[3]<br>.Populações dos municípios vizinhos, na RMBH;<br>.Populações de municípios, distritos ou vilas ao longo das rodovias por onde os resíduos são transportados |
| Trabalhadores diretamente envolvidos na produção e no uso do cimento | .Trabalhadores das fábricas de cimento<br>.Trabalhadores da construção civil |

(1) Em processo de licenciamento, não tendo ainda obtido Licença de Operação
(2) Centro de Recursos Ambientais da Bahia, autarquia vinculada à Secretaria de Planejamento, Ciência e Tecnologia do Estado da Bahia, com competência e atribuições voltadas para a preservação ambiental.
(3) Tão logo as fábricas de cimento instaladas nessas cidades sejam licenciadas pelo COPAM
Fonte: Elaboração própria

Outro aspecto muito interessante se refere à localização das empresas geradoras dos resíduos que têm licença para serem tratados nos fornos de clínquer das fábricas de cimento de Minas Gerais: 72% dos resíduos são gerados em indústrias paulistas; 18% são gerados em indústrias do Pólo de Camaçari, na Bahia; 4% são gerados em indústrias do Estado do Rio de Janeiro e somente 6% originados em indústrias localizadas em Minas Gerais.

QUADRO 5.3 - Empresas geradoras de resíduos tratados nas fábricas de cimento instaladas em Minas Gerais

| Empresa | Localização (Município/UF) | Tipo de atividade | Tipos de resíduos/ Classificação (NBR 10.004) |
|---|---|---|---|
| Brasimet | Contagem/MG<br>Campinas/SP | tratamento térmico de metais | sais de têmpera exauridos/ Classe I |
| Sandoz | Monte Mor/SP | produção de resinas acrílicas | lodo de ETE<br>borra de filtração de resina<br>borra de resina<br>resina fora de especificação |
| Sandoz - Rioquímica | Rio de Janeiro/RJ | produção de corantes a base de enxofre | lodo de ETE/ Classe I |
| Continental 2001 | São Paulo/SP | fabricação de eletrodomésticos | torta galvânica/ Classe I |
| Mercedes Benz | São Bernardo/SP<br>Campinas/SP | fabricação de caminhões e chassis para ônibus | borras de tinta<br>lodo de ETE<br>borra oleosa |
| Petroquímica União | Santo André/SP | produção de petroquímicos de segunda geração | borra oleosa/ Classe I |
| General Motors | São Caetano/SP<br>S. José dos Campos/SP | fabricação de automóveis | borra do tanque de soda/ Classe I<br>borra de fosfato/ Classe I<br>borra de desengraxante/ Classe I<br>borra de tratamento de óleo/ Classe I<br>lodo de ETE/ Classe II<br>borra de cera/ Classe I<br>borra de tinta/ Classe I<br>resíduo de limpeza de ralo/ Classe I<br>embalagens, panos e EPI's contaminados/ Classe I<br>borra de retífica/ Classe I<br>borra de retífica queimada/ Classe II |
| Rhodia | Paulínea/SP | produção de látex | borra de filtro<br>lodo de ETE/ Classe I |
| 3M | Sumaré/SP | produção de colas, fitas adesivas, esponjas, lixas etc | diversos (papel, fita adesiva, scotch-brite, lixas picadas)<br>resinas |
| Copene | Camaçari/BA | produção de petroquímicos de primeira geração (eteno, propeno, benzeno etc) | alcatrão/ Classe I<br>coque/ Classe I<br>polímero de isoprene/ Classe I<br>borra do silo/ Classe I<br>borra de quench/ Classe I<br>polímero de butadieno/ Classe I<br>caixa de areia/ Classe I<br>areia de quench/ Classe I<br>óxido de ferro com HC/ Classe I |
| Akzo-Nobel - Divisão de Tintas | Taboão da Serra/SP | produção de tintas para imóveis e automotivas à base de látex e resinas acrílicas | torta desidratada de ETE<br>filtros usados<br>areia<br>forração de cabine<br>estopa |
| Refripar | São Carlos/SP | galvanoplastia | lodo de ETE de galvanoplastia/ Classe I |
| Ind.Quím. Taubaté | Taubaté/SP | produção de fármacos e produtos químicos | lodo de ETE de unidades de polimerização, farmacêutica e ésteres/ Classe I |
| COFAP | Santo André/SP<br>Itajubá/MG | fabricação de peças e componentes automotivos | borra de retífica |
| Ceras Johnson | Rio de Janeiro/RJ | fabricação de ceras e produtos de limpeza | lodo de ETE/ Classe II |
| Petroquímica União | Santo André/SP | produção de petroquímicos de segunda geração | resíduos de derramamento de óleos tipo 5A e 6B |
| Usiminas | Ipatinga | indústria siderúrgica integrada | resíduos oleosos de bacias de contenção de efluentes da Laminação/ Classe I |

Fonte: Elaboração própria à partir de dados de diversos Processos COPAM (1989 à 1997)

O mapa da Região Sudeste, apresentado na Figura 5.1, mostra a região de origem e as possíveis rotas desses resíduos até os Municípios de Pedro Leopoldo e de Vespasiano, onde estão instaladas as fábricas da CIMINAS, CAUÊ e SOEICOM.

Os dados mostram que o Estado de Minas Gerais está se tornando um grande importador de resíduos gerados em outros Estados da Federação, sendo que o Estado de São Paulo é o principal centro exportador, fato perfeitamente explicado pelo porte do seu parque industrial e pelas ações pioneiras da CETESB.

O volume de resíduos gerados pelo parque industrial paulista, segundo o inventário de resíduos sólidos realizado pela CETESB em 1989 para 500 industrias da Região Metropolitana de São Paulo e 1.000 indústrias do Interior do Estado, contabiliza 48,5 milhões de toneladas de resíduos geradas por ano. O diagnóstico preliminar efetuado em 1995/96 sobre a origem dos resíduos sólidos das indústrias localizadas na Região Metropolitana de São Paulo mostra que 2,5 milhões de toneladas de resíduos industriais são geradas por ano, sendo que 188 mil são de resíduos Classe I (TARDELLI Fº, 1995).

Em levantamento realizado na UNICAMP no final de 1994, com o objetivo de avaliar os riscos técnicos coletivos ambientais na Região de Campinas (SEVÁ Fº, 1996), foi observado que indústrias automobilísticas, de eletrodomésticos, de móveis de aço, químicas e metalúrgicas, instaladas nessa região, despacham suas borras de tintas e suas lamas de estações de tratamento de efluentes "*para serem queimadas em fornos rotativos de clínquer, complementando os combustíveis tradicionais (carvão vegetal, óleo e coque) das indústrias de cimento no Rio de Janeiro (Cantagalo), Minas Gerais (Pedro Leopoldo, Barroso) e Paraná (Rio Branco do Sul)*".

Uma vez que os resíduos destinados ao tratamento nos fornos de clínquer apresentam algum grau de periculosidade, pode-se concluir que o Estado de Minas Gerais está se transformando em um importador de riscos[68] . O tratamento de resíduos em fornos de clínquer certamente se ampliará, uma vez que as novas opções tecnológicas oferecidas a uma fábrica de cimento sempre se propagam para todas elas. Isso é só uma questão de tempo.

[68] Os riscos podem estar associados diretamente ao resíduo, devido as suas características físico-químicas e periculosidade, ou originados na transferência da periculosidade através das emissões atmosféricas das chaminés das fábricas de cimento, ou mesmo ao próprio cimento fabricado através de processamento que inclui o tratamento de resíduos.

### 5.2.4 As populações

As dez fábricas de cimento de Minas Gerais estão instaladas em nove municípios, sendo que na maioria deles elas estão muito próximas aos núcleos populacionais. Além disso, na maioria desses municípios há outros empreendimentos industriais que também colaboram para a degradação da qualidade ambiental e, consequentemente, da qualidade de vida das pessoas. Não foram encontrados estudos que evidenciassem qual o número de pessoas que vive nas áreas de influência das fábricas de cimento e está diretamente exposto aos impactos gerados pelo processamento industrial.

Para delimitar, mesmo que de forma grosseira, o universo de pessoas envolvidas, apresenta-se na Tabela 5.1 a população dos municípios mineiros onde as fábricas de cimento estão instaladas. Entretanto, a fábrica da CMOC-Uberaba, instalada no Distrito de Ponte Alta está há cerca de 30 km de núcleos populacionais (Processo COPAM/PA/Nº157/93). Em todos os outros municípios, as fábricas são vizinhas dos centros urbanos. Como exemplo, cita-se a fábrica da Cimento Tupi, que se encontra instalada a apenas 1 km do núcleo populacional do Distrito de Pedra do Sino, tornando essa localidade "*potencialmente vulnerável às emissões atmosféricas* ". (Processo COPAM/PA/Nº 71/79).

TABELA 5.1 - Minas Gerais: População dos muncípios onde estão instaladas fábricas de cimento

| MUNICÍPIO | POPULAÇÃO |
|---|---|
| Arcos | 29.637 |
| Barroso | 18.645 |
| Carandaí | 20.307 |
| Itaú de Minas | 12.336 |
| Matozinhos | 26.722 |
| Montes Claros | 271.608 |
| Pedro Leopoldo | 47.342 |
| Uberaba | 237.433 |
| Vespasiano | 60.952 |

Fonte: IBGE (1997)

## 5.3 INDUSTRIALIZAÇÃO E PROBLEMAS DE SAÚDE

Dirige-se a atenção para as relações complexas entre a saúde, o trabalho, o modo de vida e os meios de produção para se ganhar alguma compreensão sobre um lado da atividade industrial que muito raramente vem à luz.

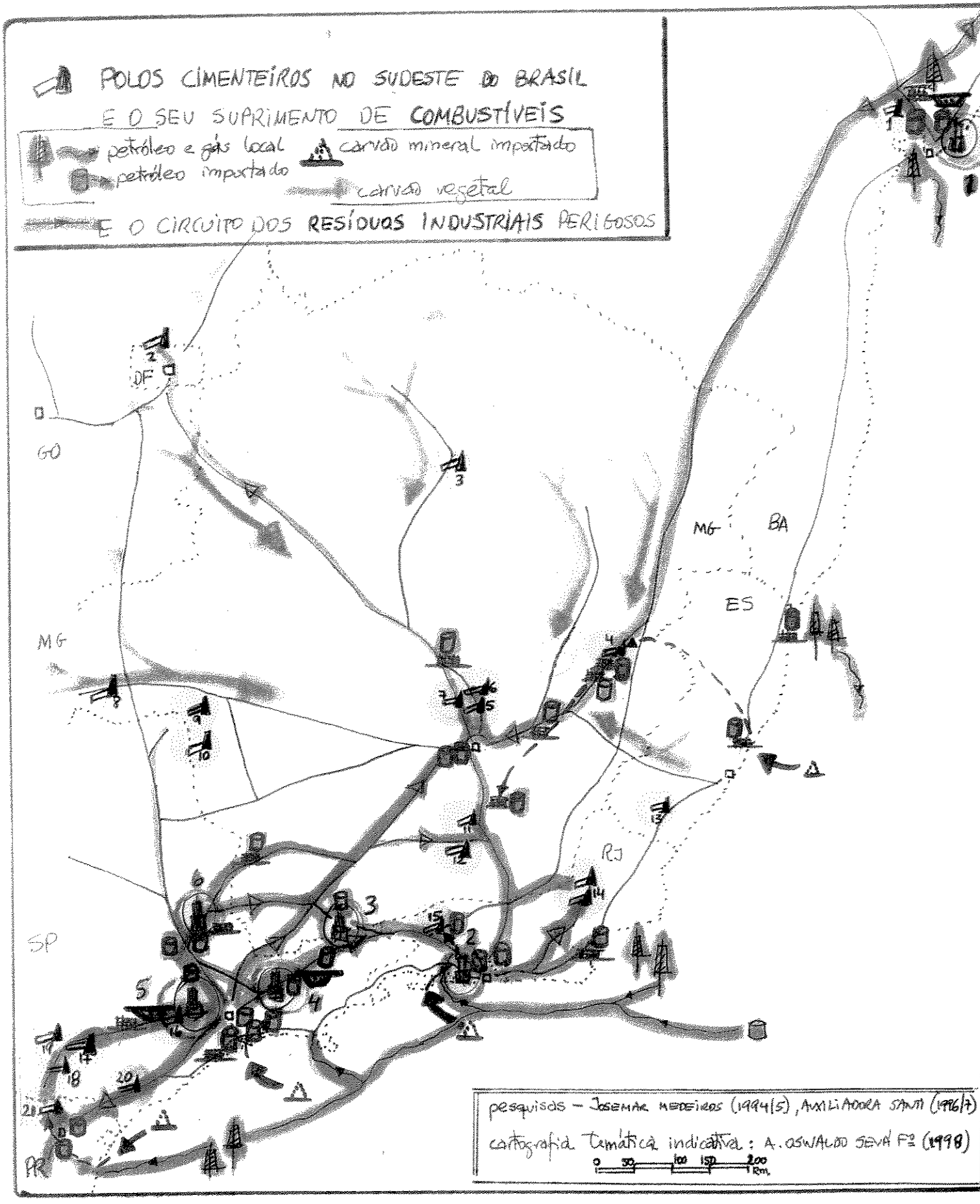



FIGURA 5.1 - Pólos cimenteiros no Sudeste do Brasil e o seu suprimento de combustíveis

Fonte: Elaborado por A.Oswaldo Sevá Fº (1997)

**POLOS CIMENTEIROS**

1- Aratu, BA
2- Tocantins, DF
3- Montes Claros, MG
4- Mesquita, MG
5- Vespasiano, MG
6- Pedro Leopoldo, MG
7- Matozinhos, MG
13- Cach. Itapemirim, ES
8- Uberaba, MG
9- Arcos, MG
10- Itaú de Minas
14- Cantagalo, Cordeiro RJ
11- Carandaí, MG
12- Barroso, MG
15- Volta Redonda, RJ
16- Salto/Votorantim, SP
17- Capão Bonito
18- Apiaí, SP
19- Itapeva, SP
20- Cajati, SP
21- Rio Branco do Sul, PR

## RESÍDUOS INDUSTRIAIS PERIGOSOS

das classes I e II de risco tóxico, produzidos em dezenas de instalações:

- **borras oleosas**
  da extração/perfuração de petróleo
  dos terminais de óleo cru e de derivados
  das refinarias de petróleo
  das plantas petroquímicas
  das coquerias das siderúrgicas
- **alcatrão das coquerias**
- **borras de retíficas/usinagens e tratamentos de metais**
  das metalúrgicas, fabricantes de peças e montadoras.
- **borras de tintas com solventes e pigmentos metálicos**
  das montadoras de eletro-eletrônicos e de veículos.
- **lodos de estações de tratamento de efluentes**
  de galvanoplastias, de metalúrgicas, de ind. químicas
- **aparas e cortes de resinas, borrachas, pneus usados**
- **coque de petróleo** obtido de resíduos ultra-viscosos nas refinarias de Cubatão e de Betim.

e que, há mais de dez anos vêm sendo **queimados** nos fornos rotativos de algumas cimenteiras em MG, SP, RJ e PR.

Além disso, os resíduos são dispostos em bota-foras, pirâmides de escórias, e parques de tambores. E são **incinerados** em alguns incineradores licenciados -ou **enterrados** em alguns aterros licenciados.

**INCINERADORES LICENCIADOS DE RESÍDUOS PERIGOSOS**

1 CETREL, Polo de Camaçari, BA
2 BAYER, Belford Roxo Baixada Fluminense, RJ
3 BASF, Guaratinguetá, SP
4 HOECHST, Suzano, Região Metrop. SP
5 CIBA-GEIGY, Taboão da Serra, RMSP
6 ELANCO, Cosmópolis Região de Campinas, SP
[7] e, não representado no mapa, um inciner. de grande porte no Polo Químico de ALAGOAS

**ALGUMAS CONCENTRAÇÕES CONHECIDAS DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS** [bota-fora, pirâmides de escória e parques de tambores]

- POLO DE CAMAÇARI E METALÚRGICAS DO RECÔNCAVO
- INSTALAÇÕES PETROLÍFERAS NO RECÔNCAVO, SÃO MATEUS (ES) NORTE FLUMINENSE E BACIA DE SANTOS/PARANAGUÁ
- USIMINAS, CST, ACESITA, BELGO, AÇOMINAS, CSN, COSIPA, GUSEIROS...

**ATERROS**
Camaçari; Engenho de Melo, SP; Sorocaba, SP

De modo geral, a um empreendimento industrial de grande porte estão associados "*problemas muito concretos, graves, nos quais os cidadãos intervêm como trabalhadores de uma instalação arriscada e perigosa, como vizinhos de uma indústria poluidora que incomoda muita gente, como usuários de um produto ou um serviço que pode ameaçar a saúde ou a integridade*" (SEVÁ Fº, 1996).

Apesar da sua extensão e da sua importância social e econômica, a relação entre a industrialização e os problemas de saúde dos trabalhadores e das populações é marcada pela escassez e pela imprecisão das informações e pela falta de dados e de análises estatísticas.

Essa constatação é um indicador de que, apesar de sua relevância, a questão das relações entre o capital e o homem no Brasil tem sido sempre tratada de maneira assimétrica.

Aponta-se algumas pistas sobre os impactos negativos sobre a saúde dos trabalhadores diretamente envolvidos com a produção e o uso sistemático do cimento a partir de algumas informações sobre as doenças profissionais que acometem os trabalhadores das fábricas de cimento e da construção civil e de alguns dados estatísticos fornecidos pelo Núcleo de Referência em Doenças Ocupacionais da Previdência Social - NUSAT[69] e pelo Núcleo de Vigilância à Saúde do Trabalhador - NUVIST, da Secretaria Municipal de Saúde de Belo Horizonte, disponíveis para sua Região Metropolitana.

Faz-se um esboço do quadro dos efeitos da poluição de uma fábrica de cimento sobre a população a partir de investigações realizadas por MANTUS (1992) nos Estados Unidos.

### 5.3.1 Sobre a saúde dos trabalhadores

O Quadro 5.4 apresenta um painel sobre os efeitos toxicológicos do cimento, considerando as patologias, os sintomas, os testes de diagnósticos, as seqüelas e as medidas preventivas.

As duas principais doenças que acometem os trabalhadores da indústria de cimento são a PAIR - Perdas Auditivas Induzidas pelo Ruído, decorrentes da exposição ao ruído excessivo[70], e as doenças causadas pela exposição às poeiras geradas nas diversas etapas do processamento industrial, desde a extração do calcário nas pedreiras até o ensacamento do cimento (NUSAT, entrevista, 1997).

---

[69] Atualmente, Minas Gerais é único Estado que conta com um Núcleo de Referência em Doenças Ocupacionais da Previdência Social, NUSAT- INSS/MG, em atividade (NUSAT, entrevista, 1997).

[70] A NR -15 do Ministério do Trabalho estabelece o limite de 85 decibéis, para uma jornada de trabalho de 8 horas.

QUADRO 5.4 - Efeitos toxicológicos do cimento

| | |
|---|---|
| Patologias | . irritante<br>. sensibilização ao cromo, cobalto e niquel, que entram no cimento através das matérias primas |
| Sintomas | . conjuntivite<br>. queimadura nas córneas<br>. gastrite crônica<br>. perfuração do sépto nasal<br>. dermatite vesicular complicada pela sensibilidade ao cromo hexavalente<br>. irritação da pele, por contato<br>. bronquite, depois de muitos anos de exposição<br>. enfisema, depois de muitos anos de exposição |
| Testes de diagnóstico | . teste de contato positivo ao bicromato de potássio<br>. os raios X podem apresentar sombras lineares exageradas se houver longa exposição ao pó de cimento bruto ou misturado |
| Seqüelas | . a alergia ao bicromato pode ser permanente |
| Medidas preventivas | . ventilação adequada<br>. luvas protetoras<br>. máscaras<br>. luvas e botas de borracha<br>. impedir que indivíduos que se mostraram alérgicos ao cromato sejam expostos novamente ao cimento |

Fonte: PLUNKETT (1974)

A exposição ao ruído excessivo causa problemas à saúde de natureza fisiológica, psicológica e somática, evidenciados na perda auditiva irreversível, além de outros sintomas como insônia, irritabilidade, desatenção e elevação da pressão arterial. "*O ruído é um problema gravíssimo dos ambientes de trabalho. Os principais e primeiros efeitos no trabalhador se dão nas frequências mais altas, para depois atingir a perda da audição na frequência da voz humana, que faz com que os diagnósticos ocorram apenas com o trabalhador quase surdo*" (INST, 1992).

Entre os quadros patológicos que os trabalhadores expostos às poeiras podem apresentar, estão as enfermidades do aparelho respiratório, sendo as mais freqüentes as bronquites crônicas associadas ao enfisema, com diminuição da função pulmonar, as enfermidades da pele e os transtornos à visão (BAPTISTA, 1995). Como o pó de cimento tem uma textura muito fina, cerca de 50% das partículas que o constituem, ao serem inaladas, podem atingir os alvéolos pulmonares.

Não há consenso se a exposição ao cimento causa o aparecimento de câncer pulmonar, entretanto a exposição a altas concentrações de cimento pode ser relacionada com o desenvolvimento de câncer estomacal e intestinal (MANTUS, 1992).

O cimento é muito irritante para a pele, pois é abrasivo, higroscópico e altamente alcalino. Em condições especiais de contato com a pele, produz ulcerações rasas e também profundas. As patologias mais comuns compreendem a dermatite de contato por irritação, que ocorre com maior freqüência, e a dermatite de contato alérgica, provocada por uma sensibilização de natureza alérgica ou pela agressão do cromo hexavalente e do cobalto[71] . A sensibilização ocorre mesmo quando a concentração de cromato é de cerca de 2 ppm, sendo que os trabalhadores das áreas de moagem e ensacamento de cimento das fábricas e os operários da construção civil são os mais afetados (ALI, 1994; BAPTISTA, 1995).

As dermatites irritativas podem ser prevenidas pelo uso de equipamentos de proteção individual, são de tratamento simples e o trabalhador pode voltar ao trabalho após curado. Entretanto, no caso das dermatites alérgicas, os trabalhadores sensibilizados ao cimento são tratados e retornam ao trabalho, mas o contato com o agente sensibilizante produz novas recidivas das lesões dermatológicas, impondo novo afastamento das atividades profissionais. Um quadro clínico de cronicidade das dermatoses alérgicas pelo cimento leva à incapacitação ao trabalho, impondo a mudança da atividade profissional.

No Brasil, devido ao grande número de trabalhadores analfabetos e semi-alfabetizados na construção civil e que, portanto, tem pequena qualificação profissional, essa mudança nem sempre é possível. Assim, estabelece-se um processo para a formação de um quadro de exclusão social (ALI, 1994; NUSAT, entrevista, 1997).

Os acidentes de trabalho constituem outro parâmetro importante das relações entre o trabalho na indústria e a saúde dos trabalhadores.

Do Relatório Anual do NUSAT-INSS/MG para 1995, os seguintes dados e informações relativas ao Estado de Minas Gerais foram destacados (NUSAT, 1995):

I. *Nos últimos dez anos, os acidentes de trabalho típicos [72] apresentaram uma queda acentuada, com um ligeiro acréscimo em 1994, de 2,5%, e no total de acidentes registrados em 1995 houve um acréscimo de 8,5% em relação à 1994. Apesar dessa queda, o índice de acidentes ainda é elevadíssimo, principalmente se se considera que a população coberta pela Previdência Social está restrita às pessoas empregadas com carteira assinada, não incluindo aquelas que trabalham no setor informal [73]. No período analisado, ocorreram 636.083 acidentes de trabalho típicos.*

---

[71] A presença de cromo e de cobalto como impurezas no cimento e como fonte de sensibilização é fato comprovado (ALI, 1994).

[72] Acidentes de trabalho típicos são acidentes ocorridos no local de trabalho, aqueles que traduzem uma interrupção súbita no processo, traumática para o trabalhador sujeito ao risco específico (INST, 1992).

[73] Estima-se um sub-registro em torno de 50% dos casos (NUSAT, 1995).

*No período de 1993 a 1995, houve um crescimento do número de acidentes de trabalho liquidados*[74] *que resultaram em incapacitação permanente e óbito, reforçando a tese do sub-registro ou falta de notificação de acidentes de trabalho ao INSS. Nos últimos dez anos ocorreram 782.729 acidentes liquidados, sendo que 13.118 trabalhadores ficaram incapacitados para o trabalho, 586.246 apresentaram incapacidade temporária e 3.868 faleceram.*

II. *Nos últimos anos ocorreu um crescimento acelerado no número de registros em relação às doenças profissionais e do trabalho. Em relação à 1994, este crescimento foi da ordem de 78% , o que pode estar associado a uma conjunção de fatores tais como a maior oferta de serviços voltados à atenção médica global dos trabalhadores, resultando na possibilidade de acesso a diagnósticos, com os quais não contavam antes para a identificação dessas patologias, e a melhor formação e treinamento dos profissionais da área de saúde e trabalho. Além disso, ocorreram o aumento dos riscos, a deterioração das relações de trabalho e a falta de investimentos na prevenção dos fatos geradores de doenças profissionais, bem como a maior informação dos trabalhadores e suas representações e da população em geral no que diz respeito ao tema saúde e trabalho.*

III. *Dados dos atendimentos segundo o diagnóstico mostram um número elevadíssimo de trabalhadores com LER - Lesões por Esforços Repetitivos -, 1.160 casos, o que representou um crescimento em mais de 100% em relação ao ano de 1994. Cerca de 40% desses casos envolveram trabalhadores com 2º Grau completo e cerca de 15% trabalhadores com nível superior. Em segundo lugar destacam-se as PAIR - Perdas Auditivas Induzidas pelo Ruído -, com 255 casos. Cerca de 51% desses casos envolveram trabalhadores com até quatro anos de escolaridade e cerca de 34% com cinco até oito anos de escolaridade.*

IV. *As outras doenças profissionais apresentaram-se em número bastante reduzido, destacando-se a silicose, 38 casos, a dermatite de contato, 31 casos, benzenismo e leucopenia, 31 casos e o saturnismo, 13 casos.*

*Frente a esses números tão reduzidos, o Relatório do NUSAT para 1995 coloca a pergunta: "Este número reflete a falta de notificação e registro decorrente do desconhecimento e/ou da falta de vigilância, ou é decorrente de melhorias significativas nas condições ambientais de trabalho?".*

---

[74] Acidentes de trabalho liquidados são os acidentes totalizados segundos suas conseqüências, sem especificar a natureza das lesões que as determinaram e que variam muito, podendo vir de uma simples assistência médica, como ficar temporariamente incapacitado para suas atividades laborativas, ou ainda, apresentar lesões irreparáveis, levando à incapacitação permanente para o exercício das funções anteriores e o acidente fatal (NUSAT, 1995).

Os atendimentos por dermatite de contato representaram 1,85% do total de atendimentos, com 31 casos registrados. A maioria deles atingiu trabalhadores do sexo masculino, cerca de 81%; com idade entre 30 e 49 anos, cerca de 80%; com pequena escolaridade, de 1ª a 4ª série, cerca de 52%; com salários na faixa entre 2 e 3 mínimos, cerca de 42%, sendo que a maioria era constituída por trabalhadores da construção civil, cerca de 33%. As atividades de maior risco foram as de pedreiro e de servente de pedreiro. Com relação à distribuição dos diagnósticos segundo o tempo na atividade, a maioria apresentou mais de 14 anos, vindo em segundo lugar a faixa de 4 a 9 anos na função.

A Tabela 5.2 apresenta dados sobre a distribuição dos atendimentos de dermatite de contato registrados no INSS, relativos ao Estado de Minas Gerais, para o ano de 1995.

TABELA 5.2 Minas Gerais: Distribuição dos atendimentos devido a Dermatite de Contato - 1995

| RAMO DE ATIVIDADE | FUNÇÃO | FREQUÊNCIA |
|---|---|---|
| Construção Civil | pedreiro | 10 |
| Siderurgia/ Metalurgia | operador de máquina | 1 |
| | auxiliar de serviços gerais | 1 |
| | operador sistema reversão | 1 |
| | mandrilhador | 1 |
| Ind. Material de Transporte | pintor | 2 |
| Condomínio | pedreiro | 1 |
| Cooperativas | servente | 1 |
| Hospitalar | atendente enfermagem | 1 |
| | lavanderia | 1 |
| | serviços gerais | 2 |
| Extração Mineral | mecânico | 1 |
| | encanador | 1 |
| Locação de Mão-de-obra | faxineira | 2 |
| Indústria Química | auxiliar de serviço | 1 |
| Serviço de Transporte | artífice de via | 1 |
| Comércio Varejista | pedreiro | 1 |
| Serviços Ind. Utilidade Pública | servente de pedreiro | 1 |

Fonte: NUSAT (1995)

Alguns trechos do Relatório Anual do NUSAT foram transcritos, pois são apropriados para descrever uma face das relações complexas entre o capital e o trabalho no Brasil (NUSAT,1995):

"*No cotidiano do atendimento ao trabalhador portador de doença profissional, várias constatações são facilmente evidenciadas:*

*I. As políticas de administração e gerenciamento de Recursos Humanos, ora protegidas pelo manto da "Qualidade Total", priorizam, com raras exceções, o produto final e o aumento da produtividade, sem a necessária preocupação com a qualidade dos ambientes de trabalho,*

*prevenção de doenças e do desgaste do trabalhador, este, ameaçado pelo fantasma do desemprego, mal informado, sujeita-se a condições de trabalho que afetam sua saúde.*

*II. Grande parte das empresas descumpre a legislação vigente no Brasil no que se refere à Saúde e Segurança no Trabalho. A impunidade realimenta esta situação anômala. SESMTs (Serviços de Segurança e Medicina do Trabalho) e CIPAs (Comissões Internas de Prevenção de Acidentes) pouco têm atuado no campo da prevenção das doenças e acidentes do trabalho, objetivo primordial de suas criações.*

*III. Os órgãos públicos, apesar do total sucateamento de muitos, necessitam de ampla reformulação e reorganização visando:*

*a) elaborar um fluxo de atendimento ao trabalhador nos seus diversos níveis de ação;*

*b) implantar e/ou ampliar as ações de vigilância, criando um banco de dados centralizado, disponível a todos os usuários, fundamental no planejamento e execução de medidas preventivas;*

*c) como órgão segurador, o INSS necessita integrar suas diversas linhas, implantar e/ou incentivar a implantação de ações de prevenção, distinguir empresas que geram maior ou menor risco, promover ações regressivas, quando justificadas"...*

*... "A dura realidade a que se vê submetida boa parte dos trabalhadores brasileiros tem sido retratada nos relatos dos diversos profissionais atendidos pelo NUSAT através de Grupos Informativos*[75]*. Nesses relatos, os trabalhadores não só denunciam a desumanização da forma de produção do sistema capitalista, bem como trazem, explícita ou implicitamente, um pedido de ajuda para a compreensão das repercussões psicossociais de sua doença e por alguma forma de atendimento que possibilite modificar ou minorar tal situação ".*

Os maiores registros de Doenças Profissionais ocorridos no Estado foram para os Municípios de Belo Horizonte, com 1.963 registros, correspondendo a um crescimento de cerca de 78% , em relação à 1994; Contagem, com 751 registros, correspondendo a um crescimento de cerca de 54% em relação à 1994; Betim, com 508 registros, correspondendo a um crescimento de 136% em relação à 1994 e Uberlândia, com 419 registros, correspondendo a um crescimento de 113% em relação à 1994.

[75] Projeto de Atendimento Psicológico do NUSAT, em execução desde outubro de 1995.

Na Região Metropolitana de Belo Horizonte, como em outros locais do País, não existe um sistema de informação plenamente estruturado que esteja subsidiando a vigilância à saúde do trabalhador. Diante disso, o Núcleo de Vigilância à Saúde do Trabalhador da Secretaria de Saúde de Belo Horizonte, o Serviço de Saúde do Trabalhador da Prefeitura Municipal de Betim e o Centro de Referência em Saúde do Trabalhador da Prefeitura Municipal de Contagem propuseram um sistema para notificação de doenças profissionais e do trabalho identificadas nesses serviços, que começou a funcionar em agosto de 1995 (NUVIST, entrevista, 1997).

Alguns resultados, referentes ao período entre agosto e dezembro de 1995, para a Região Metropolitana de Belo Horizonte, mostram que a LER foi o diagnóstico mais freqüente, com cerca de 86% dos casos, seguida pela PAIR, com cerca de 9%, enquanto que as notificações por dermatites ocupacionais somaram 16 casos, cerca de 2%, num total de 1.004 casos (NUVIST, 1996).

Foram feitas 28 notificações relacionadas à Indústria de Produtos Minerais Não-Metálicos, grupamento onde a indústria de cimento está inserida, cerca de 3% do total de notificações, e 12 notificações relacionadas à construção civil, cerca de 2%.

Segundo a Delegacia Regional do Trabalho em Minas Gerais - DRT-MG/MTb, órgão do Ministério do Trabalho, não existe estatística sobre o número de acidentes e as respectivas causas para as indústrias de cimento e de construção civil do Estado, e também não existe estatística sobre as causas das demissões nessas indústrias.

A Tabela 5.3 foi construída a partir de dados fornecidos pela DRT-MG/MTb, por dados obtidos nos Processos COPAM e por informações contidas nos questionários respondidos pelas fábricas de cimento.

Os dados mostram que algumas fábricas estão operando com trabalhadores próprios e de empreiteiras. Esta informação ainda não foi quantificada pelo Ministério do Trabalho. Segundo a DRT-MG/MTb, nos últimos anos diminuiu o quadro de trabalhadores próprios das fábricas, motivado pelo aumento do número de horas extras e a terceirização de serviços (DRT-MG/MTb, entrevista, 1997).

As duas alternativas levam ao agravamento dos riscos no trabalho e dos riscos ambientais. De modo geral, "*são atribuídas às empreiteiras tarefas de manutenção técnica que influem muito na segurança das instalações. Além disso, fica muito mais difícil o acompanhamento das condições de trabalho e a apuração das responsabilidades em casos de doenças ocupacionais e de acidentes.*" (INST, 1992). Os empregados das empreiteiras, que normalmente são menos treinados

e experientes que os empregados próprios das fábricas, estão mais expostos aos riscos associados à função que exercem.

TABELA 5.3 Minas Gerais: Número de empregados nas indústrias de cimento

| FÁBRICA | NÚMERO DE EMPREGADOS DRT - 1995 | NÚMERO DE EMPREGADOS [1] | | |
|---|---|---|---|---|
| | | DA FÁBRICA | DE EMPREITEIRAS | ANO |
| Cauê - Pedro Leopoldo | 490 | | | |
| Ciminas - Pedro Leopoldo | 255 | | | |
| Mauá - Matozinhos | 272 | | | |
| Soeicom - Vespasiano | 430 | 388 | | 1997 |
| Paraíso - Barroso | 733 | 714 | 300 | 1994 |
| Tupi - Carandaí | 234 | 178 [2] | 100 [2] | 1997 |
| CMOC - Arcos | 73 | 100 | | 1995 |
| CMOC - Uberaba | 100 | 109 [2] | | 1997 |
| Itaú - Itaú de Minas | 436 | | | |
| Matsulfur - Montes Claros | 279 | 217 [2] | | 1997 |
| TOTAL | 3.302 | | | |

(1) Processos COPAM e questionários
(2) Dado fornecido pela empresa em resposta ao questionário
Fonte: DRT-MG/MTb (1995), Processos COPAM (diversos) , questionários (1997)

Segundo a DRT-MG/Mtb, também não há dados sobre os acidentes que ocorrem com os trabalhadores das empreiteiras, mas "*já está identificada a tendência de aumento do número de acidentes de trabalho em empresas que contratam serviços de terceiros* ". (DRT-MG/MTb, entrevista, 1997).

O número total de acidentes nas fábricas está aumentando, entretanto, a terceirização dos serviços tem levado a uma diminuição do número de acidentes envolvendo os empregados próprios das fábricas. O que é mais notável, é que isso vem sendo usado pelas empresas para pressionar a DRT-MG/MTb a fim de reduzir o grau de risco inerente às suas atividades (DRT-MG/MTb, entrevista, 1997).

Com relação à utilização de resíduos como combustíveis complementares nos fornos de clínquer é importante destacar que, embora apresentem características operacionais básicas para o tratamento térmico de resíduos, esses equipamentos não foram projetados com essa finalidade. Além disso, as fábricas de cimento não dispõem de instalações adequadas que permitam o desenvolvimento das atividades relacionadas ao tratamento térmico de resíduos de forma rotineira (MAGANHA et al., 1996).

De modo geral, os trabalhadores das fábricas de cimento não recebem treinamento adequado para manusear resíduos perigosos e operar a planta de cimento quando esses materiais estão sendo processados.

Com a terceirização dos serviços, principalmente os de manutenção, os riscos do trabalho e os riscos ambientais em uma fábrica de cimento processando resíduos perigosos aumenta ainda mais.

### 5.3.2 Sobre a saúde das populações

A industrialização de uma região, ou a instalação de uma indústria de grande porte num determinado local sempre impõe um novo ritmo e novas condições de vida à população de sua área de influência. Isso gera impactos "*na configuração epidemiológica do lugar*[76]" (INST, 1992).

As fábricas de cimento são empreendimentos de grande porte, que através de emissões atmosféricas, provocam o aumento dos casos de doenças respiratórias, dos olhos, do aparelho digestivo e da pele.

As considerações sobre a saúde pública ganham uma nova componente com a utilização de resíduos como combustíveis complementares em fornos de clínquer, que pode ser colocada na seguinte e importante pergunta: Os efluentes atmosféricos emitidos pelas plantas de cimento que processam resíduos podem ser uma ameaça à saúde das populações no entorno do empreendimento ?

Para responder a esta pergunta, utiliza-se do trabalho de investigação realizado por MANTUS (1992), para fábricas de cimento instaladas nos Estados Unidos.

A exposição da população aos materiais processados ou produzidos numa fábrica de cimento pode ocorrer em quatro situações: através das emissões da chaminé, pelo pó coletado nos precipitadores eletrostáticos, através do próprio cimento ou durante o transporte de materiais.

Mesmo diante dessas possibilidades e mesmo depois de décadas de operação e exposição das populações às emissões das fábricas de cimento, os Estados Unidos ainda "*não realizaram estudos clínicos ou epidemiológicos para avaliar os efeitos da produção de cimento sobre a saúde pública*" (MANTUS, 1992).

---

[76] "Vigilância Epidemiológica é o estudo da distribuição de uma doença ou de uma condição fisiológica em populações humanas e dos fatores que influenciam esta distribuição. Enquanto que o raciocínio clínico baseia-se em sinais e sintomas de doença no organismo de um indivíduo, a Epidemiologia o faz através de levantamento, análise e interpretação de coeficientes. taxas, índices e razões, instrumentos indicadores do estado de saúde de uma população" (PAULO, 1995).

Os estudos realizados apontam *"que os problemas de saúde pública relacionados com a queima de resíduos em fornos de clínquer operados adequadamente não sejam diferentes daqueles associados com o uso de combustíveis tradicionais"* (MANTUS, 1992).

As emissões da chaminé das plantas de cimento são constituídas basicamente pelos materiais particulados, pelos metais e pelos compostos químicos orgânicos não queimados[77] .

Uma vez emitidos pela chaminé, os poluentes são diluídos pelo ar e podem ser transportados como uma pluma. A topografia local e as condições meteorológicas, tais como a velocidade e a direção dos ventos, são os fatores mais importantes que afetam a direção do transporte, a diluição e a forma da pluma emitida. As concentrações de poluentes, às quais a população poderá ficar exposta, dependem da quantidade emitida, da extensão da dispersão no ar e da deposição dos poluentes no solo e em corpos d'água e são influenciadas pelas ações da gravidade, dos ventos e das chuvas.

Os poluentes que permanecem no ar por tempos mais longos constituem as maiores fontes de exposição da população às emissões das fábricas. Os gases remanescentes e as partículas em suspensão podem ser inalados ou entrar em contato direto com a pele, provocando doenças nas pessoas.

O contato com os poluentes emitidos pelas fábricas também pode ocorrer por via indireta, através da ingestão de água contaminada e de alimentos cultivados em ambientes contaminados.

A exposição das populações ao pó de cimento[78] é motivo de grande preocupação devido à presença de sílica livre nesse material. Entretanto, os trabalhadores das fábricas de cimento são os mais afetados pelo pó [79] , quando ele é suspenso no ar por ação dos ventos e, principalmente, durante as atividades de manutenção. A exposição da população é menor e ocorre devido ao arraste do material pelo vento para fora dos limites das fábricas. As pessoas são contaminadas por inalação, ingestão e contato do pó com a pele.

---

[77] Nos Estados Unidos são considerados dez elementos, regulados através do BIF - Burning of Hazarddous Waste in Boilers and Industrial Furnaces, publicado em 21 de fevereiro de 1991, no Federal Register e transcrito no CRF 40 - Part 266.100. Quatro deles são carcinogênicos: arsênio, berílio, cádmio e cromo hexavalente. Os outros seis são considerados não-carcinogênicos: antimônio, bário, chumbo, mercúrio, prata e tálio.

[78] O pó de cimento é constituído pelo material particulado emitido pela chaminé (CKD).

[79] Em geral, os efeitos adversos mais sérios do pó de cimento estão extensamente relacionados à presença de sílica livre, pois sua concentração pode variar de 4 a 6% e a sílica livre é o fator principal de doenças pulmonares em exposições ocupacionais. A sílica livre é tóxica para o sistema imunológico das células pulmonares e provoca silicose (MANTUS, 1992).

O teor de sílica do pó de cimento está diretamente relacionado com o teor de sílica das matérias-primas. Assim, é esperado que os efeitos potenciais sobre a saúde da população por exposição à sílica do pó de cimento devam ser independentes do tipo de combustível empregado.

O pó de cimento mantém inertizado os metais que estavam contidos nos combustíveis empregados na fabricação de cimento e que se transferiram para a massa reagente. Os riscos da exposição da população aos metais contidos no pó de cimento emitido pelas chaminés das fábricas são um problema de saúde pública. Entretanto, os dados não são suficientes para determinar se os metais contidos no pó de cimento, provenientes dos resíduos, diferem dos metais no pó produzido com a queima de combustíveis convencionais, embora tenha sido observado o aumento da concentração de certos elementos como berílio, cádmio, chumbo e enxofre no pó de cimento produzido quando resíduos perigosos são processados (MANTUS, 1992).

Igualmente importante é o potencial de lixiviação dos elementos contidos no pó de cimento coletado no precipitador eletrostático. A USEPA desenvolveu o "*Toxicity Characteristic Leaching Procedure - TCLP*" para estimar o potencial de uma substância ser lixiviada de uma matriz tal como o solo ou o concreto (USA, CFR 40, Part 261, 1992).

As concentrações máximas permitidas pelo TCLP estão apresentadas na Tabela 5.4 e correspondem a limites baseados em padrões de saúde[80].

O problema do pó de cimento coletado nos precipitadores eletrostáticos decorre da sua disposição inadequada, o que pode ocasionar a contaminação de águas superficiais e subterrâneas, com a elevação do pH para níveis inaceitáveis, excedendo aos padrões de qualidade das águas destinadas ao abastecimento público. Além disso, a fábrica que dispõe inadequadamente o pó de cimento coletado pode provocar elevadas concentrações de certos metais nos corpos d'água e no solo. Isso é agravado porque as fábricas estão instaladas em regiões de rochas calcárias.

Os efeitos mais extensos sobre a saúde da população estão associados à exposição ao cimento devido a sua utilização. A exposição ao cimento e ao concreto podem causar problemas de saúde pública devido à possibilidade da transferência dos metais incorporados ao cimento, que pode ser agravado quando fabricado com a queima de resíduos normalmente contaminados com concentrações elevadas dessas substâncias.

---

[80] A Norma NBR 10.004 também define padrões de concentração de poluentes para os extratos obtidos nos testes de lixiviação (Listagem nº 7) e solubilização (Listagem nº 8) realizados em amostras de resíduos sólidos.

TABELA 5.4 - Concentrações de metais permitidas pela USEPA para testes de lixiviação - "TCLP extract"

| METAL | CONCENTRAÇÃO PERMITIDA (ppm) |
|---|---|
| antimônio | 1 |
| arsênio | 5 |
| bário | 100 |
| berílio | 0,007 |
| cádmio | 1 |
| cromo | 5 |
| chumbo | 5 |
| mercúrio | 0,2 |
| níquel | 70 |
| selênio | 1 |
| prata | 5 |
| tálio | 7 |

Fonte: USEPA, 1991 p.7234. Appendix VII, citado por MANTUS (1992)

Nos Estados Unidos, os níveis aceitáveis de metais no cimento Portland foram estabelecidos a partir dos limites de exposição ocupacional fixados pelas agências reguladoras competentes, porque os estudos disponíveis tratam com mais freqüência das doenças ocupacionais do que do efeito do cimento na saúde das populações. Esses limites estão apresentados na Tabela 5.5.

TABELA 5.5 - Limites de concentração de metais no cimento Portland comercializado nos Estados Unidos

| METAL | NÍVEL ACEITÁVEL (1) (ppm) | CIMENTO PORTLAND (ppm) |
|---|---|---|
| antimônio | 50.000 | 2,4 |
| arsênio | 200 | 19 |
| bário | 50.000 | 280 |
| berílio | 50 | 1,1 |
| cádmio | 1.000 | 0,34 |
| cromo III | 50.000 | - |
| cromo VI | 100 | - |
| cromo total | - | 76 |
| chumbo | 5.000 | 11 |
| mercúrio | 5.000 | 0,01409 |
| prata | 1.000 | 9,20 |
| tálio | 10.000 | 1,08 |

(1) baseado nos limites de exposição com biodisponibilidade assumida de 10%
Fonte: MANTUS ( 1992)

### 5.3.3 Fábricas de cimento e saúde pública em Minas Gerais

A Secretaria de Estado da Saúde de Minas Gerais - SES é o órgão público com atribuição para centralizar as informações sobre os dados que descrevem o perfil epidemiológico das áreas de influência ambiental das fábricas de cimento instaladas no Estado. Entretanto, *"a escassez e imprecisão das informações acerca dos dados de morbidade*[81] *dificultam uma abordagem fidedigna do quadro epidemiológico real"*(INST, 1992).

A SES dispõe de uma base de dados sobre morbidade e mortalidade, entretanto os dados não são completos. Desde que se implantou o processo de municipalização do Sistema de Saúde, os centros de saúde municipais não remetem regularmente as informações para a SES, que tem a atribuição de tratá-las e disponibilizá-las para a população (SES, entrevista, 1997).

Essa não é uma situação particular de Minas Gerais, há escassez de dados globais para os Sistemas de Saúde de todos os Estados. Além disso, esse quadro deve-se agravar, pois em Minas Gerais não existe ainda nenhum trabalho para a criação de um sistema integrado de informações para a área de saúde de todo o Estado (SES, entrevista, 1997).

Por outro lado, os dados disponíveis podem não retratar a realidade, pois quando o tratamento da doença contraída não exige internação, não são feitos registros e quando os casos são mais graves, o tratamento muitas vezes é realizado nos hospitais das cidades maiores, sem que seja registrada a origem do paciente.

Para ilustrar como os dados de morbidade podem relacionar a poluição de uma fábrica de cimento aos problemas de saúde da população da sua área de influência ambiental, considera-se o caso da Fábrica de Cimento Tupi, instalada em Pedra do Sino, Distrito do Município de Carandaí. O estudo de impacto ambiental realizado para o empreendimento, em 1992, direcionou as investigações para as doenças do aparelho respiratório, considerando que os maiores impactos sofridos pela população deveriam estar associados à emissão de material particulado e gases pela fábrica (Processo COPAM/PA/Nº 71/79).

Na Tabela 5.6 estão apresentados os dados dos arquivos do Centro de Saúde de Carandaí, para os anos de 1990 e 1991.

Verifica-se que a participação das doenças respiratórias em relação ao total de atendimentos é significativa. Uma vez que o Centro de Saúde de Carandaí recebe a demanda de

[81] Processo de adoecimento.

todo o município, os altos índices para as doenças respiratórias evidenciam sua participação no perfil epidemiológico da região.

TABELA 5.6 - Atendimento geral por grupo de causa no Município de Carandaí/ MG

| PATOLOGIAS | ATENDIMENTOS/ TRATAMENTO | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 1990 | % | 1991 | % |
| Diversas | 1.958 | 50 | 1.534 | 58 |
| Infecções respiratórias das vias aéreas superiores | 1.271 | 33 | 416 | 16 |
| Bronquite, enfisema, asma, vias aéreas inferiores | 580 | 15 | 623 | 24 |
| Pneumonia | 84 | 2 | 58 | 2 |
| TOTAL | 3.893 | 100 | 2.631 | 100 |

Fonte: Processo COPAM/PA/Nº 71/79

Em relação aos óbitos, a maior incidência se deve às doenças do aparelho circulatório ditas crônico-degenerativas, seguidas das doenças do aparelho respiratório, que englobam causas como pneumonia e bronquite crônica (Processo COPAM/PA/Nº 71/79).

Não existem dados sobre a influência do processamento de resíduos em fornos de clínquer nas populações dos Municípios de Pedro Leopoldo, onde há quase sete anos a fábrica CIMINAS processa resíduos com certa regularidade.

Entretanto, a emissão de poluição pelas fábricas CIMINAS e Cauê se constitui em grave problema ambiental para a população de Pedro Leopoldo, que se distribui, preferencialmente a partir dos limites de propriedade da fábrica Cauê, na direção noroeste, sendo que a maior parte vive numa faixa de 3 km em relação a esses limites, a cerca de 2 km do centro da cidade. Do outro lado, embora mais favorecida em relação à direção dos ventos predominantes, está localizada a fábrica CIMINAS.

A fábrica SOEICOM, que está iniciando o processamento de resíduos em seu forno de clínquer, está instalada próxima a diversos assentamentos populacionais, sendo o principal deles constituído pela sede do Município de Vespasiano. A fábrica ocupa a margem esquerda do Ribeirão da Mata, que corta o Município, enquanto que a maior parte da malha urbana encontra-se na sua margem direita.

Em vista da topografia plana da região e dos ventos predominantes, as emissões atmosféricas da fábrica SOEICOM são, preferencialmente, paralelas às áreas populacionais.

Os quatro mapas apresentados nas Figuras 5.2 a 5.5, mostram a localização das fábricas de cimento instaladas na Região Metropolitana de Belo Horizonte e os núcleos populacionais das suas áreas de influência ambiental.

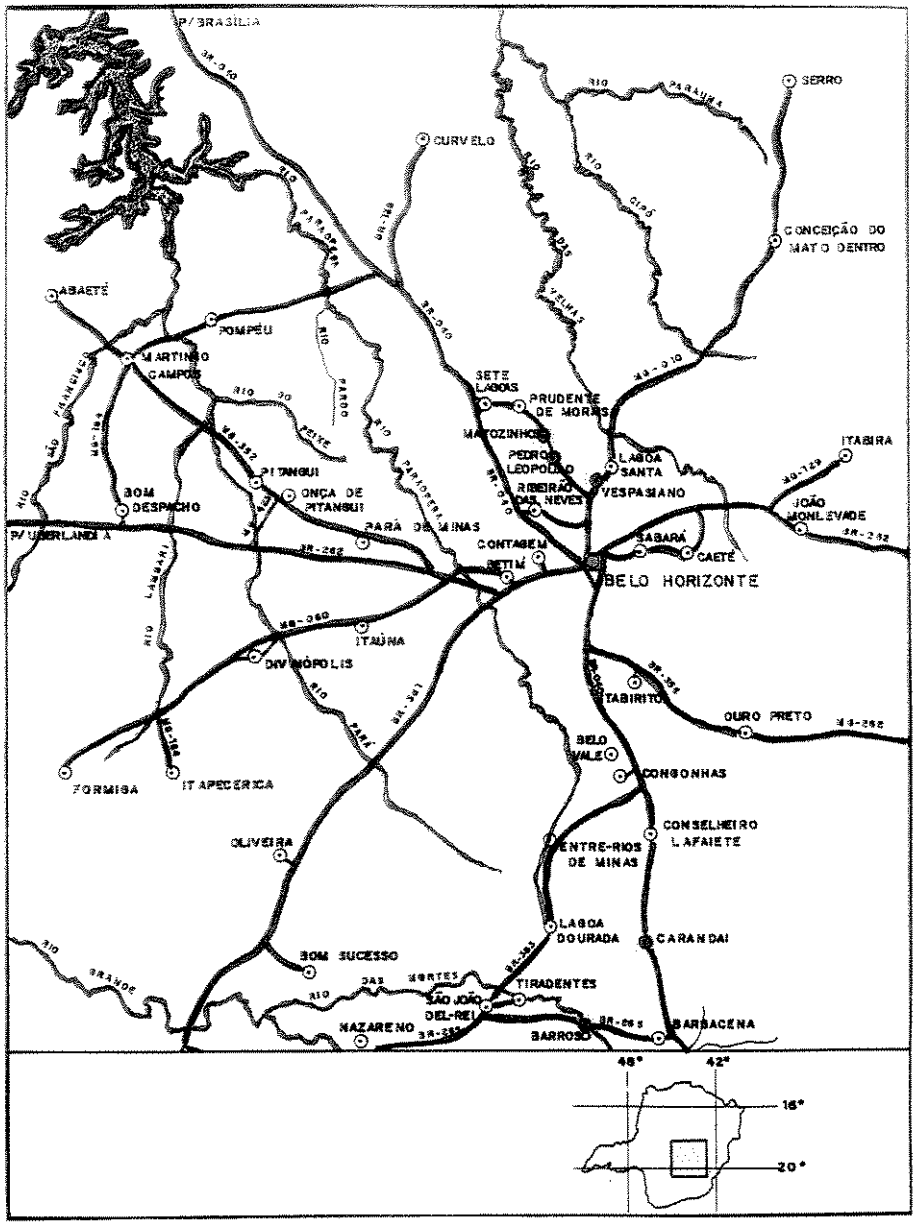



FIGURA 5.2 - Mapa destacando Belo Horizonte e os municípios mais próximos onde estão instaladas fábricas de cimento
Fonte: PROCESSO COPAM/PA/Nº 001/77

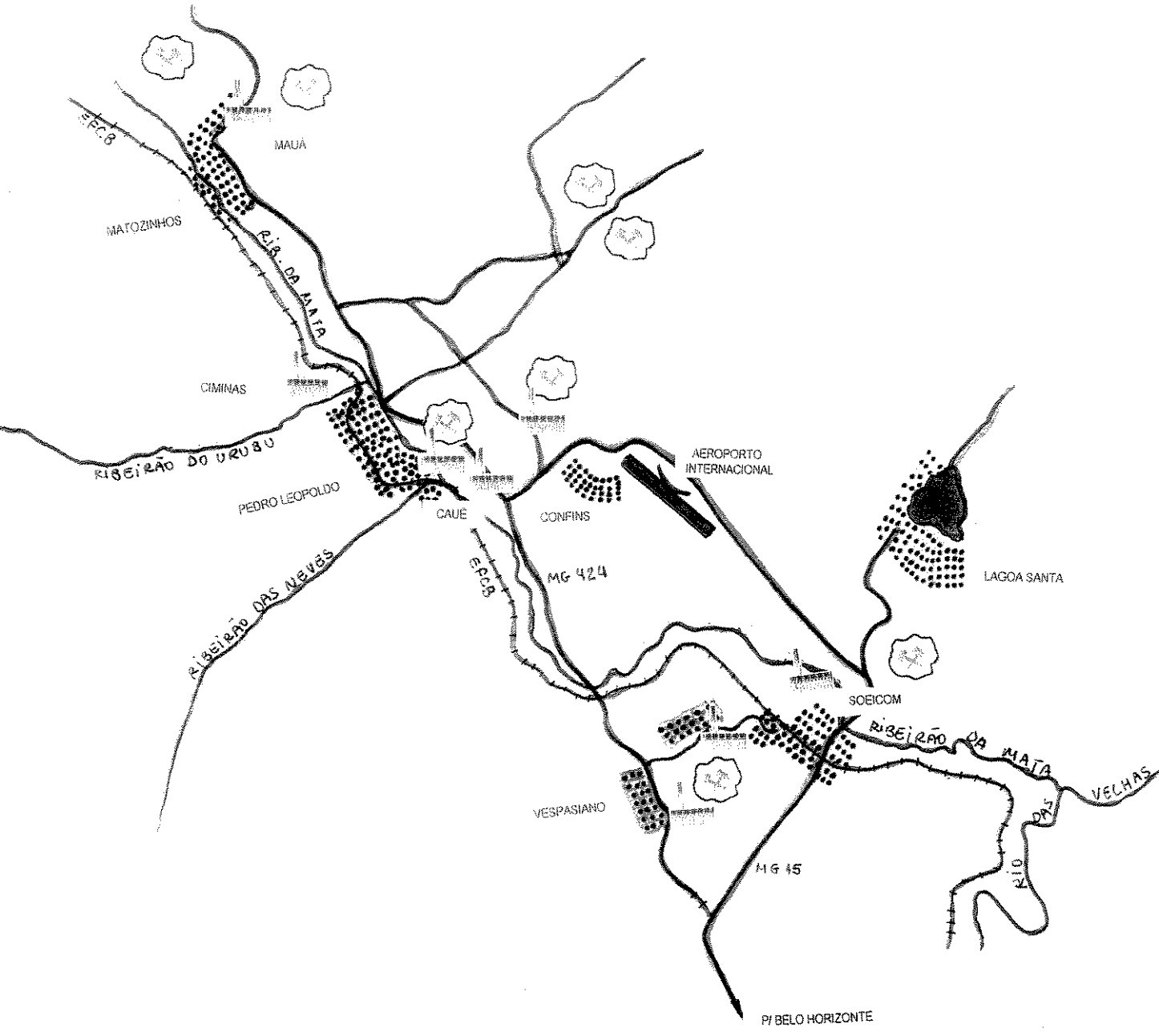



FIGURA 5.3 - Mapa de localização das fábricas de cimento na RMBH

Fonte: Elaboração própria

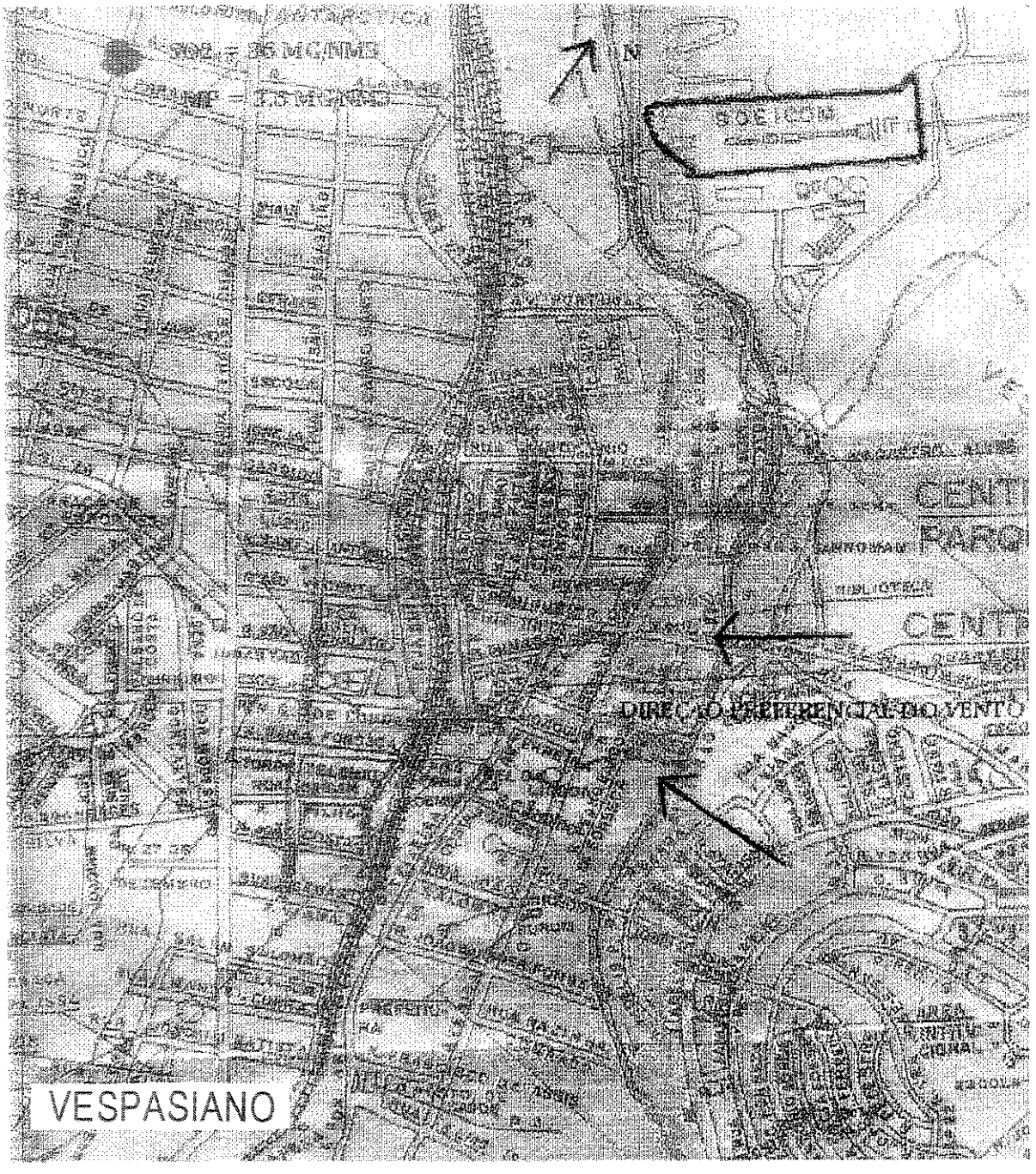



FIGURA 5.4 - Mapa de localização da SOEICOM no Município de Vespasiano - MG
Fonte: PROCESSO/COPAM/PA/Nº 001/77

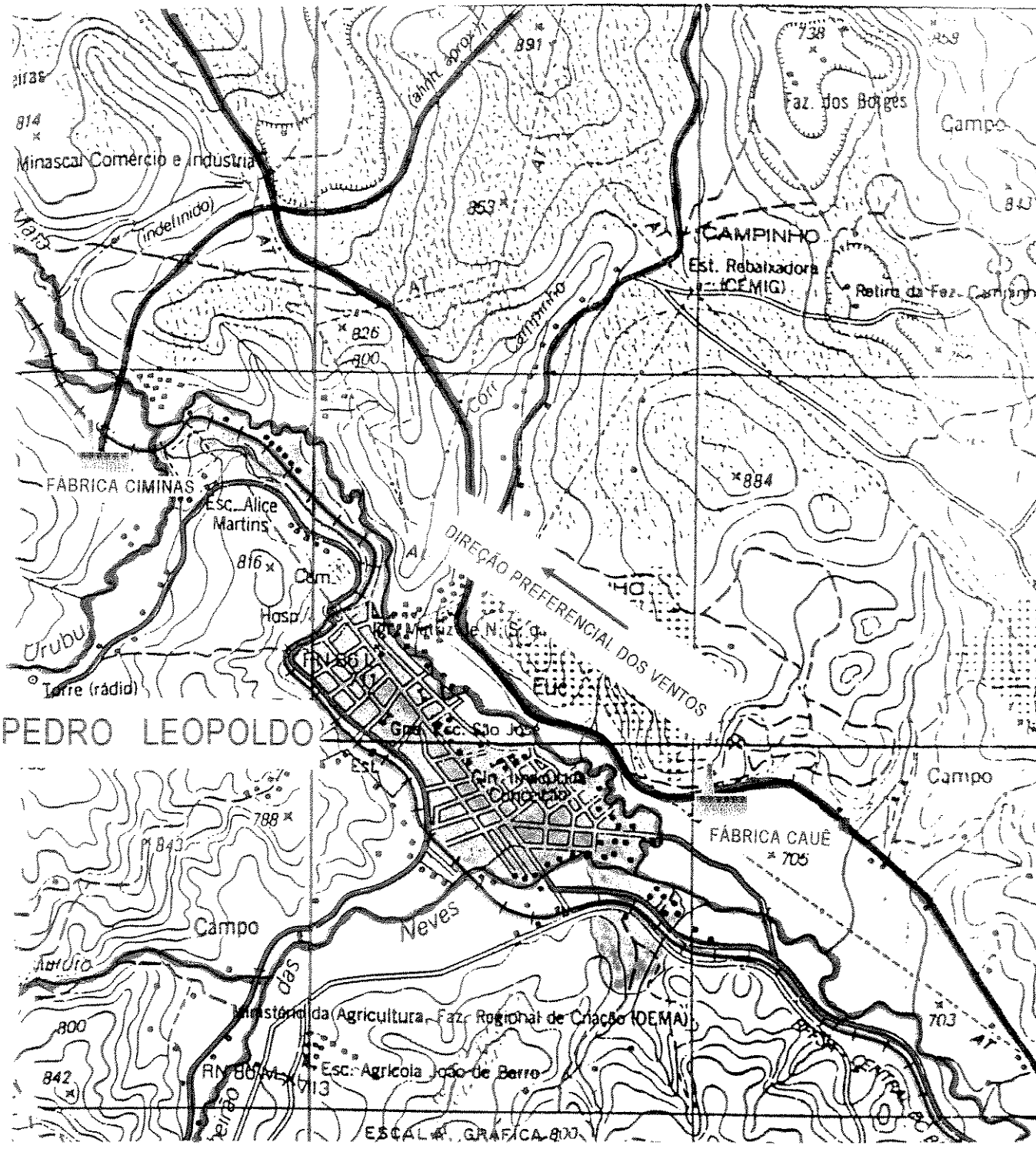



FIGURA 5.5 - Mapa de localização da Cauê e da CIMINAS no Município de Pedro Leopoldo - MG
Fonte: PROCESSO COPAM/PA/Nº 015/78/15/94

### 5.3.4 Proposta da FEAM para a incorporação de critérios de saúde do trabalhador no Licenciamento Ambiental

Pesquisadores do quadro técnico em meio ambiente da FEAM, desde a sua implantação em 1989, vêm apresentando propostas para que a análise realizada para a concessão do licenciamento ambiental também considere os impactos causados pelas atividades produtivas sobre a saúde das pessoas.

Esses profissionais têm acompanhado o trabalho de instituições públicas que desenvolvem pesquisas, estudos e realizam a fiscalização sobre a segurança e a saúde do trabalhador, como a DRT-MG/MTb, o NUSAT - INSS/MG, a SES-MG e o DMPS da Faculdade de Medicina da UFMG.

Em 1995, o representante no COPAM da Secretaria de Estado da Saúde de Minas Gerais sugeriu que fosse dada maior atenção às inter-relações entre o ambiente, o trabalho e a saúde, considerando a ausência de informações mais detalhadas dos impactos potenciais sobre a saúde dos trabalhadores e das populações das áreas de influência ambiental dos empreendimentos nos processos do COPAM, os quais subsidiam o licenciamento ambiental das instalações industriais.

A convergência entre a proposta do COPAM e dos pesquisadores da FEAM levou à formação, em junho de 1996, de um grupo de trabalho interdisciplinar, composto por representantes da Secretaria de Estado da Saúde, do NUSAT - INSS/MG, da DRT-MG/MTb, do DMPS/ Faculdade de Medicina da UFMG e da FEAM, que realizou um estudo minucioso da legislação relacionada ao tema, considerando as interfaces legais entre o meio ambiente, a saúde, a segurança e medicina do trabalho e a previdência social, que serviu de sustentação para a "*Proposta de incorporação de critérios de saúde do trabalhador no processo de licenciamento ambiental*".

A proposta do grupo de trabalho "*tem por princípio fundamental uma preocupação pedagógica de ampliar o conceito de meio ambiente, incluindo o ambiente de trabalho, buscando superar a dicotomia ambiente interno x ambiente externo e integrar as questões de saúde dos trabalhadores e saúde da população, considerando-as no seu conjunto, ainda que contemplando suas especificidades*"(SILVA et al., 1997).

Em dezembro de 1996, foi apresentado ao COPAM o relatório do grupo de trabalho propondo a incorporação de critérios sobre a saúde do trabalhador no processo de licenciamento ambiental. A Câmara de Poluição Industrial decidiu por "*recomendar ao grupo elabore uma Deliberação Normativa, encaminhando a proposta à Câmara de Mineração e à Câmara de Poluição Industrial* " do COPAM (CPI/COPAM, ata da Reunião de Câmara realizada em 14/11/1996).

# CAPÍTULO 6
# A TÍTULO DE CONCLUSÃO

> "Non ci sono problemi settoriali, c'è un solo problema: la coerenza. La coerenza in senso fisico, come si dice del laser che è una luce "coerente". Non i moti molecolari casuali e disordinati, ma una finalizzazione unitaria che sorregga tutte le scelte, che faccia della somma delle scelte individuali una scelta collettiva, deliberata e programmata, nella quale tutti si riconoscano. Non esiste un solo problema che sia cosí marginale o particolare da non essere sottoposto a una verifica di coerenza; ... a ogni proposito e in ogni occasione è possibile e necessaria una verifica di coerenza tra la soluzione di quel particolare problema e la soluzione del problema generale: QUELO DI DARA ALL'UMANITÀ UN FUTURO COMPATIBILE CON LO SVILUPPO E LA STABILITÀ DEL SISTEMA VIVENTE. Questo chiede, a tutti impegno; a qualcuno, coraggio. Richiede coraggio particolarmente ai dirigenti politici e agli uomini di cultura: il coraggio intelletuale di sottoporre a verifica tutto quanto si è fatto sin qui."
>
> Laura Conti, 1983

A Humanidade fez uma longa caminhada de especialização crescente. Em nenhuma outra época se atingiu o nível de desenvolvimento científico e tecnológico que se tem hoje. Assim, pelos resultados obtidos até aqui, pode-se afirmar que essa foi uma escolha acertada. Continua a se aprender cada vez mais sobre cada área de estudos, que quando cresce muito, se subdivide em subáreas.

Entretanto, muitos problemas atuais, interessantes e importantes, não fazem parte de uma determinada área de estudos. São problemas multifacetados com aspectos localizados em áreas de estudos diferentes. Portanto, coloca-se a necessidade de se suplementar a especialização pela integração.

Para os sistemas complexos, fortemente não lineares, não se aplica o Princípio da Superposição e não é possível descrevê-los de modo apropriado dividindo-os a priori em subsistemas ou considerando isoladamente seus vários aspectos.

Nesses sistemas, os diversos subsistemas e os vários aspectos interagem fortemente uns com os outros, e a reunião de descrições isoladas, ainda que feitas com extremo cuidado, não

fornece a descrição do comportamento do sistema. Nesse caso, é verdadeiro o velho adágio: "o todo é maior que a soma das partes".

Assim, para se tratar o comportamento de um sistema complexo não linear é imprescindível um esforço para se tentar descrever o sistema integralmente.

Os sistemas produtivos são exemplos de sistemas complexos não lineares. Não é possível entender o comportamento de uma de suas unidades isolando-a completamente do resto do sistema.

Em particular, uma fábrica de cimento, que é um empreendimento industrial de grande porte, se apresenta como um nó de uma extensa malha, constituída de muitas instituições, de vários outros empreendimentos, de milhares de pessoas e pelo meio ambiente. Esse nó influencia todos os outros nós e é influenciado pelas mudanças em qualquer um deles.

Este trabalho de investigação procurou, através de uma abordagem integrada, descrever a utilização de resíduos como combustíveis complementares em fornos de clínquer, considerando os aspectos tecnológicos e energéticos da fabricação de cimento e suas inter-relações com a sociedade e o meio ambiente.

As conclusões mais importantes, obtidas a partir das investigações realizadas, foram reunidas neste capítulo para que se tenha uma compreensão do sistema estudado.

Os choques do petróleo, que ocorreram na década de 1970, levaram à diversificação dos combustíveis utilizados pela indústria de cimento.

A oferta de combustíveis depende da conjuntura dos mercados internacionais de petróleo e de carvão, da disponibilidade de combustíveis nacionais e das políticas econômica e energética do Governo Federal.

A redução no consumo específico de energia pela indústria de cimento, a partir de 1980, foi devida, principalmente, à conversão do processo para a via seca, ao emprego de adições ativas no cimento e às políticas públicas caracterizadas pelos programas de conservação de energia.

Os dados globais de consumo de energia para fins térmicos na produção de cimento não refletem as opções por determinados combustíveis nas diversas fábricas. Há uma estreita relação entre a composição da matriz energética para fins térmicos e o preço e a disponibilidade desses

insumos no mercado, fazendo com que cada fábrica procure a opção que concilie menor custo e oferta regular.

O combustível empregado para fins térmicos nas fábricas de cimento brasileiras variou no período estudado. Atualmente, o óleo combustível é o principal energético utilizado. Nos fornos de clínquer das fábricas de cimento do Estado de Minas Gerais predomina o emprego de óleo combustível e de finos de carvão vegetal.

As investigações apontam que as fábricas de cimento instaladas em Minas Gerais deverão ter novos problemas com a oferta regular dos combustíveis que vêm sendo sistematicamente empregados.

A oferta regular de óleo combustível 7A, que é determinada pelo mercado interno de derivados de petróleo e seus preços, começou a apresentar problemas. Atualmente, tornou-se vantajoso para a Petrobrás reprocessar o óleo 7A com o objetivo de atender o mercado interno de produtos leves e médios, através da redução da produção de óleos combustíveis e do aumento da produção de óleo diesel.

A oferta regular de finos de carvão vegetal em Minas Gerais está sob ameaça devido à tendência da legislação ambiental de limitar a utilização de carvão vegetal na indústria siderúrgica, aos avanços na tecnologia de reaproveitamento dos finos de carvão vegetal no processo siderúrgico e aos avanços tecnológicos que levaram à redução da fração de finos na produção de carvão vegetal.

Na conjuntura dos choques do petróleo, o procedimento adotado pela indústria de cimento, em relação à substituição de energéticos e à conservação de energia, foi coerente. Entretanto, na indústria de cimento ainda há grandes perdas de energia através dos gases de exaustão dos fornos de clínquer. Portanto, deve-se considerar a possibilidade de se aproveitar essa energia térmica para a co-geração de energia elétrica, cuja oferta tem se tornado crítica.

Considerando a utilização de resíduos como combustíveis complementares em fornos de clínquer no âmbito dos sistemas energéticos, pode-se concluir que, mesmo com a modernização permanente das tecnologias de produção de cimento, que introduziram o processo via seca, os pré-aquecedores de múltiplos estágios, os pré-calcinadores e mais recentemente os fornos curtos, a indústria de cimento é um ramo produtivo altamente consumidor de energia. Isso tem levado às fábricas de cimento constantes preocupações em relação à oferta e, consequentemente, aos preços dos insumos energéticos, induzindo-as a procurar combustíveis de baixo custo, com oferta regular.

No quadro atual, as fábricas de cimento brasileiras têm duas opções: o gás natural e os resíduos de origem diversa. O gás natural é um combustível nobre devido a sua performance energética e, por isso, não compete em preço com os combustíveis convencionalmente empregados, restando a opção pelos resíduos.

Ao processar resíduos em seus fornos de clínquer, as fábricas de cimento estão formando novas relações na cadeia de produção e ampliando os riscos de sua atividade, com o processamento de materiais de alta toxicidade.

As investigações mostraram que o emprego sistemático de resíduos como combustíveis complementares nos fornos de clínquer foi uma consequência da diversificação dos combustíveis utilizados pelas fábricas de cimento imposta pelos choques do petróleo.

A utilização significativa de resíduos como combustíveis complementares pelas fábricas de cimento não é recente. A tecnologia para o processamento de resíduos em fornos de clínquer já é bem conhecida, entretanto, os estudos e as informações sobre os impactos ao meio ambiente, sobre a saúde do trabalhador e sobre a saúde das populações ainda são bastante incipientes e, muitas vezes, não estão disponibilizados.

O motivo que leva as fábricas de cimento a empregarem resíduos como combustíveis complementares em seus fornos de clínquer é econômico. Essas indústrias não são mais movidas pela necessidade de encontrar substitutos para o óleo combustível, como ocorreu logo após os choques do petróleo da década de 1970, e sim para tornar o preço do cimento produzido no Brasil mais competitivo em um mercado que se globaliza, já que os insumos energéticos tem uma participação em torno de 30% no custo final do cimento.

A disponibilidade maior de resíduos para serem tratados termicamente é devida à conscientização crescente da Sociedade quanto aos riscos associados à geração de grandes volumes de resíduos e à sua destinação inadequada, que tem se traduzido em pressões para que os grandes geradores de resíduos procurem alternativas mais aceitáveis para a destinação desses materiais.

Portanto, existe uma convergência entre os interesses das fábricas de cimento e dos geradores de resíduos, colocando o forno de clínquer como uma solução peculiar que se orienta no eixo sistematicamente representado como "destruição térmica de resíduos (meio ambiente) - queima de combustíveis residuais (energia) ", atendendo simultaneamente aos anseios da indústria de cimento, na sua permanente busca de energéticos alternativos de baixo custo e oferta regular, e

aos interesses do grande gerador de resíduos, que tem nos fornos de clínquer uma alternativa mais econômica do que os incineradores convencionais para a destruição térmica de seus resíduos.

Assim, as fábricas de cimento e os geradores de resíduos não consideram o tratamento térmico de resíduos nos fornos de clínquer segundo o eixo "resíduo (meio ambiente) - destruição térmica de resíduos (meio ambiente) - queima de combustíveis residuais (energia) - novos resíduos (meio ambiente) ", que é uma representação mais realista do processo.

As investigações mostraram que nos últimos anos as fábricas de cimento instaladas no Brasil têm revelado um interesse crescente em empregar resíduos como combustíveis complementares e matérias-primas secundárias em seus fornos de clínquer, justificando-o pela possibilidade de se reduzir os custos de produção do cimento e pelas vantagens ambientais globais que essa prática proporciona.

Constata-se que está havendo uma mudança tanto em relação aos tipos de resíduos que compõem o elenco de materiais promissores para serem empregados como combustíveis complementares ou como matérias-primas secundárias, como em relação aos seus objetivos.

Na década de 1980, eram empregados resíduos como casca de arroz, lenha, alcatrão, serragem, moinha de coque e finos de carvão vegetal para suprir a redução na oferta interna de óleo combustível. Atualmente, resíduos como lama de estação de tratamento de efluentes industriais, borras oleosas, pó de coletor de alto forno, solventes usados, resíduos petroquímicos e de indústrias de tintas são também tratados, mostrando que está ocorrendo uma diversificação significativa de materiais processados.

Entretanto, os resíduos que são processados em maior quantidade são aqueles disponíveis nas regiões onde essas fábricas estão instaladas, como a casca de arroz, no Rio Grande do Sul, Paraná e Goiás, o coque verde de petróleo, em São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais e o alcatrão, no Rio de Janeiro e Minas Gerais.

A utilização de resíduos como combustíveis complementares em fornos de clínquer já demonstrou sua viabilidade técnica, quer pela disponibilidade de tecnologia - o forno de clínquer e os sistemas de alimentação e queima de resíduos são apropriados para tratar termicamente os resíduos - quer pelas potencialidades energéticas desses materiais, principalmente aqueles que têm poder calorífico maior que 18.800 kJ/kg (4.500 kcal/kg) .

As principais condições para que um resíduo seja promovido à matéria-prima secundária ou combustível complementar estão associadas à sua disponibilidade, à sua composição química e ao seu grau de homogeneidade .

Os fornos de clínquer, apesar de apresentarem características operacionais básicas para o tratamento térmico de resíduos, não foram projetados com essa finalidade. As fábricas de cimento não dispõem de instalações adequadas que permitam o desenvolvimento das atividades relacionadas ao tratamento térmico de resíduos de forma rotineira .

Considerando a utilização de resíduos como combustíveis complementares em fornos de clínquer e sua relação com o desenvolvimento, pode-se concluir que, na atualidade, não é mais possível citar o desenvolvimento sem fazer sua contraposição com o meio ambiente, o que leva ao entendimento de que um novo padrão de desenvolvimento deve ser adotado com urgência, de tal forma que a intensidade e a velocidade do consumo de recursos naturais limitados estejam de acordo com a capacidade da natureza de se adaptar à nova situação de desequilíbrio provocada por um empreendimento.

Nesse contexto, o reaproveitamento de resíduos através de seu tratamento térmico em fornos de clínquer se apresenta como uma atividade que promove a minimização da intensidade de consumo e, consequentemente de extração de recursos naturais energéticos. Mas, mais uma vez, não é possível desconsiderar a questão da geração da poluição associada ao emprego de resíduos nos fornos de clínquer e muito menos deixar de lado a questão da minimização na fonte da quantidade dos resíduos gerados.

Ao processar resíduos em seus fornos de clínquer, as fábricas de cimento estão traçando novas linhas para o desenvolvimento e ampliando as relações que se formam para sustentar tal atividade produtiva.

O tratamento térmico de resíduos em fornos de clínquer é uma opção que concilia a incineração desses materiais com a redução do consumo dos energéticos convencionais empregados na produção de cimento. No entanto, se analisado como um "processamento de materiais para transformá-los quimicamente através de reações de oxidação" tem custos ambientais e sociais.

Os custos ambientais estão associados à emissão de poluentes atmosféricos, que embora inerentes ao processo de produção de cimento estão "modificados" pela presença de outros contaminantes originados da massa de resíduos ou nas reações químicas induzidas pela presença desses materiais no processo, aos riscos do transporte dos resíduos da indústria geradora até a

fábrica de cimento, e aos riscos associados à produção e à utilização do cimento, devido à incorporação de materiais tóxicos na massa de clínquer.

As investigações mostraram que não há estudos publicados sobre as alterações no meio ambiente e na saúde das pessoas causadas pelo processo de produção e pela utilização de cimento no Brasil, considerando toda a complexidade do processo produtivo e suas implicações.

Dada a complexidade do processo de produção de cimento, é importante que sejam realizados o monitoramento sistemático das emissões de poluentes e o controle sistemático de todas as cargas que alimentam o forno para fundamentar estudos sobre a qualidade do cimento produzido, os impactos sobre o meio ambiente, sobre a saúde dos trabalhadores e sobre a saúde das populações que vivem nas áreas de influência ambiental das fábricas de cimento.

As investigações mostraram que o Estado de Minas Gerais está se tornando um grande importador de resíduos gerados em outros Estados, sendo que São Paulo é o principal centro exportador. Pode-se concluir que o Estado de Minas Gerais está se transformando em um importador de riscos, uma vez que os resíduos destinados ao tratamento nos fornos de clínquer apresentam algum grau de periculosidade.

Diante desse quadro, é necessário contabilizar, nos custos de produção, os custos ambientais e sociais e transferir esses recursos em benefício de todos os que sofrem os impactos negativos dessa atividade, como uma forma compensatória aos prejuízos por ela causados.

Os efeitos mais extensos sobre a saúde da população estão associados à exposição ao cimento devido a sua utilização, enquanto que os efeitos mais intensos estão associados à saúde dos trabalhadores das fábricas e da construção civil que, devido à exposição ao pó do cimento, poderão ter sua saúde agravada em decorrência do aumento das concentrações de materiais tóxicos.

Atualmente, cerca de 60% da produção de cimento do Brasil é destinada ao pequeno consumidor. Na década de 1980, outra época e grande consumo, a maior parte da produção era destinada aos grandes consumidores. Consequentemente, a disseminação dos riscos devidos à utilização do cimento aumentaram.

As investigações mostraram que está ocorrendo um processo de terceirização de atividades nas fábricas de cimento instaladas em Minas Gerais. A terceirização dos serviços tem acontecido, principalmente, nas áreas de manutenção. Os empregados das empreiteiras

normalmente são menos treinados e experientes que os empregados próprios das fábricas, estando mais expostos aos riscos de acidentes.

Não foram encontradas informações sobre a existência de treinamento dos trabalhadores das fábricas de cimento para o manuseio adequado dos resíduos perigosos e para a operação da planta de cimento quando esses materiais estão sendo processados.

Portanto, os riscos de acidentes de trabalho e os riscos ambientais em uma fábrica de cimento processando resíduos perigosos aumentaram.

As investigações mostraram que um quadro clínico de cronicidade de doenças ocupacionais causadas pelo cimento leva à incapacitação para o trabalho, impondo a mudança da atividade profissional, muitas vezes impossibilitada pela baixa qualificação profissional do trabalhador, dando origem a um processo de exclusão social.

Não existem dados disponibilizados sobre o número de acidentes e as respectivas causas para as indústrias de cimento e de construção civil do Estado de Minas Gerais como, também, não existem dados disponibilizados sobre as causas das demissões nessas indústrias.

Para que possam ser desenvolvidos estudos sistemáticos sobre a saúde do trabalhador das indústrias de cimento e da construção civil é necessário que sejam montados bancos de dados que disponibilizem informações sobre saúde no trabalho.

As investigações mostraram que não existem estudos epidemiológicos sistemáticos e nem clínicos relacionando os problemas de saúde das populações que vivem nas áreas de influência ambiental das fábricas de cimento. Além disso, os dados epidemiológicos disponíveis, de modo geral, não traduzem a realidade, porque normalmente as pessoas doentes procuram tratamento de saúde em municípios maiores e melhor aparelhados.

Ainda não há um conhecimento dos efeitos crônicos de longo prazo causados pelas emissões atmosféricas associadas ao processamento de resíduos sobre a saúde dos trabalhadores e das pessoas que têm contato com o cimento produzido, considerando-se que grande parte dos constituintes metálicos tóxicos do resíduo são incorporados à massa do clínquer e, portanto, ao cimento.

Em muitos casos, é esperado que os efeitos sobre a saúde pública sejam menos severos que aqueles causados pela exposição no trabalho, porque os trabalhadores estão mais expostos às poeiras geradas nas diversas etapas do processamento industrial.

A grande complexidade que envolve todo o processo demanda ações apropriadas do poder público e das fábricas de cimento para se conhecer de maneira abrangente e aprofundada esta prática, a fim de se estabelecer as medidas adequadas para minimizar os impactos negativos sobre o meio ambiente e a saúde das pessoas.

Entretanto, as ações ainda não atingiram o nível requerido, que deve considerar o pré-tratamento do resíduo, a estocagem do resíduo na fábrica de cimento, o treinamento dos operários das fábricas de cimento que não estão habituados a lidar com produtos perigosos, o controle das emissões de substâncias tóxicas pelas chaminés, levando-se em conta os aspectos relacionados aos balanços de materiais e aos ciclos químicos formados no sistema de produção de clínquer, e a qualidade do cimento produzido, em particular quanto aos aspectos toxicológicos associados à incorporação de metais pesados em sua estrutura.

Considerando a utilização de resíduos como combustíveis complementares em fornos de clínquer na perspectiva do meio ambiente, pode-se concluir que, dentre as maiores motivações para o emprego de resíduos como energético ou como matéria-prima secundária está o fato de que essa opção apresenta-se como uma forma de destinação mais nobre e mais segura que o tratamento de resíduos em incineradores convencionais ou simplesmente sua disposição em aterros, o que minimiza os problemas de poluição decorrentes dessas técnicas de destinação de resíduos.

Aos aspectos ambientais positivos do reaproveitamento de resíduos na produção de cimento como combustíveis complementares ou como matérias-primas secundárias estão associados a poluição atmosférica e os impactos negativos sobre o meio ambiente e sobre a saúde das populações que vivem nas áreas de influência ambiental das fábricas, os riscos do manuseio e transporte dos resíduos e os riscos do uso do cimento, em cuja massa está incorporada parte das frações inorgânicas dos resíduos. Esses aspectos são pouco conhecidos dos técnicos brasileiros, das fábricas e dos órgãos de fiscalização.

Do ponto de vista do gerenciamento de resíduos, o tratamento térmico em fornos de clínquer parece ser uma alternativa interessante quando observada do lado da destinação do resíduo gerado, como uma opção aos incineradores convencionais e aos aterros. Porém esta alternativa não toca o ponto central do problema - *a redução da geração de resíduos* - não por mudanças nos processos produtivos ou por inovações tecnológicas, e sim por mudanças nos padrões de consumo das sociedades modernas.

# BIBLIOGRAFIA


01) ALI, S. A.. Dermatoses Ocupacionais. [Colaboração de] Célia Márcia Riscala et al.. São Paulo: FUNDACENTRO: FUNDUNESP, 1994, 224p.

02) ANDRADE, A. & ERBE, M.. Riscos ambientais associados ao co-processamento de materiais secundários em fornos de clínquerização. In: 4° Congresso Brasileiro de Cimento, 1996, São Paulo. Anais ... São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 1996, p: 413-429.

03) ARAÚJO, J.L. & OLIVEIRA, A.. Resposta do setor industrial brasileiro ao segundo choque do petróleo e à recessão. Energia e Crise. [Organização de] Luiz Pinguelli Rosa. Rio de Janeiro: Vozes, 1984, p:121-138.

04) ARAÚJO, J.L. & GHIRARDI, A.. Substitution of petroleum products in Brazil. Urgent issues. *Energy Policy*, v. 15, n.1, p:22-39, 1987.

05) BANNON, C. A.. Environmental trends and developments in Europe. *World Cement*, p: 4-10, Nov. 1995.

06) BENOIT, M.R. & HAMEL, B. B.. Tratamento e destruição de resíduos perigosos em fornos de cimento Portland. *Rev. Bras. Engenharia Química*, v. XIII, n. 2, p:10-16, 1993.

07) BICALHO, J. A.. Fiemg critica novos sócios da Cemig e teme reajuste. [Jornal] O Tempo. Belo Horizonte, 7 jun. 1997, p:7.

08) BLANCK, M.. New ways in energy management for increasing energy productivity in the plant. *Zement-Kalk-Gips*, n. 1, p: 11-15, dez. 1992.

09) BLUMENTHAL, M.. The use scrap tyres in the US cement industry. *World Cement*, p:14-20, Dec. 1992.

10) _____. The use of tyre-derived fuel in the US Cement Industry. *World Cement*, p:24-27, Apr. 1996.

11) BRASIL. Ministério dos Transportes. Regulamentação do Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos. Brasília: Ministério dos Transportes, Secretaria Geral, 1988, 177 p.

12) BUARQUE, C.. A Desordem do Progresso: o fim da era dos economistas e a construção do futuro. Rio de Janeiro: Paz e Terra , 1990, 186p.

13) CASARETT & DOULL. Toxicology: The Basic Science of Poisons. [Edited by] C. D. Klasseen; M. O. Amdur & J. Doul. New York: Macmillan Publishing Co., 1986, 974 p.

14) CASTALDINI C.; WILLARD, H.K.; WOLBACH, C.D. et al.. Disposal of Hazardous Wastes in Industrial Boilers and Furnaces. N. Jersey: Noyes Publications, USA, 1986, 429p.

15) CEMBUREAU. World cement production. *World Cement*, p: 20-21, Aug. 1995.

16) CHAHINE, G.. Incidence de l'incinération sur les émissions conventionnelles du four a ciment. *Ciments, Bétons, Plâtres, Chaux*, v. 4, n. 791, p: 215-218, 1991.

17) CONTI, L.. Questo Pianeta. Roma: Editori Riuniti, cap. 1 e 20, 1983.

18) DAMBRINE, E.. Incinération des déchets et destruction des composés organiques dans le four a ciment. *Ciments, Bétons, Plâtres, Chaux*, v. 1, n. 800, p: 37- 42, 1993.

19) DAWSON, B.. Emerging technologies for utilizing waste in cement production. *World Cement*, p: 22-24, Dec. 1992.

20) DEGRÉ, J. P.. Waste co-processing in industry. Code of good practice for wastes valorization in the cement industry. In: 4º Congresso Brasileiro de Cimento, 1996, São Paulo. Anais ... São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 1996, p: 499-520.

21) DEGRÉ, J. P.. Incinération des déchets solides et pateux en four de cimenterie. *Ciment, Bétons, Plâtres, Chaux*, v. 6, n. 793, p: 393-399, 1991.

22) DENGLER, T.; HOLLINSHEAD, A. & SHERMETTA, S.. Scrap tyre burning at Lafarge. *World Cement*, p: 13-17, Apr. 1996.

23) DERÍSIO, J.C.. Introdução ao Controle da Poluição Ambiental. São Paulo: CETESB/ IMESP, 1992, 201 p.

24) DEUSSNER, M.. Clinker burning with reduced $NO_x$ emission. *World Cement*, p: 52-58, Dec. 1995.

25) EBERHARDT, C.. Cemento y Ecología. *Construcción y Tecnología*, p:11-15, ago. 1991.

26) ETOC, P.. La Décennie 1980, étage importante du traitement des déchets en cimenterie. *Ciments, Bétons, Plâtres, Chaux*, v. 3, n. 790, p: 158-161, 1991.

27) FERGUSSON, J. E.. Inorganic Chemistry and the Earth: Chemical resources, their extraction, use and environmental impact. Oxford: Pergamon Press, England, 1982, 399 p.

28) FIGUEIREDO, P. J. M.. A Sociedade do Lixo: os resíduos, a questão energética e a crise ambiental; pref. de A. Oswaldo Sevá Filho. Piracicaba: Editora UNIMEP, 1994, 240 p.

29) FRANÇOIS, D.. Influence de l'incinération sur les émissions et le piégeage des éléments lourds et des métaux. *Ciments, Bétons, Plâtres, Chaux*, v. 3, n. 790, p: 161-164, 1991.

30) FURTADO, A.. A crise energética mundial e o Brasil. São Paulo: Novos Estudos CEBRAP, n.11, p:17-29, 1985.

31) GOLDMANN, W.; KREFT, W. & SCHÜTTE, R.. Cyclic phenomena of sulphur in cement kilns. *World Cement Technology*, p: 424-430, Nov. 1981.

32) GUTBERLET, J.. Produção Industrial e Política Ambiental: Experiências de São Paulo e Minas Gerais. São Paulo: Konrad - Adenauer - Stiftung, Série Pesquisas, n. 7, 1996, 153p.

33) HANSEN, E.. Tyre power is fire power. *Rock Products*, p: 29-33, Apr. 1992.

34) _____. Burning of solid waste in cement kilns. *World Cement*, p: 15-18, Mar. 1993.

35) HÉMERY, D., DEBEIR, J. C. & DELÉAGE, J. P.. Uma História da Energia. [Tradução de] Sérgio Salvo Brito. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1993, 447 p.

36) HERCULANO, S. C.. Do desenvolvimento (in)suportável à Sociedade Feliz. Ecologia, Ciência e Política. [Coordenação de] Míriam Goldenberg. Rio de Janeiro: Revan, 1992.

37) HOBSBAWM, E.. Era dos Extremos. O Breve Século XX: 1914-1991. [Tradução de] Marcos Santa Rita. São Paulo: Cia das Letras, 1995, 598p.

38) HUHTA, R. S.. Waste fuel - survey report. *Rock Products*, p: 40-43, Apr. 1985.

39) _____. Waste fuel - survey report II. *Rock Products*, p: 46-67, May, 1985.

40) _____. International Cement Review. *Rock Products*, p: 55-80, Apr. 1991.

41) KIRCHNER, G.. Thallium cycles and thallium emissions in cement clinker burning. *Zement-Kalk-Gips*, n. 5, p: 112-118, 1987.

42) KIRSCH, J.. Reducing environmental pollution by using secondary fuels. *Zement-Kalk-Gips*, n. 2, p:23-26, 1992.

43) KREFT, W.. Ecological aspects of cement production - Environmentally - orientated application of techonolgy as a contribution to climatic protection. *Zement-Kalk-Gips*, n. 5, p:123-127, 1990.

44) _____. Thermal residue disposal in cement works - comparison with the other methods of waste treatment. *Zement-Kalk-Gips International*, n. 7, p: 368-374, 1995.

45) KROBOTH, K.; HEIDELBERG & KUHLMANN, K.. Current state of emission reducting technology in Europe. *Zement-Kalk-Gips*, n. 5, p:103-109, 1990.

46) KROGHEUMKER, G.. Safety arrangements for the auxiliary combustion of waste oils. *Zement-Kalk-Gips*, n. 4, p: 188-192, 1988.

47) KUHLMANN, K; KIRCHARTZ, B.; RECHEMBERG, W. et al.. Sampling of trace constituints in the clean gas from rotary cement kilns. *Zement-Kalk-Gips*, n. 7, p: 131-135, 1991.

48) LA ROVERE, E. L... Conservação de energia em sua concepção mais ampla: estilos de desenvolvimento a baixo perfil de consumo de energia. Economia e Tecnologia da Energia. [Organização de] E. L. La Rovere.; L. P. Rosa & A. P. Rodrigues. Rio de Janeiro: Marco Zero/ FINEP, 1995.

49) LAFARGE. Utilisation de pneus usagés a la Cimenterie Lafarge de la Malle. *Ciments, Bétons, Plâtres, Chaux*, v. 2, n. 807, p: 84-85, 1994.

50) LAWTON, J. M.. The European Cement Industry's approach to the use of secondary raw materials and fuels. *Ciments, Bétons, Plâtres, Chaux*, v. 6, n. 799, p: 357-359, 1992.

51) LIEBL, P. & GERGER, W.. Benefits and limitations when using secondary materials. *Zement-Kalk-Gips*, n. 12, p: E 327-332, 1993.

52) LIPIETZ, A.. Audácia. Uma Alternativa para o Século 21. [Tradução de] Estela dos Santos Abreu. São Paulo: Nobel, 1991, 221p.

53) MAGANHA, M. F. B.; KOMATSU, C. E.; SOGABE, M. N. et al.. O co-processamento como alternativa para a destinação de resíduos. In: 4º Congresso Brasileiro de Cimento, 1996, São Paulo. Anais ... São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 1996, p: 431-446.

54) MARCIANO Jr., E. & KIHARA, Y.. Looking green. *World Cement*, p:82-88, Apr. 1997.

55) MARCIANO Jr. E.; KIHARA, Y. & ESPER, M. W.. A questão ambiental no setor cimenteiro. In: 4º Congresso Brasileiro de Cimento, 1996, São Paulo. Anais ... São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 1996, p: 467- 485.

56) MARGULIS, S., ed. Meio ambiente: aspectos técnicos e econômicos, IPEA. Brasília: IPEA/PNUD,1990, 246 p.

57) McGRATH, B.. Used lubricating oil as a fuel for cement kilns. *World Cement*, p:19-22, Mar. 1993.

58) MARTIN, J.M.. A Economia Mundial da Energia. [Tradução de] Élcio Fernandes. São Paulo: Editora UNESP, 1992, 135p.

59) MEDEIROS, J. X.. Energia Renovável na Siderurgia: Análise Sócio-econômica e Ambiental da Produção de Carvão Vegetal para Altos Fornos de Minas Gerais (no início da década de 1990). Campinas, SP:[s.n.]. Tese (doutorado). Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. 1995, 232p.

60) MULLINGER, P. J. & JENKINS, B. G.. Petroleum coke firing of rotary kilns. *World Cement*, p:48-56, Mar. 1987.

61) NEUMANN, E.; DUERR, M. & KREFT, W.. The substitution of fossil fuels in cement kilns. *World Cement*, p:80-88, Mar. 1990.

62) NIELSEN, P. B. & JEPSEN, O. L.. The formation of $SO_x$ and $NO_x$ in various pyroprocessing systems. *World Cement*, p: 528-537, Dec. 1990.

63) NIELSEN, P. B.. $SO_2$ and $NO_x$ emissions from modern cement kilns with a view to future regulations. *Zement-Kalk-Gips*, n.11, p: 235-239, 1991.

64) OBRIST, A.. Burning sewage sludge in cement kilns. *World Cement*, p: 57-64, Mar. 1987.

65) PLUNKETT, E. R.. Manual de Toxicologia Industrial. Enciclopedia de la Quimica Industrial, Ediciones Urno, España, Tomo 2, 1974.

66) RANZE, W. & WOLF, B.. Monitoring emissions in modern cement workers. *Zement-Kalk-Gips*, n.8, p: E 325-327, 1994.

67) ROCCA, A. C. C.; IACOVONE, A. M. M. B.; BARROTTI, A.J. et. al.. Resíduos Sólidos Industriais. São Paulo: CETESB, 2 ed. rev. ampl., 1993, 233p.

68) ROSE, D. & KUPPER, B.. Investigations into adsorptive and catalytic flue gas cleaning of exaust gases from cement plants - laboratory and small-scale tecnical investigations. *Zement-Kalk-Gips*, n. 7, p: 139-142, 1991.

69) _____. Ecological and economics aspects of cement production when using waste-derived fuels. *Zement-Kalk-Gips*, n. 1, p: 2-6, 1992.

70) SACHS, I.. Estratégias de Transição para o Século XXI: Desenvolvimento e Meio Ambiente. [Tradução de] Magda Lopes. São Paulo: Studio Nobel, Fundação do Desenvolvimento Administrativo, 1993, 103p.

71) SANTI, A. M. M. & NEBRA, S. A.. Fornos de cimento: Incineração de resíduos ou queima de combustíveis alternativos? In: VII Congresso Brasileiro de Energia, 1996, Rio de Janeiro. Anais ... Rio de Janeiro: UFRJ, COPPE, v. II, 1996, p: 645-658.

72) SCHEUER, A.; LEIMEN & ELLEBROCK, H. G.. Possible ways of saving energy in cement production. *Zement-Kalk-Gips*, n. 7, p: 175-182, 1992.

73) SEVÁ FILHO, A. O. Opinião pública e interesses institucionais nas questões tecnológicas e ambientais. In: Conferência Nacional de Geografia e Cartografia e Encontro Nacional dos Produtores e Usuários de Informações Sociais, Econômicas e Territoriais. Rio de Janeiro, 1996, 21p.

74) SHIRASAKA, T.; HANEHARA, S. & UCHIKAWA, H.. Influence of six minor and trace elements in raw material on the composition and structure of clinker. *World Cement*, p:102-115, Mar. 1996.

75) SHREVE, R. N. & BRINK Jr., J. A... Indústria de Processos Químicos. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 4. ed, 1977, 717p.

76) SILVA, E. R.. Investimento Energético em Tempo de Crise: O Projeto Gasoduto Termelétrica Bolívia - Mato Grosso do Sul - São Paulo na Conjuntura 1994-1996. Campinas. São Paulo: [s.n.]. Tese (mestrado). Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica, 1996, 232 p.

77) SILVA, R. J.. Análise Energética de Plantas de Produção de Cimento Portland. Campinas. São Paulo:[s.n.]. Tese (doutorado). Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica, 1994, 242 p.

78) SILVA, R. J. et al.. Consideration about the use of secondary fuels in cements plants. In: 7th International Symposium on Transport Phenomena in Manufacturing Processes, Acapulco, 1994. Anais .... Acapulco: National University of Mexico, 1994, 8p.

79) SILVA, R. J.; NEBRA, S. A. & ROSSI, L. F.. Novas Tecnologias de maior eficiência na produção de clínquer na indústria cimenteira. In: 3° Congresso Brasiliero de Cimento, São Paulo, 1993. Anais ... São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, p: 499-515.

80) SOUZA, R.; SILVA, M. A. C.; AGOPYAN, V. et al.. Estudo da Competitividade da Indústria Brasileira: Competitividade da Indústria do Cimento - Nota Técnica Setorial do Complexo de Materiais de Construção. Campinas: IE/UNICAMP - IEI/UFRJ - FDC - FUNCEX, 1993, 94 p.

81) SPRUNG, S.. Technological problems in pyroprocessing cement clinker: cause and solution. Dusseldorf: Beton-Verlag, 1985, 129p.

82) _____. Reducing environmental pollution by using secondary raw materials. *Zement-Kalk-Gips*, n.7, p:167-174, 1992.

83) SPRUNG, S.; RECHENBERG, W. & BACHMANN, G.. Environmental compatibility of cement. *Zement-Kalk-Gips*, n. 10, p: E262-271, 1994.

84) SPRUNG, S. & RECHENBERG, W.. Levels of heavy metals in clinker and cement. *Zement-Kalk-Gips*, n. 7, p: E183-188, 1994.

85) SUTOH, K.; SAKAE, K; HIROSE, T. et al.. Destruction of CFC's in cement kilns. *World Cement*, p: 64-75, May 1996.

86) UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO. AIE-COPPE. A Energia e o Desenvolvimento. Que desafios? Quais métodos? Sínteses e Conclusões. Rio de Janeiro: Marco Zero, 1986, 174p.

87) VALÊNCIO, N.. Estudos projetam mais de 140% no consumo per capita entre 1994-2000. *Minério/ Minerales*, n. 213, p: 24-28, 1996.

88) VON SEEBACH, M. & TOMPKINS, B.. Metal emissions are predictable. *Rock Products*, p: 31-35, Apr. 1991.

89) WEISWEILLER, W. & KRÊMAR, W.. Heavy metal balances for a cement kiln plant with grate preheater. *Zement-Kalk-Gips*, n. 5, p: 121-122, 1990.

90) WEISWEILLER, W. & KELLER, A.. The problem of gaseous emissions of mercury in cement plants. *Zement-Kalk-Gips*, n.12, 1992, p: E319-322.

91) WENTZ, C. A. Hazardous Waste Management. Singapoure: McGraw Hill, 1989, 461 p.

92) WORLD HEALTH ORGANIZATION. Rapid Assessment of Sources of Air, Water, and Land Pollution. Geneva: WHO Offset Publication n. 62., 1982, 113 p.

93) YONLEY, C. & GRANA, S.. Burning waste as fuel. *World Cement*, p:44-46, Apr. 1996.

# FONTES CONSULTADAS


01) AGENCE NATIONALE POUR LA RÉCUPÉRATION ET L'ÉLIMINATION DES DÉCHETES [ANRED]. Guide pour l'élimination et la valorisation des déchetes industriels. Paris: ANRED, 3 ed., 1989, 159 p.

02) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL [ABES]. *Revista BIO*. Ano IV, n. 3, jul./set, 1992.

03) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS [ABNT]. NBR 10.004: Resíduos sólidos, 1987 e PN 1:603.06-008: Resíduos Sólidos - classificação (revisão).

04) _____. NB 1265: Incineração de resíduos perigosos - Padrões de Desempenho, set. 1989.

05) _____. EB 1: Cimento Portland comum, jul. 1991.

06) _____. EB 2: Cimento Portland de alta resistência inicial, jul. 1991.

07) _____. EB 208: Cimento Portland de alto forno, jul. 1991.

08) _____. EB 758: Cimento Portland pozolânico, jul. 1991.

09) _____. NBR 11.578: Cimento Portland composto, jul. 1991.

10) _____. NBR 5.737: Cimento Portland resistente a sulfatos, jun. 1992

11) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FLORESTAS RENOVÁVEIS [ABRACAVE]. Anuário Estatístico [Ano Base 1995]. Belo Horizonte: ABRACAVE, 1996.

12) BAPTISTA, C. N.. Medicina do Trabalho na indústria de cimento. In: Ciclo de Conferências. Indústria de Cimento: Fabricação, Co-processamento e Meio Ambiente, 1995, Rio de Janeiro. Anais ... Rio de Janeiro:ABCP/ FEEMA, 1995, p:203-212.

13) BELO HORIZONTE. Secretaria Municipal de Saúde de Belo Horizonte. Coordenação de Saúde do Trabalhador . Boletim de Saúde do Trabalhador. n.1, maio, 1996, 8p.

14) BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Nornalização e Qualidade Industrial [INMETRO]. Regulamentação para Inspeção de Veículos e Equipamentos. Duque de Caxias, RJ, 1985, 12p.

15) _____. Ministério da Previdência e Assistência Social. Instituto Nacional de Seguro Social. Superintendência Estadual de Minas Gerais. Núcleo de Referência em Doenças Ocupacionais da Previdência Social [NUSAT]. Relatório Anual, Belo Horizonte, 1995, 109p.

16)_____. Ministério de Minas e Energia. Balanço Energético Nacional [BEN] 1996. Ano base 1995. Brasília, 1996, 150 p. Ilustradas.

17) _____. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [IBGE]. Contagem da População - 1996. Em www.ibge.gov.br, set. 1997. 1p.

18) COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Nota Técnica sobre tecnologia de controle: Indústria de Cimento. São Paulo: CETESB, NT-26, abr. 1992, 19 p.

19) CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA, ARQUITETURA E AGRONOMIA DE MINAS GERAIS [CREA-MG]. Vértice - Informativo do CREA-MG. Belo Horizonte: CREA-MG, ano 2, n. 20, jun. 1997, 8p.

20) CSD DO BRASIL LTDA. Possibilidades para Utilização de Combustíveis Residuais na Fábrica de Cimento Ciminas, em Pedro Leopoldo-MG. Belo Horizonte: FEAM, Processo COPAM/PA/Nº 008/89, 1989, 30p.

21) CSD GEOCLOCK. Relatório dos Trabalhos Desenvolvidos para o Cumprimento das Exigências da Licença de Co-processamento dos Resíduos da COPENE. São Paulo: CSD/CIMINAS, 1997, 11p. [Anexos].

22) GAIA ENGENHARIA AMBIENTAL LTDA. Considerações Ambientais no Co-processamento de Resíduos em Fornos de Indústrias Cimenteiras. Belo Horizonte: FEAM, Processo COPAM/PA/Nº 015/78/18/95, abr. 1995, paginação irregular.

23) INSTITUTO NACIONAL DE SAÚDE NO TRABALHO [INST]. Roteiros para Avaliação das Condições de Vida e de Trabalho em Três Regiões: ABC/SP, Belo Horizonte e Vale do Aço/MG e Recôncavo Baiano/BA. [Coordenação de] Rosana Martins Barbosa. São Paulo: INST/CUT, 1992, 80p.

24) FONSECA, M. A. S.; CARMO, A. J. B. & TERADA, O. A... Consumo energético na indústria brasileira de cimento. Estudo comparativo dos indicadores energéticos do Setor dos Cimentos no Brasil e na CEE. In: Seminário CEE/Brasil: Setores Industrias Intensivos em Energia, 1992, São Paulo. Anais ... São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas , 1992, 14 p.

25) MANTUS, E.K. All fired up - Burning Hazardous Waste in Cement Kilns. Washington: Environmental Toxicology International, USA, 1992, 81p.

26) MARCIANO Jr., E.. Comunicação privada, 1997, 16 p.

27) MINAS GERAIS. Banco de Desenvolvimento de Minas Gerais [BDMG]. Economia Mineira - 1989: Diagnósticos e Perspectivas, 5 v em 7, vol I: Síntese e Propostas; vol II: Indústria - Estudos Setoriais. Belo Horizonte, 1989.

28) _____. Conselho Estadual de Energia. Uso de Energia na Indústria de Cimento em Minas Gerais: 1980-1983. Belo Horizonte: CEMIG, Departamento de Planejamento Energético, 1985, 146 p.

29) _____. Conselho Estadual de Energia. Co-geração no Setor Cimenteiro. Companhia Energética de Minas Gerais. Belo Horizonte: CEMIG, Departamento de Planejamento Energético, jul. 1992, 52p.

30) _____. Conselho Estadual de Energia. Balanço Energético Estadual 1978/1995 [BEE-MG]. Belo Horizonte: CEMIG, 1996, em disquete.

31) _____. Companhia Energética de Minas Gerais [CEMIG]. I Encontro Setorial de Conservação de Energia - Setor Cimento/ Clientes de Transmissão. Relatório técnico. Belo Horizonte: CEMIG, Departamento Comercial Operacional de Consumidores de Transmissão, 1991, paginação irregular.

32) _____. "Consumidores Industriais de Transmissão e do Primário - Demanda > 250 kW", Relatório Interno. Belo Horizonte: CEMIG, 1995, não paginado.

33) _____. PE - Acompanhamento de Preços de Energéticos, Boletins diversos. Belo Horizonte: CEMIG, Departamento de Análises e Informações em Energia, 1997.

34) _____. Cia Energética de Minas Gerais. Principais Hidrelétricas em Estudo e Projeto. Em www.cemig.gov.br, 31 ago.1997, 3p.

35) _____. Conselho de Política Ambiental [COPAM]. Deliberação Normativa nº 011/86, que estabelece normas e padrões para emissão de poluentes na atmosfera. Diário Oficial [de Minas Gerais], Belo Horizonte, 16 de dezembro de 1986.

36) _____. Fundação Estadual do Meio Ambiente [FEAM]. Gerenciamento de Resíduos Sólidos Industriais. Relatório de projeto. Belo Horizonte: FEAM, Divisão de Estudos, Pesquisa e Planejamento Ambiental, 1992, 108 p.

37) _____. Fundação Estadual do Meio Ambiente. Diretrizes básicas para o licenciamento ambiental, Belo Horizonte, 1991, 14 p.

38) _____. Fundação Estadual do Meio Ambiente. Orientação básica sobre o licenciamento ambiental do transporte rodoviário de cargas perigosas no Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, sem paginação.

39) _____. Fundação Estadual do Meio Ambiente. Processo COPAM/PA/Nº 001/77 e desdobramentos, referente à SOEICOM Sociedade Empreendimentos Industriais, Comércio e Mineração. Belo Horizonte: FEAM, [1977- ].

40) _____. Fundação Estadual do Meio Ambiente. Processo COPAM/PA/Nº 015/78 e desdobramentos, referente à Cimento Cauê SA. Belo Horizonte: FEAM, [1978- ].

41) _____. Fundação Estadual do Meio Ambiente. Processo COPAM/PA/Nº 015/79 e desdobramentos, referente à Cia Cimento Portland Itaú. Belo Horizonte: FEAM, [1979- ].

42) _____. Fundação Estadual do Meio Ambiente. Processo COPAM/PA/Nº 71/79 e desdobramentos, referente à Cimento Tupi SA. Belo Horizonte: FEAM, [1979- ].

43) _____. Fundação Estadual do Meio Ambiente. Processo COPAM/PA/Nº 062/81 e desdobramentos, referente à CIMINAS - Cimento Nacional de Minas (Holdercim do Brasil - Divisão CIMINAS). Belo Horizonte: FEAM, [1979- ].

44) _____. Fundação Estadual do Meio Ambiente. Processo COPAM/PA/Nº 006/81 e desdobramentos, referente à Cia Cimento Portland Paraíso (Holdercim do Brasil - Divisão Paraíso). Belo Horizonte: FEAM, [1981- ].

45) _____. Fundação Estadual do Meio Ambiente. Processo COPAM/PA/Nº 079/82 e desdobramentos, referente à Cia Materiais Sulfurosos MATSULFUR. Belo Horizonte: FEAM, [1982- ].

46) _____. Fundação Estadual do Meio Ambiente. Processo COPAM/PA/Nº 042/83 e desdobramentos, referente à Cimento Mauá - Fábrica de Matozinhos. Belo Horizonte, [1983- ].

47) _____. Fundação Estadual do Meio Ambiente. Processo COPAM/PA/Nº 008/89 e desdobramentos, referente ao tratamento térmico de resíduos nos fornos da CIMINAS. Belo Horizonte: FEAM/CSD/CIMINAS, [1989- ].

48) _____. Fundação Estadual do Meio Ambiente. Processo COPAM/PA/Nº 157/93 e desdobramentos, referente à Cia Minas Oeste de Cimento - Fábrica Ponte Alta. Belo Horizonte: FEAM, [1993- ].

49) _____. Fundação Estadual do Meio Ambiente. Processo COPAM/PA/Nº 426/95 e desdobramentos, referente à Cia Minas Oeste de Cimento - Fábrica de Arcos. Belo Horizonte: FEAM, [1995- ].

50) _____. Fundação Estadual do Meio Ambiente. Processo COPAM/PA/Nº 22/80, referente à Unidade de Coqueamento Retardado da Refinaria Gabriel Passos [REGAP]. Belo Horizonte: FEAM, [1980- ].

51) _____. Fundação Estadual do Meio Ambiente. Diagnóstico Ambiental de Indústrias Instaladas em Minas Gerais. Relatório Técnico. Projeto Impacto Ambiental da Indústria Mineira, FJP/FAPEMIG nº SHA 862/92. Belo Horizonte: FEAM, Divisão de Estudos, Pesquisa e Planejamento Ambiental, 1996, 6v.

52) _____. Fundação Estadual do Meio Ambiente. Proposta de Deliberação Normativa para o Licenciamento de Co-processamento de Resíduos em Fornos de Cimento no Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte: FEAM, Divisão de Controle de Atividades Metalúrgicas e de Minerais Não Metálicos, 1997, 11p. [em análise no COPAM].

53) _____. Fundação Estadual do Meio Ambiente. COPAM - Conselho Estadual de Política Ambiental. Em www.bhnet.com.br/feam, 31 ago. 1997, 3p.

54) _____. Fundação Estadual do Meio Ambiente. Licenciamento Ambiental e Controle de Atividades Poluidoras. Em www.bhnet.com.br/feam, 31 ago. 1997, 7p.

55) _____. Instituto de Desenvolvimento Industrial [INDI]. A indústria de Cimento na Região Sudeste do Brasil. Situação Atual e Perspectivas para a Década de 90. Belo Horizonte, 1992, 47 p.

56) MOORE, T.E.. Co-processamento de insumos alternativos. In: Ciclo de Conferências. Indústria de Cimento: Fabricação, Co-processamento e Meio Ambiente, 1995, Rio de Janeiro. Anais ... Rio de Janeiro: ABCP/ FEEMA, 1995, p:127-152.

57) PARANÁ. Instituto Ambiental do Paraná. Normatização para Reaproveitamento ou Destruição de Resíduos em Fornos de Produção de Clínquer. Curitiba, sem data, 28p.

58) PAULO, A. F.. Saúde ocupacional e controle toxicológico inter e extra muros. In: Ciclo de Conferências. Indústria de Cimento: Fabricação, Co-processamento e Meio Ambiente, 1995, Rio de Janeiro. Anais ... Rio de Janeiro:ABCP/ FEEMA, 1995, p:165-198.

59) PITTA, M. R.. Associação Brasileira de Cimento Portland: Histórico e finalidades. In: Ciclo de Conferências. Indústria de Cimento: Fabricação, Co-processamento e Meio Ambiente, 1995, Rio de Janeiro. Anais ... Rio de Janeiro: ABCP/ FEEMA, 1995, p: 7-16.

60) REVISTA SANEAMENTO AMBIENTAL. Resíduos Industriais: Incineração ou co-processamento? Ano VI, n.33, jun./ jul. 1995.

61) RIBEIRO, V. N.. Natureza e controle das emissões atmosféricas nas fábricas de cimento. In: Ciclo de Conferências. Indústria de Cimento: Fabricação, Co-processamento e Meio Ambiente, 1995, Rio de Janeiro. Anais ... Rio de Janeiro: ABCP/ FEEMA, 1995, p: 81-107.

62) RIO DE JANEIRO. Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente [FEEMA]. Diretriz de Implantação do Sistema de Manifesto de Resíduos Industriais. Norma CECA: DZ-1310.R-3. Rio de Janeiro, 1985, 6p.

63) _____. Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente. Padrões de Emissão de Poluentes do Ar para Processo de Destruição Térmica de Resíduos. Norma CECA: NT-574.R.0. Rio de Janeiro, 1993, 6p.

64) _____. Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente. Diretriz para Licenciamento de Processos de Destruição Térmica de Resíduos. Norma CECA: DZ-1314.R.0. Rio de Janeiro, 1993, 5p.

65) _____. Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente. Diretriz de Destinação de Resíduos Industriais. Norma CECA: DZ-1311.R.0. Rio de Janeiro, 1994, 17p.

66) SANTI, A. M. M.. Incineração de Resíduos Industriais. Monografia. Campinas: UNICAMP, Faculdade de Engenharia Mecânica, 1995, 62p.

67) _____. Meio Ambiente e Desenvolvimento: O Pacto Planetário de 92 garantirá "Nosso Futuro Comum"?. Monografia. Campinas: UNICAMP, Faculdade de Engenharia Mecânica, 1995, 23p.

68) _____. Indústria de Cimento - Alternativas aos combustíveis fósseis: aspectos históricos, fatos recentes. Monografia. Campinas: UNICAMP, Faculdade de Engenharia Mecânica, 1996, 20p.

69) _____. Roteiro para pesquisa sobre o consumo de combustíveis em indústrias cimenteiras sob os aspectos energético e ambiental. Coletânea de dados. Campinas: UNICAMP, Faculdade de Engenharia Mecânica, 1997, sem paginação.

70) SEVÁ FILHO, A. O.. Dinâmica da Produção e da Degradação nos Sítios Cimenteiros - Casos Críticos em Várias Cidades e Regiões Brasileiras. Campinas: UNICAMP, Instituto de Geociências, 1986, 27 p.

71) _____. Riscos Técnicos Coletivos Ambientais na Região de Campinas/ SP. Aproximacões Conclusivas, Registros Históricos e Geográficos e Argumentos Sobre o Futuro. In: Riscos Técnicos, Coletivos, Ambientais. Campinas: UNICAMP, cap. 2, 1996.

72) SILVA, J. M.; DIAS, E.C.; MIRANDA, C. C. BERNARDO, L.G.R. et al.. Proposta de Incorporação de Critérios de Saúde do Trabalhador no Licenciamento Ambiental. Belo Horizonte: SES/MG-DMPS/FM/UFMG-NUSAT/INSS/MG-DICIQ/DIRCA/FEAM-DSST/DRT/MTb, 1996, 43p.

73) SINDICATO DA INDÚSTRIA DE FERRO NO ESTADO DE MINAS GERAIS [SINDIFER]. Resumo de Fornos Paralisados. Relatório mensal. Belo Horizonte: SINDIFER, 1997, 5p.

74) SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO [SNIC]. *Revista do SNIC*. Relatório Anual. Rio de Janeiro: SNIC, [1980-1995].

75) TARDELLI FILHO, J.. Gestão de Resíduos Sólidos Industriais no Estado de São Paulo, Brasil. CETESB. In: II Seminário Regional Sobre Avanços e Perspectivas na Gestão Ambientalmente Adequada de Resíduos Urbanos e Industriais, 1994, Santiago (Chile). Anais ... Santiago: Comisión Economica para América Latina y el Caribe - CEPAL , 1995, 23p.

76) USA. Federal Register. Code Federal Regulations - Protection of Environment - 40 CFR. Part 260, et al.. Burning of Hazardous Waste in Boilers and Industrial Furnaces; Final Rule, v. 56, n. 35, Feb. 21, 1991, Rules and Regulations, p: 7134-7210, 1991.

77) US NATIONAL ARCHIVES AND RECORDS ADMININSTRATION. Code Federal Regulations - Protection of Environment: 40 CFR, Parts 260 to 299, revised as of July 1, USA., 1992, 1.100p.

78) US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY [USEPA]. Regulatory Determination on Cement Kiln Dust. Em www.epa.gov, 1996, 14 p.

79) _____. Combustion emissions technical resource. Document [CETRED]. Cetred.txt em www.epa.gov , Apr. 1997, 5 p.

80) _____. Proposed revised technical standards for hazardous waste combustion facilities. Hazardous Waste Combustion Proposed Rule. Em www.epa.gov, Apr. 1997, 4 p.

81) _____. Regulatory Determination on Cement Kiln Dust (Federal Register: February 7, 1991). Regulatory Determination on Cement Kiln Dust. Em www.epa.gov, Dec. 1996, 14 p.

82) _____. Criteria Pollutants. Em www.epa.gov, Dec. 1996, 5 p.

# ABSTRACT

Through the integrated study, this thesis had worked on using the waste as a supplemental fuel in the cement plants with the consideration of technological and energetic aspects and their inter-relationships with the society and the environment.

It was shown that cement plants installed in Brazil had increased their interest in using the waste as a supplemental fuel and the secondary raw materials in the cement kilns for the past few years.

The principal reason on waste utilization in the cement industry was due to economic reason because the energy had represented about 30% of the production cost.

The research was focused on these cement plants installed in Minas Gerais, the major Brazilian producer, and their cement kilns had amplified the use of the waste as a supplemental fuel since 1990.

KEY WORDS: 1. waste
2. cement industry - Minas Gerais State
3. energy policy
4. environmental policy

# ANEXOS

# ANEXO I

## ROTEIRO PARA PESQUISA SOBRE O CONSUMO DE COMBUSTÍVEIS EM INDÚSTRIAS CIMENTEIRAS SOB OS ASPECTOS ENERGÉTICO E AMBIENTAL

cimentos

LIZ

soeicom s.a.

SOE-021/97
Vespasiano, 29 de abril de 1997.

**UNICAMP** - ***Universidade Estadual de Campinas***
**At.: Profª Sílvia Azucena Nebra de Perez**
***Faculdade de Engenharia Mecânica***

==========

Em anexo, dados solicitados por V.Sa., referentes à pesquisa sobre o ***consumo de combustíveis em indústrias cimenteiras sob os aspectos energético e ambiental***.
Colocamo-nos à disposição para quaisquer esclarecimentos adicionais.

Atenciosamente

**ROBSON LIZ DE ALMEIDA**
*Gerente de Fábrica*

UNICAMP
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA - DEPARTAMENTO DE ENERGIA
CIDADE UNIVERSITÁRIA ZEFERINO VAZ / 13081-970
CAMPINAS - SP, BRASIL
FONE: (0192) 39-8420 / 39-8435 / FAX: (0192) 39-3722

**MESTRADO EM PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ENERGÉTICOS**

# ROTEIRO PARA PESQUISA SOBRE O CONSUMO DE COMBUSTÍVEIS EM INDÚSTRIAS CIMENTEIRAS SOB OS ASPECTOS ENERGÉTICO E AMBIENTAL

PARA SER UTILIZADO PELA EMPRESA

ALUNO: AUXILIADORA MARIA MOURA SANTI
ORIENTADOR: Profª Drª SÍLVIA AZUCENA NEBRA DE PEREZ

Campinas, fevereiro de 1997

UNICAMP/ FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA/ DEPARTAMENTO DE ENERGIA
MESTRADO EM PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ENERGÉTICOS
ALUNO: Auxiliadora Maria Moura Santi - Campinas, fevereiro/1997

## PARTE I - DADOS GERAIS DA INDÚSTRIA

1. **Nome: SOEICOM SA**
   **Razão Social:** SOEICOM - SOCIEDADE EMPREENDIMENTOS INDUSTRIAIS, COMÉRCIO E MINERAÇÃO

2. **Endereço:** Av. Portugal, 700
   **Município:** Vespasiano
   **Macro Região de Planejamento:** Metalúrgica e Campo das Vertentes

3. **Curso d'água mais próximo:** Ribeirão da Mata (trecho do leito passando pelo interior da área industrial)
   **Bacia Hidrográfica:** Rio São Francisco/ Sub-bacia Rio das Velhas

4. **Número de empregados na fábrica:** 456 (1994) 388 (1997)
   . **Técnicos:** 248
   . **Administrativos:** 140

---

**OUTRAS INFORMAÇÕES:**

. Licenças concedidas pelo COPAM:

→ Em junho/1982, a Soeicom solicitou LI para instalação da unidade de moagem de carvão (Projeto Substituição de Óleo Combustível). Em novembro/1983, foi concedida LF em caráter precário, condicionada à comprovação da eficiência dos filtros de manga instalados nessa unidade.

→ A LF para a toda a empresa foi concedida, a título precário, em agosto /1982, condicionada à assinatura e cumprimento do Termo de Compromisso, que foi assinado em 01/09/82.

→ Solicitação de LF, em fevereiro/1993, para os seguintes projetos:
- . novo eletrofiltro
- . sistema de despoeiramento do galpão de clínquer
- . cerca viva
- . sistema de irrigação permanente de vias e pátios
- . instalação de opacímetros
- . utilização de óleo combustível

A LP foi concedida em 13/06/95, pelo COPAM, sem condicionantes.

→ Em outubro de 1995, a SOEICOM solicitou LP para o processo de co-processamento de resíduos em seu forno de clinquerização, apresentando à FEAM o Relatório de Controle Ambiental; em abril de 1996, solicitou LI, apresentando à FEAM o Plano de Controle Ambiental.

A Licença de instalação para o co-processamento de resíduos no forno de clínquer da SOEICOM, foi concedida pelo COPAM, em 06 de maio de 1996.

. Assinatura de Termos de Compromisso:

→Termo de Compromisso firmado entre a SOEICOM e o COPAM , em 01/09/1982

Padrões de emissão:

a) material particulado no forno de clínquer: 180 mg/$Nm^3$

b) material particulado nas demais fontes: 230 mg/$Nm^3$

→ Em 25/06/93, a SOEICOM assinou Termo de Compromisso com o Ministério Público de Minas Gerais, no qual foram mantidos os padrões de emissão para material particulado estabelecidos no Termo de Compromisso assinado com o COPAM, em 1982, para o forno de clínquer e demais fontes.

UNICAMP/ FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA/ DEPARTAMENTO DE ENERGIA
MESTRADO EM PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ENERGÉTICOS
ALUNO: Auxiliadora Maria Moura Santi - Campinas, fevereiro/1997

# PARTE II - DADOS GERAIS DO PROCESSO PRODUTIVO

## 1. SISTEMA DE PRODUÇÃO DE CLÍNQUER

| FORNO | PROCESSO via seca/via úmida | CAPACIDADE (t/dia) | ALIMENTAÇÃO (t farinha/dia) | pré-aquecedor SIM/ NÃO; n.° estágios? | pré-calcinador SIM/ NÃO |
|---|---|---|---|---|---|
| forno 1 | via seca | 4.000 | 6.780 | sim/4 estágios | sim |
| forno 2 | | | | | |
| forno 3 | | | | | |
| forno 4 | | | | | |
| forno ... | | | | | |

O forno da Soeicom passou por processo de modernização, ampliando a capacidade de produção de clínquer (anteriormente de 3.000 t/dia). Ciclones de dois estágios do pré-aquecedor foram substituídos por ciclones de alta eficiência. O resfriador de clínquer tipo satélite foi substituído por um resfriador de grelhas.

**O perfil de temperaturas internas dos fornos está disponível? Poderia ser anexado ao questionário?**

## 2. CONSUMO DE COMBUSTÍVEIS TRADICIONAIS

| FORNO | ÓLEO COMBUSTÍVEL | | CARVÃO MINERAL | | CARVÃO VEGETAL (moinha) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | t/mês | origem | t/mês | origem | t/mês | origem |
| forno 1 | 8.100 | Petrobrás e Shell | | | | |
| forno 2 | | | | | | |
| forno 3 | | | | | | |
| forno 4 | | | | | | |
| forno ... | | | | | | |

**Informações sobre composição química e poder calorífico dos combustíveis estão disponíveis? Poderiam ser anexados ao questionário?**

**Os preços médios (ano base 1996) pagos pela tonelada de óleo combustível, carvão mineral e/ou moinha de carvão vegetal podem ser informados? Em caso afirmativo, quais formam?** Preço médio óleo 7-A e de R$/t (na indústria)

**Qual a incidência (em valores percentuais) do custo da energia térmica consumida nos fornos de clínquer e da energia elétrica consumida na planta no custo final do cimento?** Energia térmica varia de 20%a 21% do custo Industrial do Cimento.

UNICAMP/ FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA/ DEPARTAMENTO DE ENERGIA
MESTRADO EM PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ENERGÉTICOS
ALUNO: Auxiliadora Maria Moura Santi - Campinas, fevereiro/1997

**Produção anual de cimento e consumo de combustíveis:**

| ANO | PRODUÇÃO (t cimento/ ano) | CONSUMO (t / ano) ÓLEO (t) | COMBUSTÍVEL (%) | CARVÃO (t) | MINERAL (%) | CARVÃO (t) | VEGETAL (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1986 | 1.045.054 | 1.085 | 2,55 | 17.264 | 20,28 | 64.168 | 75,36 |
| | | 1.567 | 3,34 | 35.834 | 38,18 | 54.882 | 58,48 |
| 1987 | 1.064.803 | 3.907 | 5,18 | 27.729 | 18,39 | 56.391 | 74,80 |
| 1988 | 1.068.704 | 11.330 | 14,27 | 15.174 | 9,56 | 113.323 | 71,37 |
| 1989 | 970.144 | 13.962 | 20,56 | 4.758 | 3,50 | 102.389 | 75,40 |
| 1990 | 524.586 | 14.239 | 39,29 | - | - | 44.004 | 60,71 |
| 1991 | 958.654 | 64.885 | 86,91 | 1.253 | 0,84 | 18.298 | 12,25 |
| 1992 | 959.469 | 75.731 | 100,00 | - | - | - | - |
| 1993 | 1.051.334 | 73.732 | 100,00 | - | - | - | - |
| 1994 | 1.087.855 | 73.073 | 100,00 | - | - | - | - |
| 1995 | 1.194.274 | 82.168 | 100,00 | - | - | - | - |
| 1996 | 933.198 | 50.461 | 100,00 | - | - | - | - |

**Dados sobre o transporte dos combustíveis até a cimenteira:**

**. ÓLEO COMBUSTÍVEL**
Transportadora: Transgama Tranportes S.A. e Transpor tes Feam Ltda
Rota(s) principa(is): Betim-MG/Vespaziano-MG.

**. CARVÃO MINERAL**
Transportadora:
Rota(s) principa(is):

**. FINOS DE CARVÃO VEGETAL**
Transportadora:
Rota(s) principa(is):

**Os preços médios (ano base 1996) pagos pelo frete destes combustíveis podem ser informados?**

Preço médio do frete do óleo 7-A e de R$5,20 por tonelada.

## 3. MATÉRIAS-PRIMAS

Local da mina de calcário: Município de Lagôa Santa-MG.

### MATÉRIAS-PRIMAS PRINCIPAIS E QUANTIDADES EMPREGADAS:

| MATÉRIA-PRIMA | QUANTIDADE (t/ano) |
|---|---|
| CALCÁRIO | 844.209 |
| ARGILA | 138.142 |
| AREIA | 2.606 |
| MINÉRIO DE FERRO | 7.214 |
| OUTRAS | - |
| | - |

### ADIÇÕES AO CLÍNQUER/CIMENTO:

| ADITIVOS | QUANTIDADE (t/ ano) | ORIGEM/ FORNECEDOR |
|---|---|---|
| GESSO | 26.330 | PB.Rancharia |
| ESCÓRIA DE ALTO FORNO | 131.418 | Usiminas/Belgo |
| MATERIAIS POZOLÂNICOS | - | - |
| OUTRAS -Escoria Ácida | 6.818 | Tresider/Adit.Minas |
| Calcario | 60.122 | Mineração Fábrica |

**A composição química média das matérias-primas e aditivos estão disponíveis? Poderiam ser anexadas ao questionário?**

## 4. CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA E ÁGUA

. Consumo mensal de energia elétrica no processo produtivo: 9.000.000 (kwh)
. Consumo mensal de água: 21.000.000 ($m^3$)

## 5. PRODUÇÃO

| PRODUTO | QUANTIDADE (t/ano)(96) |
|---|---|
| FARINHA | 967.550 |
| CLÍNQUER | 568.255 |
| CIMENTO | 933.198 |

UNICAMP/ FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA/ DEPARTAMENTO DE ENERGIA
MESTRADO EM PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ENERGÉTICOS
ALUNO: Auxiliadora Maria Moura Santi - Campinas, fevereiro/1997

# PARTE III - EMPREGO DE COMBUSTÍVEIS ALTERNATIVOS NOS FORNOS DE CLÍNQUER

## Política Energética da Empresa

**. Programa de conservação de energia:**
A Empresa dispõe de programa de conservação de energia para a planta de produção de cimento?

**. Substituição de combustíveis convencionais:**

**Há interesse em substituir os combustíveis convencionais (óleo combustível, carvão mineral ou carvão vegetal) por combustíveis alternativos (por exemplo, resíduos industriais, pneus)?**
Sim. Em outubro de 1995, a Empresa solicitou ao COPAM Licença Prévia e, em abril de 1996, Licença de Instalação para o emprego de resíduos industriais em seu forno de clínquer.

**Quais os motivos levaram a esta opção?** São a disponibilidade do combustível e contribuir com meio ambiente.

**Quais seriam os combustíveis alternativos de maior interesse da empresa?** São todos os que apresentem poder calorífico maior 2500Kcal/kg e baixos teores de SO3,TiO2,F,Cl e que possam ser calcinados sem riscos à população local.

**Qual a porcentagem de substituição esperada, considerando o consumo de energia térmica no forno de clínquer para um determinado período?**
A ser auxiliado na planta industrial.

**A empresa foi licenciada pelo COPAM para utilizar combustíveis alternativos? Quando?**
Sim. Em maio de 1996, a SOEICOM obteve licença de instalação para utilizar resíduos como combustíveis alternativos em seu forno de clínquer (LI para co-processamento)

**. Incineração de resíduos industriais:**
**Há interesse em oferecer o forno de clínquer para incinerar resíduos industriais com baixo poder calorífico? Por que?**
Talvez não. Segundo informação do PCA para o "co-processamento" de resíduos, a SOEICOM pretende realizar operações de misturas de resíduos em sua área industrial visando aumentar o poder calorífico de determinado lote de resíduos, visando a otimização térmica do processo. A mistura se dará, preferencialmente com combustíveis inertes como serragem, bagaço de cana e/ou óleos.

UNICAMP/ FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA/ DEPARTAMENTO DE ENERGIA
MESTRADO EM PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ENERGÉTICOS
ALUNO: Auxiliadora Maria Moura Santi - Campinas, fevereiro/1997

**. Emprego de resíduos como combustíveis alternativos:**
**Para cada tipo de resíduo empregado, informar: (utilizar uma folha por resíduo)**

**1. Empresa geradora do resíduo:**
**Localização (Município/ Estado)**

**2. Resíduo:**

**3.Origem (no processo industrial, quando for resíduo de processamento):**

**4. Dados sobre o resíduo:**
**Caracterização química:**
**Classificação (NBR 10.004):**
**Estado físico:**
**Tipo de embalagem para transporte:**
**Tipo de veículo empregado no transporte:**

**5. Estocado na cimenteira?**
**Estoque mínimo:**
**Por qual período?**

**6. Há preparação prévia do combustível antes da sua alimentação no forno de clínquer?**

**7. Poder calorífico (PCS ou PCI):**
**Teor de umidade:**

**8. Local onde o combustível alternativo é alimentado no forno (câmara de fumos, junto ao queimador principal, misturado à farinha):**

**9. Taxa de alimentação (t/ t clínquer produzido):**

**10. Com o emprego do resíduo como combustível alternativo foram observadas alterações significativas no processo produtivo? Qual(is)?**

**11. Foram observados problemas nos equipamentos (bombas, queimadores, refratários)?**
**Quais?**

**12. Quantidades totais já queimadas do resíduo:**

**13. Preço pago pela tonelada do resíduo:**

UNICAMP/ FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA/ DEPARTAMENTO DE ENERGIA
MESTRADO EM PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ENERGÉTICOS
ALUNO: Auxiliadora Maria Moura Santi - Campinas, fevereiro/1997

**14. Outras informações que julgar importante:** Os relatórios do SNIC registraram consumo de combustível alternativo entre 1986 e 1989:

| Combustível | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 |
|---|---|---|---|---|
| resíduos de madeira | 2.663 | 4.224 | 13.138 | 1.240 |
| % substituição de óleo combustível | 1,81 | 1,63 | 4,80 | 0,53 |

**. Consumo de gás natural:**
(Perguntas dirigidas às empresas localizadas no "eixo do gasoduto")

Há interesse pela utilização do gás natural fornecido pela GASMIG?

Ele será utilizado com quais finalidades? Não cogitamos até o momento seu uso.
No processo? _____ Quantidade estimada do consumo: _____ $m^3$/ mês

Na produção de energia elétrica (termelétricas), para fornecimento próprio?

**Dados sobre o transporte dos combustíveis da origem até a cimenteira:**

| COMBUSTÍVEL ALTERNATIVO | ESTADO FÍSICO | TIPO DE EMBALAGEM E TIPO DE CAMINHÃO | TRANSPORTADORA | ROTA PRINCIPAL (RODOVIAS) |
|---|---|---|---|---|
| alcatrão | | | | |
| aparas de pneus | | | | |
| lodos de ETE | | | | |
| resíduo madeira | | | | |
| lamas | | | | |
| borras petroquímicas | | | | |
| solventes usados | | | | |
| óleos usados | | | | |
| outros ... | | | | |
| | | | | |

UNICAMP/ FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA/ DEPARTAMENTO DE ENERGIA
MESTRADO EM PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ENERGÉTICOS
ALUNO: Auxiliadora Maria Moura Santi - Campinas, fevereiro/1997

## PARTE IV - ASPECTOS AMBIENTAIS

1. **A empresa realizou monitoramento da emissão de efluentes atmosféricos na chaminé do forno de clínquer?** Sim.

   **Quando?** Março/1995, para verificar a eficiência do novo eletrofiltro.

   **Os resultados do(s) monitoramento(s) realizados estão disponíveis?**
   **É possível anexá-los ao questionário?**
   → Resultados encontrados

| Parâmetro ($mg/Nm^3$) | 1ª medida | 2ª medida | 3ª medida | 4ª medida |
|---|---|---|---|---|
| material particulado | 20 | 14 | 10 | |
| $SO_2$ | 163,7 | 171 | 110,9 | 134,1 |

2. **Caso a empresa utilize combustíveis residuais alternativos, há dados de monitoramento da emissão de efluentes atmosféricos quando os resíduos estão sendo queimados?**
   SIM: _____ NÃO: _____
   Os resultados estariam disponíveis e poderiam ser anexados ao questionário?

3. **Há resultados de análise da qualidade do clínquer e do cimento produzidos, quando resíduos são empregados como combustíveis alternativos?**
   SIM: _____ NÃO: _____
   Os resultados estariam disponíveis e poderiam ser anexados ao questionário?

4. **Há dados de monitoramento da qualidade do ar da região sob influência da Empresa?**

   Os resultados estariam disponíveis e poderiam ser anexados ao questionário?

Há um estudo de dispersão atmosférica de material particulado e $SO_2$, simulando as possíveis alterações da qualidade do ar devido ao forno de clínquer. Esse estudo conclui que as contribuições do forno para a modificação da qualidade do ar da região podem ser consideradas insignificantes, principalmente "devido às baixíssimas emissões, considerando a recente instalação de um eletrofiltro de grande eficiência", para o controle das emissões de material particulado.

**Outras informações:**

→ Segundo PCA de fevereiro/1993, foram instalados opacímetros nas chaminés do forno e moinho de clínquer, dos filtros do galpão de clínquer, das ensacadeiras e dos silos de cimento, com o objetivo de verificar a eficiência dos sistemas de controle da emissão de material particulado.

→ Geração de resíduos sólidos:

. Classe III:

- refratários sílico-aluminosos e aluminosos

. Classe II:

- gerados no transporte de matérias-primas e pré-homogeneização (2 t/dia)
- na moagem de clínquer (0,2 t/dia)
- no forno de clínquer (0,1 t/dia)
- na estocagem do clínquer ( 0,1 t/dia)
- na moagem do cimento ( 0,5 t/dia)
- na estocagem e expedição do cimento ( 0,5 t/dia)
- na limpeza do pátio ( 8 t/dia) (?)

. Classe I:

- refratários cromo-magnesianos (possuem de 4,2 à 5,4 % de $Cr_2O_3$, que reage com os álcalis das matérias-primas e nos combustíveis, transformando-se em cromato e potássio e sódio, solúveis em água.

→ Projeto de Lançamento e Disposição de Resíduos Sólidos (TECISAN), fevereiro de 1992): aterro industrial, dentro dos limites do terreno da fábrica, no Município de Lagoa Santa (capacidade: 44.000 $m^3$; vida útil: 18 anos).

UNICAMP/ FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA/ DEPARTAMENTO DE ENERGIA
MESTRADO EM PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ENERGÉTICOS
ALUNO: Auxiliadora Maria Moura Santi - Campinas, fevereiro/1997

## PARTE V - ASPECTOS DA SAÚDE E SEGURANÇA DO TRABALHADOR E DA POPULAÇÃO NO ENTORNO DO EMPREENDIMENTO

**A Empresa mantém programas internos de acompanhamento da saúde do trabalhador?** Sim

**Há programas para e com a comunidade vizinha no tocante à saúde da população?** Não

**Pôde-se observar algum problema, tanto em relação à saúde do trabalhador, quanto em relação à população decorrente do emprego de resíduos industriais como combustível nos fornos de clínquer?**

A SOEICOM está instalada próxima a diversos assentamentos populacionais, sendo o principal deles, constituído pela sede do Município de Vespasiano. Localiza-se adjacente e à noroeste da malha urbana, no vale do Ribeirão da Mata.

Pela direção predominante dos ventos (sudoeste, segundo os dados do INMET) e a topografia local, é de se prever que as emissões atmosféricas da SOEICOM correrão, preferencialmente, paralelas à área urbana.

Vespasiano tem um distrito industrial onde estão instalados empreendimentos de grande porte como a DEMAG/MANNESMANN, NORDBERG, GESSY LEVER, SEMEATO, ANTARCTICA, PREMO.

---

Fontes consultadas:
Processo COPAM/FEAM nº 001/77
EIA/RIMA, dezembro/1983
RCA., abril/1982
RCA, julho/1994
PCA, fevereiro/1993
RCA/ Co-processamento de resíduos, outubro/1995
PCA/ Co-processamento de resíduos, abril/1995
Relatórios anuais do SNIC

**Data:** 28 de novembro de 1996

**Elaborado por:** Auxiliadora Maria Moura Santi

# LEVANTAMENTO DOS RESULTADOS DE ANÁLISES QUÍMICAS DAS MATÉRIAS-PRIMAS E INSUMOS SÓLIDOS

| | Composição | ARGILA | CALCARIO | ARGICAL | MINERIO DE FERRO | AREIA | FARINHA | CLINQUER | GESSO NATURAL | GESSO FOSFERTIL | GESSO CELITE CACO | ESCORIA ACESITA | ESCORIA BELGO MINEIRA | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Perda ao Fogo | 11,16 | 42,19 | 34,66 | 6,89 | 0,99 | 34,98 | 0,69 | 19,94 | - | 20,83 | 0.0 | 0.0 | | |
| | $SiO_2$ | 54,71 | 2,28 | 14,95 | 9,03 | 84,92 | 13,52 | 20,75 | 3,98 | 2,03 | 1,96 | 34,66 | 38,09 | | |
| A | $Al_2O_3$ | 15,57 | 0,72 | 4,34 | 2,22 | 5,78 | 3,95 | 5,71 | 1,22 | 0,23 | 0,82 | 11,52 | 12,54 | | |
| N | $Fe_2O_3$ | 6,27 | 0,40 | 1,81 | 78,64 | 1,04 | 2,14 | 3,11 | 0,50 | 0,24 | 0,20 | 0,36 | 1,88 | | |
| A | CaO | 7,84 | 53,39 | 42,42 | 1,54 | 0,70 | 43,49 | 66,77 | 31,73 | 31,97 | 31,84 | 42,61 | 40,18 | | |
| L | MgO | 1,16 | 0,45 | 0,65 | 0,40 | 0,16 | 0,63 | 0,93 | 0,25 | 0,00 | 0,25 | 8,10 | 5,52 | | |
| I | $SO_3$ | - | 0,02 | - | - | - | 0,07 | 0,58 | 43,34 | 44,63 | 43,51 | 0,06 | 0,03 | | |
| S | $Na_2O$ | - | - | - | - | - | 0,06 | 0,10 | - | 0,08 | - | - | - | - | - |
| E | $K_2O$ | - | - | - | - | - | 0,65 | 1,03 | - | - | - | - | - | - | - |
| | | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Q | R.I. | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,35 | 2,04 | - | - |
| U | CaO LIVRE | - | - | - | - | - | - | 2,50 | - | - | - | - | - | - | - |
| I | $CO_2$ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,23 | 1,80 | - | |
| M | $C_3S$ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,54 | 1,53 | - | |
| I | $C_2S$ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| C | $C_3A$ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| A | $C_4AF$ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | $CaSO_4$ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| % | F.S.C | - | - | 99,05 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | M.S. | - | - | 2,22 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | M.A. | - | - | 1,85 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | I.B. | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,54 | 1,53 | - | - |

OBS.:

# ANEXO II

## PESSOAS ENTREVISTADAS E INSTITUIÇÕES E EMPRESAS CONTATADAS

## 1. Empresas e Instituições envolvidas no Trabalho de Investigação

| TIPO DE ORGANIZAÇÃO | EMPRESA/ INSTITUIÇÃO | |
|---|---|---|
| | participou da pesquisa [1] | não participou da pesquisa [2] |
| indústria de cimento | TUPI (Carandaí - MG) | - |
| indústria de cimento | Cia Minas Oeste de Cimento (Uberaba - MG) | - |
| indústria de cimento | SOEICOM (Vespasiano - MG) | - |
| indústria de cimento | MATSULFUR (Montes Claros - MG) | - |
| indústria de cimento | - | PARAÍSO (Barroso - MG) |
| indústria de cimento | - | Cia Minas Oeste de Cimento (Arcos - MG) |
| indústria de cimento | - | ITAÚ (Itaú de Minas - MG) |
| indústria de cimento | - | CAUÊ (Pedro Leopoldo - MG) |
| indústria de cimento | CIMINAS (Pedro Leopoldo - MG) [3] | CIMINAS (Pedro Leopoldo -MG) |
| indústria de cimento | - | MAUÁ (Matozinhos - MG) |
| indústria de cimento | - | PARAÍSO ALVORADA ( Cantagalo - RJ) |
| órgão ambiental | FEAM (Belo Horizonte - MG) | - |
| órgão ambiental | CETESB (São Paulo - SP) | CETESB -Regional Sorocaba (Sorocaba -SP) |
| órgão ambiental | FEEMA (Rio de Janeiro - RJ) [4] | FEEMA (Rio de Janeiro - RJ) |
| órgão ambiental | IAP (Curitiba - PR) | - |
| companhia energética | CEMIG (Belo Horizonte - MG) | - |
| órgão da área de saúde | Secretaria de Estado da Saúde de Minas Gerais (Belo Horizonte - MG)(4) | - |
| órgão da área de saúde | NUVIST/ Secretaria Municipal de Saúde de Belo Horizonte (Belo Horizonte - MG) | - |
| órgão da área de saúde | NUSAT/ INSS (Belo Horizonte - MG) | - |
| delegacia do trabalho | DRT-MG/ MTb (Belo Horizonte - MG) | - |
| instituição federal | DNER - Seccional MG (Belo Horizonte - MG) | - |
| empresa de engenharia (gestora de resíduos) | CSD-GEOCLOCK (São Paulo - SP) | - |
| empresa de engenharia (gestora de resíduos) | Ambiência (Barueri - SP) | - |
| sindicato patronal | - | SNIC (Rio de Janeiro - RJ) |
| sindicato patronal | ANIP (São Paulo - SP) | - |
| associação de classe | ABCP (São Paulo - SP) | - |
| instituição pública | INDI (Belo Horizonte - MG) | - |
| empresa de petróleo | REGAP/PETROBRÁS (Betim - MG) | - |

(1) através de questionário, ofício, ou entrevista
(2) não respondeu ao questionário, ou ofício
(3) visitas técnicas
(4) entrevista
Fonte: Elaboração própria

## 2. Pessoas entrevistadas

**Rolando Chacón Moroux**
Holdercim do Brasil - Divisão CIMINAS
Pedro Leopoldo - MG

**Everaldo Marciano Junior**
Gerência de Tecnologia
Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP
São Paulo - SP

**Griseldis Laura Achôa**
Gerência de Controle Ambiental
AMBIÊNCIA Engenharia de Recursos Ambientais Ltda
Barueri - SP

**Marco Aurélio de Moura**
Departamento de Resíduos
CSD - GEOCLOCK Geologia e Engenharia Ambiental
São Paulo - SP

**Francisco Sertã**
Núcleo de Resíduos
Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente - FEEMA
Rio de Janeiro - RJ

**Marta Faria Bérnils Maganha**
Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB
São Paulo - SP

**Maria Cristina Poli**
Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB
São Paulo - SP

**Ângela Iacovone**
Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB
São Paulo - SP

**Gervásio Félix de Souza**
Departamento de Impacto Ambiental
Instituto Ambiental do Paraná - IAP
Curitiba - PR

**Marco Aurélio Guimarães Monteiro**
Departamento de Análises e Informações em Energia
Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG
Belo Horizonte - MG

**Maria Edviges Cabral de Azevedo**
Departamento de Análises e Informações em Energia
Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG
Belo Horizonte - MG

**Décio Guimarães de Abreu**
Departamento de Planejamento e Desenvolvimento de Gás
Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG
Belo Horizonte - MG

**Luiz Gonzaga Resende Bernardo**
Divisão de Controle de Indústrias Químicas e Alimentícias
Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM
Belo Horizonte - MG

**Sebastião Joaquim Bahia**
Divisão de Controle de Indústrias Químicas e Alimentícias
Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM
Belo Horizonte - MG

**Beverly Wen Yuh Liu**
Divisão de Monitoramento Ambiental
Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM
Belo Horizonte - MG

**Ivan Cunha Melo**
Núcleo de Referência em Doenças Ocupacionais da Previdência Social - NUSAT
Instituto Nacional de Seguro Social - INSS
Superintendência Estadual de Minas Gerais
Belo Horizonte - MG

**José Luiz Rodrigues**
Secretaria Municipal de Saúde de Betim
Betim - MG

**June Maria Passos Rezende**
Núcleo de Vigilância à Saúde do Trabalhador - NUVIST
Secretaria Municipal de Saúde de Belo Horizonte
Belo Horizonte - MG

**Jandira Maciel Silva**
Coordenadoria de Saúde do Trabalhador
Superintendência de Epidemiologia
Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais
Belo Horizonte - MG

**Edson Aires dos Anjos**
Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - DNER
Regional Minas Gerais
Belo Horizonte - MG

**Jurandir Augusto dos Santos**
Setor de Desenvolvimento de Produtos e Mercado
Refinaria Gabriel Passos - PETROBRÁS
Betim - MG

**Adriano Peçanha**
Divisão de Engenharia
Refinaria Gabriel Passos - PETROBRÁS
Betim - MG

**Maria Bernadete Loyola Tavares**
Departamento de Indústrias Químicas e Materiais Não-Metálicos
Instituto de Desenvolvimento Industrial de Minas Gerais - INDI
Belo Horizonte - MG

**Mário Parreiras de Faria**
Delegacia Regional do Trabalho - DRT/MG/MTb
Ministério do Trabalho - Seccional Minas Gerais
Belo Horizonte - MG

**Laerte Gomes Portão**
Good Year
Americana - SP

## 3. Pessoas e Instituições Contatadas

**Ézio Mantegazza**
Regional Sorocaba
Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB
Sorocaba - SP

**Ana Cristina Henney**
Núcleo de Resíduos
Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente - FEEMA
Rio de Janeiro - RJ

**Marta Cristina de Araújo**
Departamento de Análises e Informações em Energia
Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG
Belo Horizonte - MG

**Raimundo Nonato Vieira**
Cimento Cauê SA
Pedro Leopoldo - MG

**Robson Liz de Almeida**
SOEICOM SA - Sociedade de Empreendimentos Industriais e Mineração
Vespasiano - MG

**Javier Gonzalez D'Ocenda**
Holdercim do Brasil - Divisão CIMINAS
Pedro Leopoldo - MG

**Nilson Rodrigues de Assis**
Cimento Tupi SA
Carandaí - MG

**Edvaldo Araújo Rabelo**
Companhia de Cimento Portland Itaú
Itaú de Minas - MG

**Luiz Fernando Carvalho Cascardo**
Cimento Mauá SA
Matozinhos - MG

**Leandro Couto Soares**
Cia de Materiais Sulfurosos MATSULFUR
Montes Claros - MG

**Edson das Dores Ribeiro**
Holdercim do Brasil - Divisão Paraíso
Barroso - MG

**Samuel Cisternas**
Companhia Minas Oeste de Cimento - Fábrica Ponte Alta
Uberaba - MG

**Arnaldo Dias de Andrade**
Companhia Minas Oeste de Cimento - Fábrica de Arcos
Arcos - MG

**Paulo Roberto Zcaber**
Companhia de Cimento Portland Paraíso - Alvorada
Cantagalo - RJ

**Sindicato Nacional da Indústria do Cimento - SNIC**
Rio de Janeiro - RJ

**Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos - ANIP**
São Paulo - SP

# ANEXO III

## FÁBRICAS DE CIMENTO INSTALADAS NO BRASIL

## FÁBRICAS DE CIMENTO INSTALADAS NO BRASIL

| Nº no mapa | FÁBRICA | SITUAÇÃO | MUNICÍPIO | UF |
|---|---|---|---|---|
| 1 | ITAUTINGA | | Manaus | AM |
| 2 | CIBRASA | | Capanema | PA |
| 3 | ITAPICURU | | Codó | MA |
| 4 | CEARENSE | | Sobral | CE |
| 5 | IBACIP | | Barbalha | CE |
| 6 | ITAPETINGA | | Mossoró | RN |
| 7 | CIMEPAR | | João Pessoa | PB |
| 8 | CIPASA | | Caaporã | PB |
| 9 | ITAPESSOCA | | Goiana | PE |
| 10 | POTY | | Paulista | PE |
| 11 | ATOL | | São Miguel dos Campos | AL |
| 12 | CIMESA | 3 | Aracaju | SE |
| 13 | CIMESA | | Laranjeiras | SE |
| 14 | ARATU | | Salvador | BA |
| 15 | ARATU | 3 | Simões Filho | BA |
| 16 | CISAFRA | | Campo Formoso | BA |
| 17 | MATSULFUR | 2 | Brumado | BA |
| 18 | CAUÊ | | Pedro Leopoldo | MG |
| 19 | CAUÊ | 2 | Santana do Paraiso | MG |
| 20 | CIMINAS | | Pedro Leopoldo | MG |
| 21 | CMOC | | Arcos | MG |
| 22 | CMOC | | Uberaba | MG |
| 23 | ITAÚ | 4 | Contagem | MG |
| 24 | ITAÚ | | Itaú de Minas | MG |
| 25 | MATSULFUR | | Montes Claros | MG |
| 26 | MAUÁ | | Matozinhos | MG |
| 27 | PARAÍSO | | Barroso | MG |
| 28 | SOEICOM | | Vespasiano | MG |
| 29 | TUPI | | Carandaí | MG |
| 30 | ITABIRA | | Cachoeiro do Itapemirim | ES |
| 31 | PARAÍSO | 2 | Serra | ES |
| 32 | CIBREX | 1 | Rio de Janeiro | RJ |
| 33 | MAUÁ | | Cantagalo | RJ |
| 34 | MAUÁ | 3 | São Gonçalo | RJ |
| 35 | PARAÍSO | | Cantagalo | RJ |
| 36 | PARAÍSO | 3 | Italva | RJ |
| 37 | TUPI | 2 | Volta Redonda | RJ |
| 38 | VOTORANTIM | | Cantagalo | RJ |
| 39 | VOTORANTIM | 2 | Volta Redonda | RJ |

**continua**

(1) Fábrica da Itaú arrendada pela CIBREX (cimento branco)
(2) unidade de moagem
(3) fábrica parada
(4) fábrica desativada em 1989
Fonte: SNIC

Continuação

| Nº no mapa | FÁBRICA | SITUAÇÃO | MUNICÍPIO | UF |
|---|---|---|---|---|
| 40 | CAMARGO CORRÊA | | Apiaí | SP |
| 41 | CIMINAS | 2 | Sorocaba | SP |
| 42 | RIBEIRÃO GRANDE | | Ribeirão Grande | SP |
| 43 | MARINGÁ | | Itapeva | SP |
| 44 | QUIMBRASIL | | Cajati | SP |
| 45 | VOTORANTIM | 2 | Cubatão | SP |
| 46 | VOTORANTIM | 3 | Itapevi | SP |
| 47 | VOTORANTIM | | Salto de Pirapora | SP |
| 48 | VOTORANTIM | 2 | São Paulo | SP |
| 49 | VOTORANTIM | | Votorantim | SP |
| 50 | ITAMBÉ | | Balsa Nova | PR |
| 51 | RIO BRANCO | | Rio Branco do Sul | PR |
| 52 | RIO BRANCO | | Itaperuçu | PR |
| 53 | RIO BRANCO | 2 | Itajaí | SC |
| 54 | GAÚCHO | 2 | Esteio | RS |
| 55 | GAÚCHO | | Pinheiro Machado | RS |
| 56 | QUIMBRASIL | | Candiota | RS |
| 57 | QUIMBRASIL (2) | 2 | Nova Santa Rita | RS |
| 58 | MATO GROSSO | | Nobres | MT |
| 59 | CAMARGO CORRÊA | | Bodoquena | MS |
| 60 | ITAÚ | | Corumbá | MS |
| 61 | GOIÁS | | Cezarina | GO |
| 62 | ITAÚ | | Cocalzinho | GO |
| 63 | CIPLAN | | Sobradinho | DF |
| 64 | TOCANTINS | | Sobradinho | DF |

(1) Fábrica da Itaú arrendada pela CIBREX (cimento branco)
(2) unidade de moagem
(3) fábrica parada
Fonte: SNIC

# ANEXO IV

**PROTOCOLO ASSINADO ENTRE O MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA E COMÉRCIO, O MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA, O MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, O SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE CIMENTO E O SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE EXTRAÇÃO DE CARVÃO**

SECRETARIA DE ESTADO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
FLS.
COPAM
RUB.
D. C. - VISTO

Protocolo que entre si ajustam os Ministérios da Indústria e do Comércio, das Minas e Energia e dos Transportes, o Sindicato Nacional da Indústria de Cimento, o Sindicato Nacional da Indústria de Extração de Carvão objetivando a utilização do carvão mineral em substituição ao óleo combustível na indústria cimenteira.

O Ministério da Indústria e do Comércio representado pelo Ministro de Estado João Camilo Penna, o Ministério das Minas e Energia representado pelo Ministro de Estado Cesar Cals de Oliveira Filho, o Ministério dos Transportes representado pelo Ministro de Estado Eliseu Resende, o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento representado pelo Presidente José Mario Tavares de Oliva e pelo Vice-Presidente José Ermírio de Morais Filho, e o Sindicato Nacional da Indústria de Extração de Carvão representado pelo Presidente Roberto Gabizo de Faria, com a interveniência da Comissão Nacional de Energia, representada pelo Vice-Presidente da República, Dr. Antonio Aureliano Chaves de Mendonça, seu Presidente,

CONSIDERANDO a determinação do Senhor Presidente da República, João Baptista de Oliveira Figueiredo, no sentido de se buscar uma total convergência de esforços para o equacionamento e a solução do desafio energético com que se depara o País;

CONSIDERANDO a firme disposição dos empresários de múltiplos setores da economia nacional de responder positivamente a esse chamamento;

CONSIDERANDO ser do interesse do País a contenção da importação de petróleo e seus derivados;

CONSIDERANDO a utilização intensiva de óleo combustível na indústria cimenteira;

SECRETARIA DE ESTADO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
FLS.
COPAM
RUB.
D. C. - FEDERAL



CONSIDERANDO a possibilidade do emprego de carvão mineral como alternativa ao óleo combustível;

CONSIDERANDO que soluções para os problemas em menção foram consignadas no documento "Redução ao Consumo de Óleo Combustível na Indústria Cimenteira", que a este integra e acompanha;

CONSIDERANDO que referido documento foi aprovado na 2a. Reunião, realizada em 09 de agosto de 1979, da Comissão Nacional de Energia - CNE,

RESOLVEM firmar o presente Protocolo.

1 - DO OBJETO

1.1 - Visa este Protocolo a criar condições e a implementar medidas que propiciem reduzir ao máximo e no mais curto prazo possível o uso, pela indústria cimenteira do País, de óleos combustíveis derivados de petróleo, substituindo-os por carvão mineral energético de origem nacional.

2 - DAS METAS E DOS PRAZOS PARA A INDÚSTRIA CIMENTEIRA

2.1 - O programa de que trata este Protocolo será implementado em três fases, assim definidas:

1a. fase, com finalização em dezembro de 1980:

- substituição de até 30% do óleo combustível atualmente consumido nas torres de preaquecimento das instalações que operam pelo sistema de "via Seca", ou na pasta crua, nas instalações de "via úmida";

2a. fase, com finalização em dezembro de 1982:

- substituição de mais 50% do óleo combustível atualmente consumido, pela introdução, no maçarico principal dos fornos, de quantidade de carvão equivalente em poder calorífico;

SECRETARIA DE ESTADO
FLS.
COPAM
RUB.
D. C.



3a. fase, com finalização em dezembro de 1984:

- substituição total do óleo combustível, nos processos de fabricação de cimento.

2.2 - O esforço principal para a consecução da meta definida para a 1a. fase do programa será exercido em relação às indústrias cimenteiras localizadas nas Regiões Sul e Sudeste.

2.3 - O estabelecimento das metas constantes do subitem 2.1 não impedirá as unidades cimenteiras de ultrapassá-las, quando possível.

2.4 - As unidades cimenteiras que vierem a implantar-se, ou a implementar programas de ampliação, obedecerão às metas estabelecidas no subitem 2.1, no que concerne a insumos energéticos.

2.5 - São medidas complementares do programa de que trata este Protocolo, com os respectivos prazos de finalização:

a) racionalizar o consumo de óleo combustível, até março de 1980;

b) reduzir o teor de umidade da pasta pronta, nas instalações de "via úmida", mediante a utilização de aditivos fluidificantes, até junho de 1980;

c) converter os sistemas de "via úmida", em sistemas de "via semi-seca", até junho de 1981;

d) aumentar a produção nacional de cimento portland pozolânico, mediante o aproveitamento de cinzas volantes provenientes das termelétricas a carvão e o uso de argilas adequadas;

e) aumentar a produção nacional de cimento portland de alto-forno, mediante o aproveitamento de escórias ativas dos alto-fornos das siderurgias nacionais;

f) intensificar as pesquisas que objetivem a redução do consumo de óleo combustível na fabricação de cimento.

2.6 - No quadro seguinte são quantificados, acumuladamente, para o fim de cada fase de implementação do programa (2.1), a redução prevista do consumo de óleo combustível e as necessidades correspondentes de carvão:

SECRETARIA DE ESTADO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
FLS.
COPAM
RUB.
D. C. - VISTO



| Fase prazo | Redução de consumo de oc: | Necessidades de carvão |
|---|---|---|
| 1a. até DEZ/80 | 640.000t/a | 1.280.000t/a |
| 2a. até DEZ/82 | 2.140.000t/a | 4.280.000t/a |
| 3a. até DEZ/84 | 2.780.000t/a | 5.560.000t/a |

3 - DO PROGRAMA

3.1 - A execução do programa enfocado subentende, no que concerne à indústria cimenteira:

a) existência de tecnologia de equipamentos e de processos;

b) ajustamentos nos processos atuais de operação;

c) disponibilidade de equipamentos de utilização, inclusive os de recebimento, estocagem, moagem, alimentação e segurança;

d) oferta de financiamento;

e) garantia de ressarcimento dos eventuais acréscimos de custo no preço dos produtos finais;

f) regulamentação do comércio das cinzas volantes produzidas pelas termelétricas a carvão;

g) aproveitamento de argilas, naturais ou obtidas mediante calcinação;

h) garantia quanto ao suprimento do carvão necessário, em termos quantitativos e qualitativos, em horizonte de tempo que permita amortizar os investimentos realizados;

i) garantia de preços ao consumidor, na posição CIF-fábrica, em níveis competitivos com os dos óleos combustíveis equivalentes.

3.2 - No que respeita à indústria carbonífera o programa envolve:

a) pesquisas geológicas (pioneiras e de desenvolvimento de lavra);

b) lavra e beneficiamento;

c) financiamentos;

SECRETARIA DE ESTADO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
FLS.
COPAM
RUB.
D. C.



d) segurança quanto à prática de preços "ao produtor" que permitam, adequadamente:

- cobrir os custos de produção, inclusive os financeiros;

- remunerar os investimentos;

e) garantía contratual de absorção da produção.

4 - DAS CONDIÇÕES DE EXECUÇÃO

4.1 - A execução do programa de que trata este Protocolo obedecerá às seguintes condições gerais:

a) prioridade de atuação no aproveitamento das capacidades imediatamente disponíveis dos sistemas envolvidos, de mineração, beneficiamento, transporte, estocagem, reguladora, etc;

b) progressividade, na otimização dos sistemas referidos na alínea anterior, até a viabilização de alternativas de segurança;

c) apoio aos elementos produtivos - indústrias cimenteiras e de mineração - através de financiamentos adequados, quer quanto aos seus custos, quer quanto a prazos de resgate e de carência;

d) garantia de condições de tramitação preferencial de solicitações que visem a propiciar o fornecimento adequado, inclusive quanto a prazos, de equipamentos e materiais necessários à execução do programa;

e) garantia de preços dos produtos - carvão e cimento - compatíveis com os custos de investimento e produção, incluídos os custos financeiros.

5 - DA DEFINIÇÃO DE RESPONSABILIDADES

5.1 - O Ministério da Indústria e do Comércio, através de seus órgãos e entidades vinculados, propiciará condições para que os projetos de utilização de carvão venham a receber:

a) incentivos fiscais para equipamentos, máquinas, etc., nas condições da legislação em vigor;

b) recursos sob a forma de financiamento nos montantes de Cr$ 700 milhões até 1980 para adaptações indústriais

SECRETARIA DE ESTADO DE ... E TECNOLOGIA
FLS.
COPAM
RUB.
D. C.



da 1a. fase, de mais Cr$ 3.000 milhões até 1982 para a 2a. fase, de mais Cr$ 1.500 milhões até 1984 para a 3a. fase e de mais Cr$ 1.800 milhões até 1981 para a conversão do processo de "via úmida" para "via semi-seca";

c) apoio técnico e financeiro para a pesquisa e desenvolvimento do processo de substituição de combustível.

5.2 - Ao Ministério das Minas e Energia caberá:

a) definir, em 30 dias, para cada fonte produtora (binômio lavra-beneficiamento) e a nível de empresa:

- as características do carvão-tipo: 35% de cinzas e até 2,5% de enxofre;

- as responsabilidades de produção, em termos quantitativos;

- os "preços ao produtor", por tonelada de carvão-tipo;

b) assegurar, através de financiamentos, à indústria carbonífera os recursos necessários à implementação do programa;

c) definir, em 30 dias, mediante instrumentos normativos adequados, as atribuições e responsabilidades dos órgãos e entidades jurisdicionadas ao MME, bem como as dos setores envolvidos, da iniciativa privada, no que concerne à comercialização;

d) promover, em 60 dias e em coordenação com o MT, no que couber, as medidas necessárias à instalação de Entrepostos de Carvão Energético no Rio de Janeiro e Sepetiba (RJ), em Engenheiro Bley (PR), em Belo Horizonte (MG) e Vitória (ES);

e) promover, também em coordenação com o MT, no que couber, a adequação dos Entrepostos existentes de Santos (SP), Tubarão (SC) e dos demais, representados pelas próprias fontes produtoras (Charqueadas, RS; Cambuí, PR; Candiota, RS; Leão, RS e outras a serem definidas), para que atendam convenientemente às responsabilidades que lhe forem deferidas em cada fase do programa;

f) estabelecer "preços ao consumidor", para cada carvão-tipo, a fim de serem praticados uniformemente nos Entrepostos (alíneas d e e), nos pontos obrigatórios de transbordo,

SECRETARIA DE ESTADO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
FLS.
COPAM
RUB.
D. C.



e nos pontos situados no curso dos grandes eixos de suprimento;

g) promover a formalização de contrato de fornecimento de carvão, envolvendo produtores, consumidores, órgãos e entidades intervenientes nos subsistemas de transporte e comercialização.

5.3 - Ao Ministério dos Transportes competirá:

a) definir nos prazos abaixo, em coordenação com o Ministério das Minas e Energia, os programas de transporte de carvão das fontes produtoras para os entrepostos:

- em 30 dias, o programa para o período 1980-1981;
- em 120 dias, o programa para o período 1982-1985;

b) adotar as medidas necessárias, para assegurar o escoamento programado de carvão, de forma coordenada com as entidades privadas e públicas envolvidas na operação de transporte;

c) executar, em prazos compatíveis com os programas estabelecidos, os investimentos e obras necessárias à ampliação da capacidade atual de transporte de carvão, considerando-se prioritários:

- a ampliação de capacidade de embarque e desembarque de carvão nos portos de Rio Grande, Imbituba, Santos, Rio de Janeiro, Sepetiba, Vitória e/ou Tubarão (ES), Antonina(PR);
- a adequação das condições de navegabilidade da hidrovia, em termos de dragagem, de obras fixas de proteção e regularização, de balizamento e de sinalização dos Rios Jacuí, Taguari e Lagoa dos Patos;
- a adequação do material rodante e de tração e da via permanente do sistema ferroviário nacional, envolvido no transporte do carvão;
- a construção de acessos ferroviários às minas de CHARQUEADAS, LEÃO, IRUÍ, RECREIO, CANDIOTA e GRAVATAÍ, no Rio Grande do Sul, inclusive a travessia do Rio Jacuí para ligação no sistema ferroviário existente;
- a adequação de capacidade da malha ferroviária da Estrada de ferro Dona Tereza Cristina, em Santa Catari-

SECRETARIA DE ESTADO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
FLS.
COPAM
RUB.
D. C.



na, inclusive construção do Ramal de Treviso - Lauro Müller;

- o provimento de capacidade de transporte de carvão na frota nacional de cabotagem;

- adequação do sistema de transporte no Paraná para atender ao fluxo de carvão.

5.4 - O Sindicato Nacional da Indústria do Cimento-SNIC, como órgão coordenador dos interesses econômicos da indústria cimenteira e representativo da respectiva categoria econômica, em âmbito nacional, tomará as providências e medidas necessárias à execução do programa, devendo especialmente:

a) atuar junto às empresas com o objetivo de serem efetivadas, de acordo com as especificações e os prazos estabelecidos no item 2, as adaptações nas instalações indústriais necessárias à substituição do óleo combustível;

b) coordenar, em articulação com o MIC, providências e ações das empresas quanto à execução do programa;

c) promover em colaboração com o MIC, pesquisas e desenvolvimento tecnológico em apoio à execução do programa;

d) quantificar, em 30 dias, as necessidades de carvão para cada unidade industrial, segundo fases do programa, em relação a períodos semestrais.

5.5 - O Sindicato Nacional da Indústria de Extração de Carvão, como órgão coordenador dos interesses econômicos da indústria de extração do carvão e representativo da respectiva categoria econômica, em âmbito nacional, tomará as providências e medidas necessárias à execução do programa, devendo especialmente:

a) atuar junto às empresas da indústria extrativa com o objetivo de serem alcançados os níveis de produção necessários à efetivação do programa de substituição do óleo combustível na indústria cimenteira;

b) coordenar, em articulação com o MME, providências e ações das indústrias extrativas, relacionadas com a execução do programa;

c) promover, em colaboração com o MME, pesquisas e desenvolvimento tecnológico em apoio à execução do programa;

d) opinar nas eventuais solicitações de importação de carvão energético para a indústria cimenteira.

SECRETARIA DE ESTADO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
FLS.
COPAM
RUB.
D. C.



6 - DO SISTEMA DE COORDENAÇÃO E ACOMPANHAMENTO

6.1 - No âmbito de cada Ministério, a coordenação e o acompanhamento do Programa serão estabelecidos pelos respectivos Ministros de Estado, que proporão ao Presidente da Comissão Nacional de Energia - CNE a forma de coordenação e acompanhamento geral.

Brasília, 19 de setembro de 1979

Vice-Presidente da República
e Presidente da Comissão Nacional de Energia

Ministério da Indústria e do Comércio

Sindicato Nacional da Indústria
do Cimento

Ministério das Minas e Energia

Sindicato Nacional da Indústria
do Cimento

Ministério dos Transportes

Sindicato Nacional da Indústria
de Extração de Carvão

# ANEXO V

**BRASIL: CONSUMO DE RESÍDUOS COMO COMBUSTÍVEIS COMPLEMENTARES EM FÁBRICAS DE CIMENTO NO PERÍODO 1985 - 1995**

**BRASIL:**

**CONSUMO DE RESÍDUOS COMO COMBUSTÍVEIS COMPLEMENTARES EM FÁBRICAS DE CIMENTO NO PERÍODO 1985 - 1995**

FONTE: Relatórios anuais do SNIC

ANO: 1985 (2° semestre)

| Fábrica | Resíduo | consumo (t) | tEOC | substituição (%) |
|---|---|---|---|---|
| Cearense - CE | nc | nc | 122 | 0,64 |
| Ponte Alta - MG | nc | nc | 2.943 | 51,72 |
| Serrana - SP | nc | nc | 2.024<br>418 | 8,24<br>1,70 |
| Votorantim - SP | nc | nc | 613 | 1,13 |
| Gaúcho /P. Machado - RS | nc | nc | 5.954 | 33,05 |
| Bagé - RS | nc | nc | 33 | 3,67 |
| Goiás - GO | nc | nc | 955 | 4,47 |
| Pirineus - GO | nc | nc | 598 | 2,80 |
| Ciplan - DF | nc | nc | 1.260<br>1.414 | 11,61<br>12,52 |
| TOTAL | | - | 16.334 | 1,67 |

ANO: 1986

| Fábrica | Resíduo | consumo (t) | tEOC | substituição (%) |
|---|---|---|---|---|
| Cearense - CE | casca de babaçu | 446 | 182 | 0,45 |
| Paraíso/ Barroso - MG | moinha de carbono | 42.139 | 24.019 | 39,93 |
| Ponte Alta - MG | casca de arroz | 5.027 | 1.810 | 17,55 |
| SOEICOM - MG | resíduos de madeira | 2.663 | 772 | 1,81 |
| Paraíso/ Cantagalo - RJ | casca de arroz<br>serragem de madeira<br>raspas de pneus | 2.179<br>662<br>66 | 784<br>218<br>59 | 2,25<br>0,63<br>0,17 |
| Serrana - SP | resíduos de madeira<br>terra clarificante | 21.841<br>184 | 6.334<br>61 | 14,27<br>0,14 |
| Votorantim - SP | turfa<br>terra fuller | 5.644<br>2.587 | 1.524<br>595 | 1,25<br>0,49 |
| Gaúcho - RS | casca de arroz | 19.966 | 7.188 | 17,94 |
| Goiás - GO | casca de arroz<br>gás pobre<br>moinha de carbono | 2.768<br>2.185<br>5.084 | 996<br>219<br>2.898 | 2,14<br>0,47<br>6,22 |
| Pirineus - GO | casca de arroz | 2.349 | 846 | 4,11 |
| Ciplan - DF | casca de arroz | 42 | 15 | 0,05 |
| Tocantins - DF | alcatrão de madeira | 152 | 82 | 0,19 |
| TOTAL | | 115.984 | 48.602 | 2,60 |

ANO: 1987

| Fábrica | Resíduo | consumo (t) | tEOC | substituição (%) |
|---|---|---|---|---|
| Cearense - CE | casca de babaçu | 625 | 250 | 0,62 |
| Paraíso/ Barroso - MG | moinha de carbono | 36.583 | 20.852 | 29,32 |
| Ponte Alta - MG | casca de arroz | 931 | 335 | 3,57 |
| Soeicom - MG | resíduos de madeira | 4.224 | 1.225 | 1,63 |
| Paraíso/ Cantagalo - RJ | casca de arroz | 4.147 | 1.493 | 3,24 |
| | serragem de madeira | 33 | 11 | 0,02 |
| | raspas de pneus | 67 | 60 | 0,13 |
| Santa Rita/ Salto - SP | coque verde de petróleo | 5.472 | 4.378 | 8,09 |
| Serrana - SP | resíduos de madeira | 34.968 | 10.141 | 19,02 |
| Votorantim - SP | coque verde de petróleo | 9.625 | 7.700 | 6,02 |
| Itambé - PR | rejeito carbonoso 5.100 | 4.443 | 2.044 | 6,22 |
| | rejeito carbonoso 4.500 | 16.731 | 6.860 | 20,87 |
| Itaú do Paraná - PR | carbono peletizado | 339 | 214 | 1,21 |
| Rio Branco - PR | carbono peletizado | 119 | 75 | 0,04 |
| Gaúcho - RS | casca de arroz | 28.283 | 10.182 | 19,23 |
| Paraíso - GO | casca de arroz | 3.820 | 1.375 | 2,35 |
| | moinha de carbono | 8.992 | 5.125 | 8,75 |
| Pirineus - GO | casca de arroz | 3.612 | 1.300 | 6,17 |
| TOTAL | | 163.014 | 73.620 | 3,52 |

ANO: 1988

| Fábrica | Resíduo | consumo (t) | tEOC | substituição (%) |
|---|---|---|---|---|
| Cearense - CE | casca de babaçu | 1.288 | 515 | 1,20 |
| IBACIP - CE | lenha | 25.525 | 6.892 | 27,61 |
| Paraíso/ Barroso - MG | moinha de carbono | 16.930 | 9.650 | 16,56 |
| Ponte Alta - MG | casca de arroz | 9.235 | 3.325 | 32,07 |
| SOEICOM - MG | resíduos de madeira | 13.138 | 3.810 | 4,80 |
| Paraíso/ Cantagalo - RJ | casca de arroz | 5.970 | 2.149 | 5,10 |
| | serragem de madeira | 105 | 35 | 0,08 |
| | raspas de pneus | 3.920 | 3.489 | 8,28 |
| Santa Rita /Itapevi - SP | coque verde de petróleo | 25.121 | 20.097 | 58,87 |
| Santa Rita/ Salto - SP | coque verde de petróleo | 2.794 | 2.235 | 4,90 |
| Serrana - SP | resíduos de madeira | 37.865 | 10.981 | 19,73 |
| Votorantim - SP | coque verde de petróleo | 45.743 | 36.594 | 26,40 |
| Itambé - PR | rejeito carbonoso 5.100 | 11.697 | 5.381 | 16,39 |
| | rejeito carbonoso 4.500 | 4.849 | 1.988 | 6,05 |
| Gaúcho - RS | casca de arroz | 19.495 | 7.018 | 26,70 |
| Paraíso - GO | casca de arroz | 20.197 | 7.271 | 12,28 |
| | moinha de carbono | 10.153 | 5.787 | 9,78 |
| Pirineus - GO | casca de arroz | 5.143 | 1.851 | 9,38 |
| TOTAL | | 259.168 | 129.068 | 6,42 |

ANO: 1989

| Fábrica | Resíduo | consumo (t) | tEOC | substituição (%) |
|---|---|---|---|---|
| IBACIP - CE | lenha | 10.843 | 2.928 | 8,92 |
| CMOC/ Uberaba - MG | casca de arroz | 7.750 | 2.790 | 24,97 |
| Paraíso/ Barroso - MG | moinha e carbono | 15.105 | 8.610 | 14,42 |
| Soeicom - MG | resíduos de madeira | 1.240 | 360 | 0,53 |
| Paraíso/ Cantagalo - RJ | casca de arroz | 2.787 | 1.003 | 2,41 |
| | raspas de pneus | 5.146 | 4.580 | 10,98 |
| Santa Rita/ Itapevi - SP | coque verde de petróleo | 3.820 | 3.056 | 10,02 |
| Serrana - SP | resíduos de madeira | 29.843 | 8.654 | 17,94 |
| Itambé - PR | rejeito carbonoso 5.100 | 141 | 65 | 0,18 |
| | rejeito carbonoso 4.500 | 465 | 191 | 0,53 |
| Gaúcho - RS | casca de arroz | 19.682 | 7.086 | 23,30 |
| Paraíso/ Cezarina - GO | casca de arroz | 15.573 | 5.606 | 9,71 |
| | moinha de carbono | 9.451 | 5.387 | 9,33 |
| Pirineus - GO | casca de arroz | 6.803 | 2.449 | 10,91 |
| TOTAL | | 128.649 | 52.765 | 2,69 |

ANO: 1990

| Fábrica | Resíduo | consumo (t) | tEOC | substituição (%) |
|---|---|---|---|---|
| IBACIP - CE | lenha | 7.468 | 2.016 | 11,79 |
| Paraíso/ Barroso - MG | moinha de carbono | 20.921 | 11.925 | 18,97 |
| Paraíso/ Cantagalo - RJ | casca de arroz | 1.882 | 678 | 1,63 |
| | pó coletor de alto forno | 6.235 | 2.058 | 4,93 |
| | raspas de pneus | 6.798 | 6.050 | 14,51 |
| Santa Rita/ Itapevi - SP | coque verde de petróleo | 4.000 | 3.200 | 11,44 |
| Serrana - SP | resíduos de madeira | 26.511 | 7.688 | 15,26 |
| Gaúcho - RS | casca de arroz | 19.252 | 6.931 | 21,50 |
| Mossoró/ Cezarina - GO | casca de arroz | 4.904 | 1.765 | 3,38 |
| | moinha de carbono | 9.824 | 5.600 | 10,72 |
| Itaú/Corumbá de Goiás - GO | casca de arroz | 4.561 | 1.642 | 9,92 |
| TOTAL | | 112.356 | 49.553 | 2,51 |

ANO: 1991

| Fábrica | Resíduo | consumo (t) | tEOC | substituição (%) |
|---|---|---|---|---|
| IBACIP - CE | bagaço de cana | 1.243 | 385 | 1,97 |
| Cipasa - PB | raspas de pneus | 342 | 304 | 0,54 |
| Mauá/ Matozinhos - MG | pó de coque | 118 | 52 | 0,13 |
| Paraíso/ Barroso - MG | moinha de carbono | 7.859 | 4.480 | 8,01 |
| | alcatrão | 8.327 | 6.995 | 12,51 |
| | pó coletor de alto forno | 3.444 | 1.137 | 2,03 |
| Paraíso/ Cantagalo - RJ | chips de madeira | 2.532 | 785 | 1,75 |
| | moinha de coque | 4.558 | 2.097 | 4,67 |
| | raspas de pneus | 8.048 | 7.163 | 15,94 |
| Santa Rita/ Itapevi - SP | coque verde de petróleo | 5.426 | 4.341 | 38,55 |
| Santa Rita/ Salto - SP | carvão coque | 17.279 | 11.059 | 21,21 |
| Serrana - SP | resíduos de madeira | 21.140 | 6.131 | 14,48 |
| Votorantim - SP | coque verde de petróleo | 9.602 | 7.681 | 4,90 |
| Rio Branco - PR | carvão peletizado | 6.972 | 5.368 | 3,12 |
| Gaúcho - RS | casca de arroz | 26.067 | 9.384 | 25,95 |
| Cimbagé/ Bagé - RS | casca de arroz | 6.043 | 2.175 | 5,36 |
| Mossoró/ Cezarina - GO | casca de arroz | 11.030 | 3.971 | 7,68 |
| | moinha de carbono | 12.196 | 6.952 | 13,44 |
| | pó coletor de alto forno | 6.516 | 2.151 | 4,16 |
| Itaú/Corumbá de Goiás - GO | casca de arroz | 7.851 | 2.826 | 11,50 |
| TOTAL | | 166.593 | 85.437 | 4,18 |

ANO: 1992

| Fábrica | Resíduo | consumo (t) | tEOC | substituição (%) |
|---|---|---|---|---|
| IBACIP - CE | bagaço de cana | 2.052 | 636 | 3,74 |
| Cipasa - PB | raspas de pneus | 189 | 168 | 0,38 |
| Paraíso/ Barroso - MG | moinha de carbono | 74 | 42 | 0,11 |
| | alcatrão | 2.407 | 2.022 | 5,02 |
| | pó coletor de alto forno | 6.017 | 1.986 | 4,93 |
| | moinha de coque | 159 | 73 | 0,18 |
| Paraíso/ Cantagalo - RJ | chips de madeira | 81 | 25 | 0,07 |
| | moinha de coque | 657 | 302 | 0,80 |
| | moinha de carbono | 38 | 22 | 0,06 |
| | raspas de pneus | 7.085 | 6.306 | 16,74 |
| Serrana - SP | resíduos de madeira | 7.612 | 2.207 | 7,47 |
| Santa Rita/ Salto - SP | carvão coque | 1.383 | 885 | 3,23 |
| Cimbagé - RS | casca de arroz | 8.921 | 3.212 | 10,32 |
| | resíduos de pinus | 2.297 | 482 | 1,55 |
| Gaúcho - RS | casca de arroz | 21.630 | 7.787 | 37,49 |
| Goiás - GO | casca de arroz | 3.265 | 1.175 | 2,10 |
| | moinha de carbono | 3.120 | 1.778 | 3,18 |
| | pó coletor de alto forno | 2.255 | 744 | 1,33 |
| | palha de arroz | 1.153 | 392 | 0,70 |
| Itaú/ Cocalzinho - GO | casca de arroz | 205 | 74 | 0,48 |
| TOTAL | | 70.600 | 30.318 | 1,85 |

ANO: 1993

| Fábrica | Resíduo | consumo (t) | tEOC | substituição (%) |
|---|---|---|---|---|
| IBACIP - CE | bagaço de cana | 1.035 | 321 | 1,78 |
| | madeira | 3.331 | 866 | 4,81 |
| Paraíso/ Barroso - MG | moinha de carbono | 304 | 173 | 0,71 |
| | alcatrão | 1.305 | 1.096 | 4,50 |
| | pó coletor de alto forno | 464 | 153 | 0,63 |
| | moinha de coque | 449 | 207 | 0,84 |
| Paraíso/ Cantagalo - RJ | moinha de carbono | 106 | 60 | 0,19 |
| | raspas de pneus | 6.948 | 6.184 | 19,79 |
| | moinha de coque | 555 | 255 | 0,82 |
| | chips de madeira | 19 | 6 | 0,02 |
| Quimbrasil/ Cajati - SP | resíduos de madeira | 14.687 | 4.259 | 11,92 |
| | carvão coque | 977 | 625 | 1,75 |
| Rio Branco - PR | carbono peletizado | 4.481 | 3.450 | 1,85 |
| | casca de arroz | 11.913 | 4.289 | 12,68 |
| | carvão coque | 292 | 187 | 0,55 |
| | resíduos de pinus | 730 | 153 | 0,45 |
| | serragem | 2.492 | 897 | 2,65 |
| Gaúcho - RS | casca de arroz | 26.439 | 9.518 | 33,93 |
| Goiás - GO | casca de arroz | 4.637 | 1.669 | 2,90 |
| | moinha de carbono | 1.924 | 1.097 | 1,91 |
| TOTAL | | 83.088 | 35.465 | 2,07 |

ANO: 1994

| Fábrica | Resíduo | consumo (t) | tEOC | substituição (%) |
|---|---|---|---|---|
| IBACIP - CE | bagaço de cana | 740 | 229 | 1,49 |
| | madeira | 482 | 125 | 0,81 |
| Aratu - BA | tar | 3.381 | 1.893 | 7,94 |
| Paraíso/ Barroso - MG | alcatrão | 1.804 | 1.515 | 4,53 |
| | moinha de coque | 388 | 178 | 0,53 |
| Paraíso/ Cantagalo - RJ | raspas de pneus | 7.135 | 6.350 | 19,97 |
| | moinha de coque | 3.521 | 1.620 | 5,09 |
| Quimbrasil/ Cajati - SP | resíduos de madeira | 11.275 | 3.270 | 9,13 |
| | carvão coque | 52 | 33 | 0,09 |
| Gaúcho - RS | casca de arroz | 30.378 | 10.936 | 32,78 |
| Quimbrasil/ Candiota - RS | casca de arroz | 11.719 | 4.219 | 18,03 |
| | carvão coque | 2.795 | 1.789 | 7,64 |
| Mato Grosso - MT | palha de arroz | 2.105 | 716 | 2,46 |
| Goiás - GO | casca de arroz | 4.241 | 1.527 | 2,75 |
| | moinha de carbono | 1.897 | 1.081 | 1,94 |
| | raspas de pneus | 147 | 131 | 0,24 |
| TOTAL | | 82.060 | 35.612 | 2,07 |

ANO: 1995

| Fábrica | Resíduo | consumo (t) | tEOC | substituição (%) |
|---|---|---|---|---|
| IBACIP - CE | bagaço de cana | 702 | 218 | 1,49 |
| | madeira | 457 | 119 | 0,81 |
| Aratu - BA | tar | 4.356 | 2.898 | 23,72 |
| Cauê - MG | finos de coque | 2.103 | 1.879 | 3,45 |
| Ciminas - MG | coque verde de petróleo | 19.436 | 16.955 | 14,34 |
| Itaú - MG | resíduos de borracha | 1.634 | 1.488 | 1,78 |
| | coque verde de petróleo | 1.286 | 734 | 0,88 |
| | bagaço de cana | 61 | 27 | 0,03 |
| Paraíso/ Barroso - MG | coque verde de petróleo | 582 | 514 | 0,87 |
| Paraíso/ Cantagalo - RJ | raspas de pneus | 5.515 | 4.870 | 14,07 |
| | coque verde de petróleo | 5.183 | 4.576 | 13,22 |
| | alcatrão | 16.825 | 15.572 | 44,98 |
| | moinha de coque | 4.825 | 2.720 | 7,86 |
| Quimbrasil - SP | lenha | 18.455 | 3.867 | 10,26 |
| Votorantim - SP | moinha de coque | 477 | 355 | 0,27 |
| Gaúcho - RS | casca de arroz | 30.378 | 9.372 | 23,65 |
| | coque verde de petróleo | 566 | 482 | 1,22 |
| Quimbrasil - RS | casca de arroz | 12.109 | 3.607 | 11,28 |
| | coque verde de petróleo | 7.506 | 5.590 | 17,48 |
| Mato Grosso - MT | bagaço de cana | 33 | 6 | 0,02 |
| | palha de arroz | 2.868 | 767 | 2,35 |
| | serragem | 1.212 | 272 | 0,83 |
| Goiás - GO | casca de arroz | 2.547 | 959 | 1,94 |
| | moinha de carbono | 216 | 197 | 0,40 |
| | raspas de pneus | 1.180 | 1.101 | 2,23 |
| Tocantins - DF | resíduos de borracha | 1.030 | 822 | 1,90 |
| TOTAL | | 141.542 | 79.967 | 3,98 |

| OUTROS ENERGÉTICOS | CONSUMO ANUAL | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1985 | | 1986 | | 1987 | | 1988 | | 1989 | | 1990 | | 1991 | | 1992 | | 1993 | | 1994 | | 1995 | |
| | t | tEOC | t | tEOC | t | tEOC | t | tEOC | t | tEOC | t | tEOC | t | tEOC | t | tEOC | t | tEOC | t | tEOC | t | tEOC |
| casca de babaçu | 305 | | 456 | 182 | 625 | 250 | 1.288 | 512 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | |
| casca de arroz | 34.891 | | 32.196 | 11.591 | 40.793 | 14.686 | 6.040 | 21.614 | 52.595 | 18.934 | 30.599 | 11.016 | 50.991 | 18.357 | 34.021 | 12.248 | 42.989 | 15.476 | 46.338 | 16.682 | 45.034 | 13.938 |
| moinha de carbono | | | 47.223 | 26.917 | 45.575 | 25.978 | 27.083 | 15.437 | 24.556 | 13.997 | 30.745 | 17.525 | 20.055 | 11.431 | 3.232 | 1.842 | 2.334 | 1.330 | 1.897 | 1.081 | 216 | 197 |
| alcatrão de madeira | | | 152 | 82 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| serragem de madeira | | | 662 | 351 | 33 | 11 | 105 | 35 | 0 | 0 | | | | | 0 | 0 | 2.492 | 897 | 0 | 0 | 1.212 | 272 |
| resíduos de madeira | | | 21.841 | 6.334 | 39.192 | 11.366 | 51.003 | 14.791 | 31.083 | 9.014 | 26.511 | 7.688 | 21.140 | 6.131 | 7.612 | 2.208 | 14.687 | 4.259 | | | | |
| raspas de pneus | | | 66 | 59 | 67 | 60 | 3.920 | 3.489 | 5.146 | 4.580 | 6.798 | 6.050 | 8.390 | 7.467 | 7.274 | 6.474 | 6.948 | 6.184 | 7.282 | 6.481 | 6.695 | 5.971 |
| turfas | 3.064 | | 5.644 | 1.524 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| terra fuller | | | 2.587 | 595 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| terra clarificante | 1.268 | | 184 | 61 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| gás pobre | 5.980 | | 2.185 | 219 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| carbono peletizado | | | | | 458 | 289 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4.481 | 3.450 | | | | |
| coque verde de petróleo | | | | | 15.097 | 12.078 | 73.658 | 58.926 | 3.820 | 3.056 | 4.000 | 3.200 | 15.028 | 12.022 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 34.559 | 28.851 |
| rejeito carbonoso 5.100 | | | | | 4.443 | 2.044 | 11.697 | 5.381 | 141 | 65 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| rejeito carbonoso 4.500 | | | | | 16.731 | 6.860 | 4.849 | 1.988 | 465 | 191 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| lenha | 6.978 | | | | 0 | 0 | 25.525 | 6.892 | 10.843 | 2.928 | 7.468 | 2.016 | 0 | 0 | | | | | 11.275 | 3.270 | 18.455 | 3.867 |
| carvão coque | | | | | | | | | | | | | 17.279 | 11.059 | 1.383 | 885 | 1.269 | 812 | 2.847 | 1.822 | | |
| alcatrão | | | | | | | | | | | | | 8.327 | 6.995 | 2.407 | 2.022 | 1.305 | 1.096 | 1.804 | 1.515 | 16.825 | 15.572 |
| pó coletor de alto forno | | | | | | | | | | | | | 9.960 | 3.287 | 8.272 | 2.730 | 464 | 153 | 0 | 0 | | |
| carvão peletizado | | | | | | | | | | | | | 6.972 | 5.368 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| bagaço de cana | | | | | | | | | | | | | 1.243 | 385 | 2.052 | 636 | 1.035 | 321 | 740 | 229 | 796 | 251 |
| moinha de coque | | | | | | | | | | | | | 4.558 | 2.097 | 816 | 375 | 1.004 | 462 | 3.909 | 1.798 | 5.302 | 3.075 |
| chips de madeira | | | | | | | | | | | | | 2.532 | 785 | 81 | 25 | 19 | 6 | 0 | 0 | | |
| pó de coque | | | | | | | | | | | | | 118 | 52 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| resíduos de pinus | | | | | | | | | | | | | | | 2.297 | 482 | 730 | 153 | 0 | 0 | | |
| palha de arroz | | | | | | | | | | | | | | | 1.153 | 392 | 0 | 0 | 2.105 | 716 | 2.868 | 767 |
| madeira | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 0 | 3.331 | 866 | 482 | 125 | 457 | 119 |
| borra de alcatrão | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| tar | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 3.381 | 1.893 | 4.356 | 2.898 |
| resíduos de borracha | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 2.664 | 2.310 |
| TOTAL ( tEOC) (*) | | | 1.997.258 | | 2.092.756 | | 2.009.636 | | 1.959.959 | | 1.970.941 | | 2.044.436 | | 1.641.306 | | 1.717.575 | | 1.718.846 | | 2.008.545 | |

(*) TOTAL = energéticos totais consumidos (convencionais + outros)
1 tEOC = 10.400 Mcal

# ANEXO VI

## MINAS GERAIS: PRODUÇÃO DE CIMENTO E CONSUMO DE ENERGÉTICOS PARA FINS TÉRMICOS PELAS FÁBRICAS DE CIMENTO NO PERÍODO 1986 - 1995 E OUTRAS INFORMAÇÕES

**MINAS GERAIS:**
**PRODUÇÃO DE CIMENTO E CONSUMO DE ENERGÉTICOS PARA FINS TÉRMICOS PELAS FÁBRICAS DE CIMENTO NO PERÍODO 1986 - 1995 E OUTRAS INFORMAÇÕES**

## 1. CAUÊ

| | |
|---|---|
| NOME | CIMENTO CAUÊ |
| RAZÃO SOCIAL | CIMENTO CAUÊ SA |
| MUNICÍPIO | Pedro Leopoldo |
| BACIA HIDROGRÁFICA | Rio São Francisco |
| CURSO DÁGUA MAIS PRÓXIMO | Ribeirão da Mata |
| NÚMERO DE EMPREGADOS | |
| UTILIZA CARVÃO VEGETAL ? | sim |

Fonte: FCE, Processo COPAM/PA/Nº 015/78

Produção anual de cimento e consumo de combustíveis

| ANO | PRODUÇÃO (t cimento/ ano) | CONSUMO (t / ano) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ÓLEO COMBUSTÍVEL | | CARVÃO MINERAL | | CARVÃO VEGETAL | |
| | | (t) | (%) | (t) | (%) | (t) | (%) |
| 1986 | 996.996 | - | - | 27.013 | 40,26 | 40.089 | 59,74 |
| | | 8 | 0,02 | 45.472 | 58,20 | 32.641 | 41,76 |
| 1987 | 1.006.745 | 403 | 0,52 | 86.784 | 55,89 | 67.689 | 43,59 |
| 1988 | 973.498 | 3.380 | 5,36 | 64.136 | 50,82 | 55.294 | 43,82 |
| 1989 | 1.008.473 | 7.923 | 13,75 | 36.135 | 31,35 | 63.288 | 54,90 |
| 1990 | 1.005.692 | 23.247 | 39,07 | 21.280 | 17,88 | 51.216 | 43,04 |
| 1991 | 1.062.382 | 54.188 | 88,66 | 2.638 | 2,16 | 11.227 | 9,18 |
| 1992 | 882.836 | 47.471 | 98,27 | - | - | 1.667 | 1,73 |
| 1993 | 889.937 | 45.962 | 100,00 | - | - | - | - |
| 1994 | 913.552 | 35.615 | 77,33 | - | - | 20.886 | 22,67 |
| 1995(1) | 1.063.399 | 32.593 | 59,86 | - | - | 41.723 | 36,69 |
| 1996 | | | | | | | |

(1) Outros energéticos: 2.103 t finos de coque (3,45%)
Fonte: SNIC

Matriz de energéticos para fins térmicos no período 1990/1995

| Ano | óleo combustível | carvão vegetal | carvão mineral | outros |
|---|---|---|---|---|
| 1990 | 39,07 | 43,04 | 17,88 | - |
| 1991 | 88,66 | 9,18 | 2,16 | - |
| 1992 | 98,27 | 1,73 | - | - |
| 1993 | 100,00 | - | - | - |
| 1994 | 77,33 | 27,67 | - | - |
| 1995 | 59,86 | 36,69 | - | 3,45 |

Fonte: SNIC

## 2. CIMINAS

| | |
|---|---|
| NOME | CIMENTO CIMINAS |
| RAZÃO SOCIAL | HOLDERCIM DO BRASIL- DIVISÃO CIMINAS |
| MUNICÍPIO | Pedro Leopoldo |
| BACIA HIDROGRÁFICA | Rio São Francisco |
| CURSO DÁGUA MAIS PRÓXIMO | Ribeirão Palmital e Ribeirão da Mata |
| NÚMERO DE EMPREGADOS | |
| UTILIZA CARVÃO VEGETAL ? | sim |

Fonte: FCE, Processo COPAM/PA/Nº 062/81

Produção anual de cimento e consumo de combustíveis

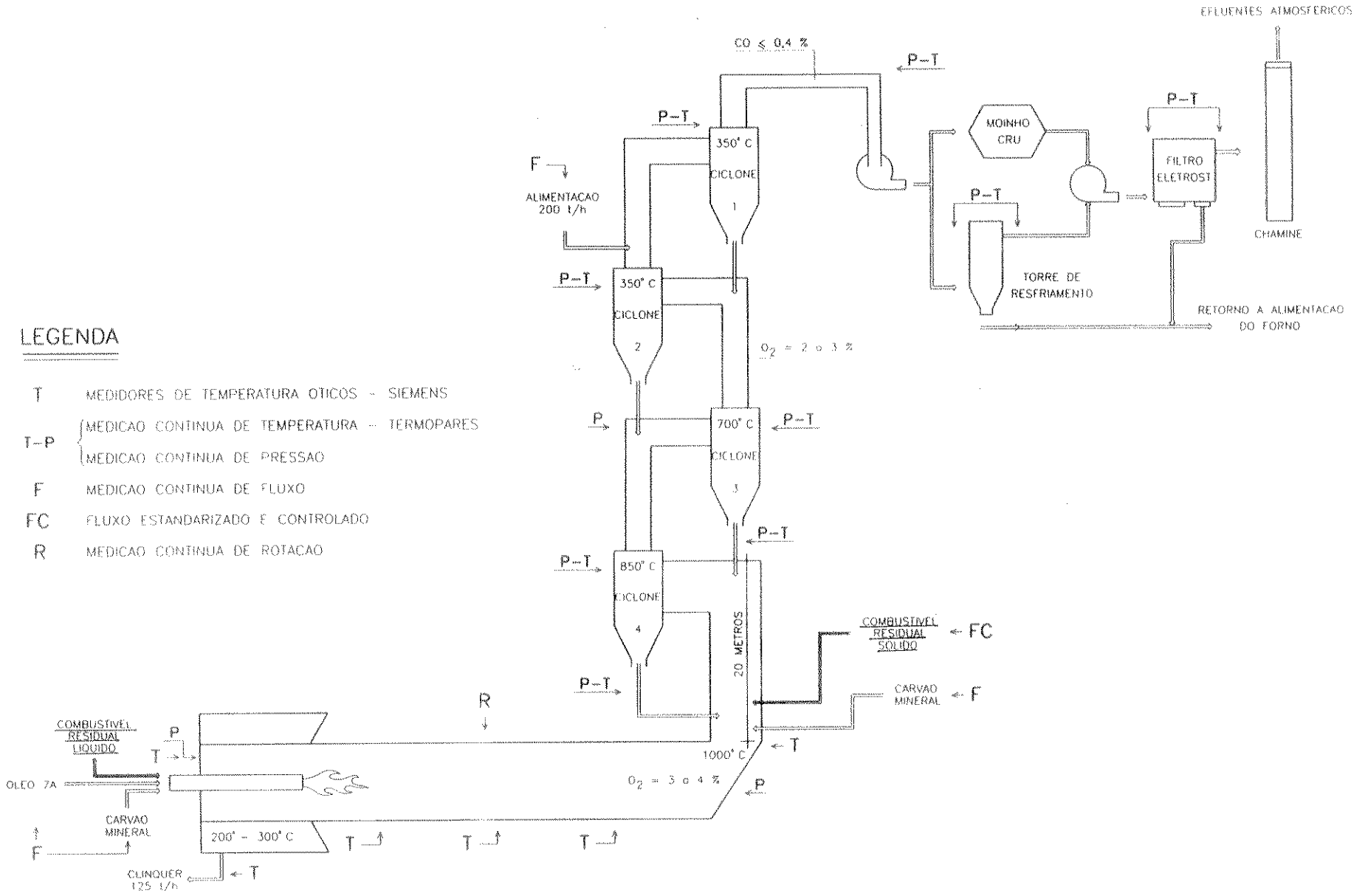
| ANO | PRODUÇÃO (t cimento/ ano) | CONSUMO (t / ano) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ÓLEO COMBUSTÍVEL | | CARVÃO MINERAL | | CARVÃO VEGETAL | |
| | | ( t ) | (%) | ( t ) | (%) | ( t ) | (%) |
| 1986 | 1.282.778 | 357 | 0,79 | 77.950 | 85,82 | 12.162 | 13,39 |
| | | 181 | 0,25 | 117.940 | 82,20 | 25.174 | 17,55 |
| 1987 | 1.125.790 | 357 | 0,32 | 163.115 | 73,58 | 57.857 | 26,10 |
| 1988 | 1.137.131 | 279 | 0,27 | 154.589 | 73,52 | 55.112 | 26,21 |
| 1989 | 1.188.114 | 5.073 | 5,69 | 100.796 | 56,51 | 67.437 | 37,81 |
| 1990 | 1.202.386 | 30.126 | 33,59 | 27.091 | 15,10 | 92.020 | 51,30 |
| 1991 | 1.313.912 | 7.066 | 6,98 | 74.421 | 37,08 | 112.245 | 55,93 |
| 1992 | 1.054.237 | 39.558 | 49,92 | 2.252 | 1,42 | 77.126 | 48,66 |
| 1993 | 1.016.512 | 26.512 | 37,79 | - | | 87.288 | 62,21 |
| 1994 | 1.106.363 | 23.589 | 32,89 | - | | 96.283 | 67,11 |
| 1995(1) | 1.225.498 | 32.362 | 27,38 | 13.540 | 7,92 | 100.469 | 50,36 |
| 1996 | | | | | | | |

(1) Outros energéticos: 19.436 t de coque verde de petróleo (14,34%)
Fonte: SNIC

Matriz de energéticos para fins térmicos no período 1990/1995

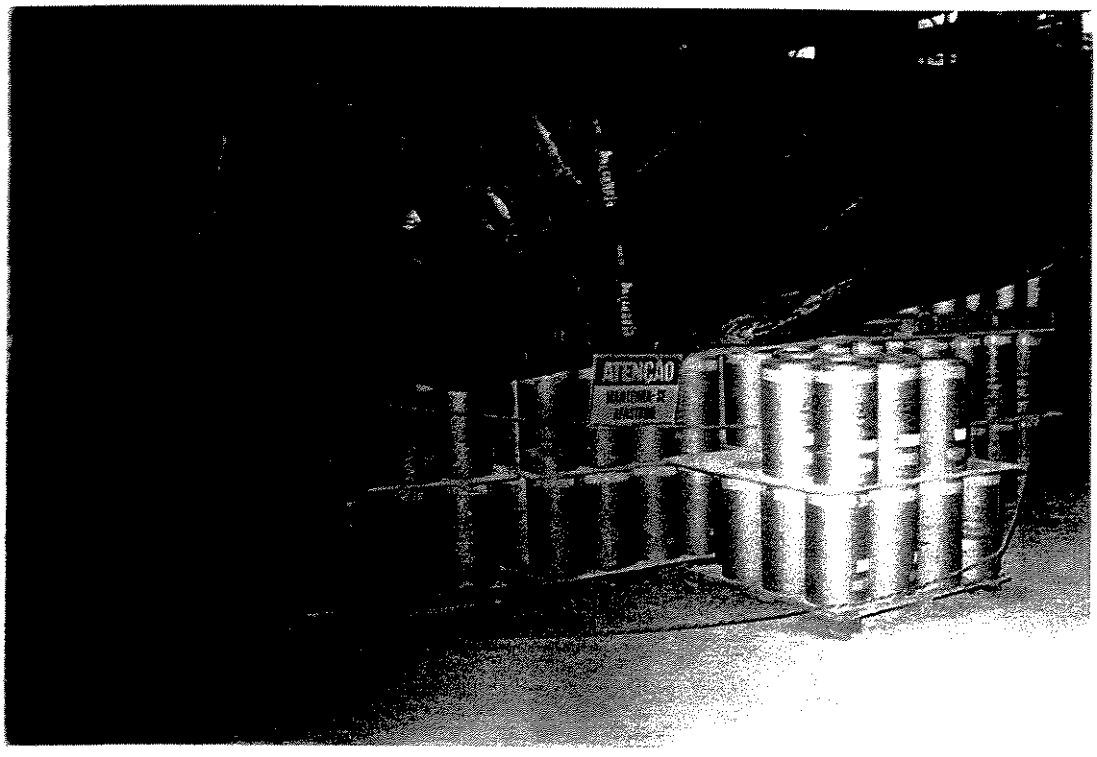
| Ano | óleo combustível | carvão vegetal | carvão mineral | outros |
|---|---|---|---|---|
| 1990 | 33,59 | 51,30 | 15,10 | - |
| 1991 | 88,66 | 9,18 | 2,16 | - |
| 1992 | 98,27 | 1,73 | - | - |
| 1993 | 37,79 | 62,21 | - | - |
| 1994 | 32,89 | 67,11 | - | - |
| 1995 | 27,38 | 50,36 | 7,92 | 14,34 |

Fonte: SNIC

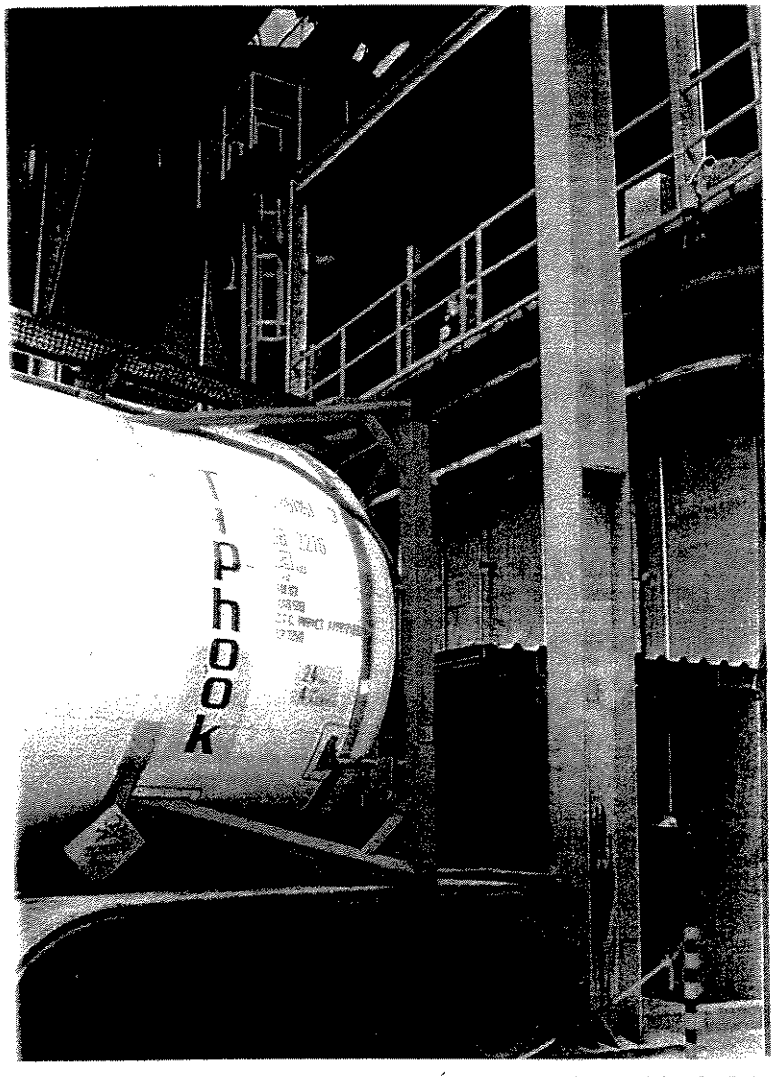



FLUXOGRAMA PARA A QUEIMA DE COMBUSTIVEL RESIDUAL NO FORNO No. 2 DA CIMINAS

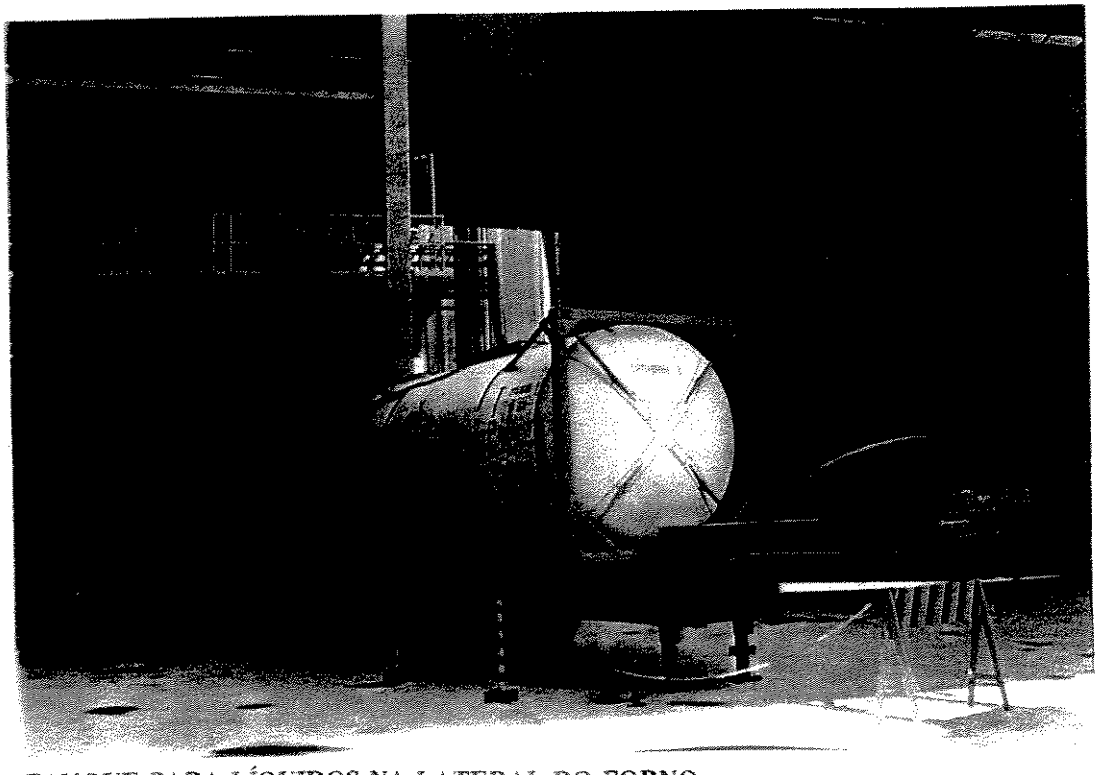
DEPÓSITO INTERMEDIÁRIO.
OBS.: COBERTURA PLÁSTICA, PORTÕES, CADEADOS, PLACAS.



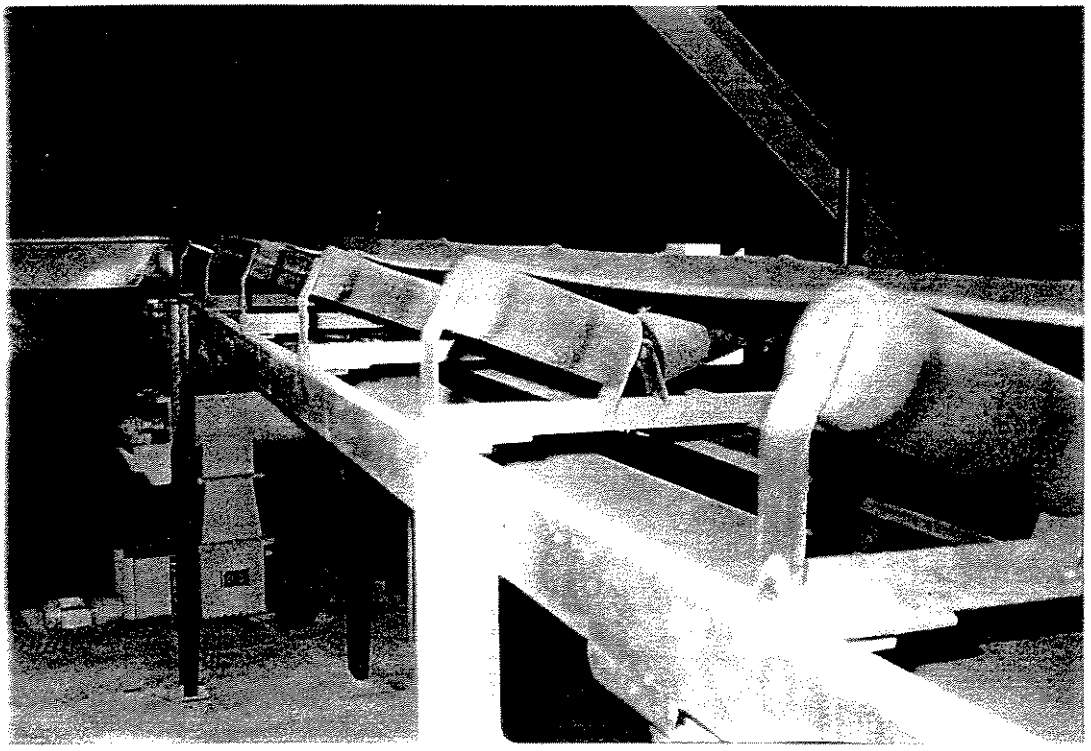

DEPÓSITO MATERIAL EM TRÂNSITO.
OBS.: PAIOLAS, PLACAS, ÁREA ISOLADA, COBERTURA.



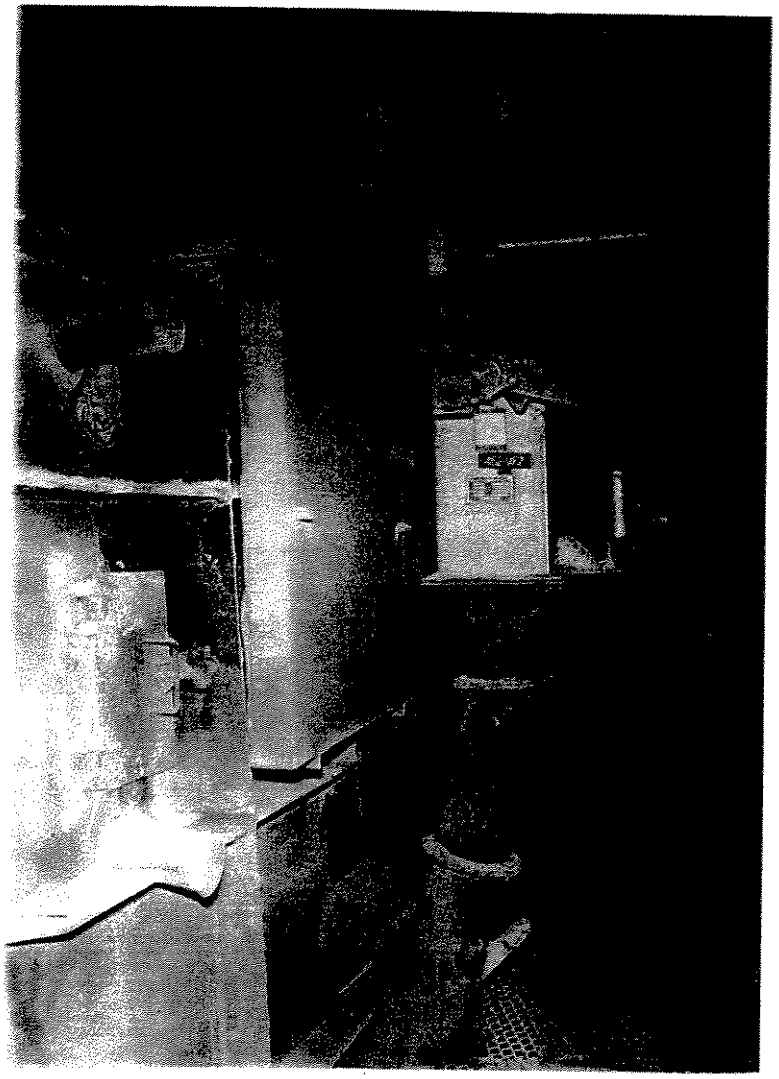

TANQUE DE TRANSPORTE DE LÍQUIDOS, ESTACIONADO.



TANQUE PARA LÍQUIDOS NA LATERAL DO FORNO.



CORREIA TRANSPORTADORA PARA RESÍDUOS.
OBS.: NA LATERAL ESQUERDA SE OBSERVA VISTA DO MOTOR DE COMANDO DAS VÁLVULAS INTERMITENTES.



OBS.: APRECIA-SE CAIXA DE VÁLVULAS INTERMITENTES, COMPORTA PNEUMÁTICA DE SEGURANÇA. PONTO DE DESCARGA NO FORNO.

VISTA DO DUTO PRINCIPAL DE DESCARGA AO FORNO, COMUM PARA PARAFUSO OU CORREIA TRANSPORTADORA.

## 3. MAUÁ

| | |
|---|---|
| NOME | CIMENTO MAUÁ - FÁBRICA DE MATOZINHOS<br>Grupo LAFARGE |
| RAZÃO SOCIAL | CIMENTO MAUÁ SA |
| MUNICÍPIO | Matozinhos |
| BACIA HIDROGRÁFICA | Rio São Francisco |
| CURSO DÁGUA MAIS PRÓXIMO | Córrego Palmeiras e Ribeirão da Mata |
| NÚMERO DE EMPREGADOS | |
| UTILIZA CARVÃO VEGETAL ? | sim |

Fonte: FCE, Processo COPAM/PA/Nº 042/83

Produção anual de cimento e consumo de combustíveis

| ANO | PRODUÇÃO (t cimento/ ano) | CONSUMO (t / ano) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ÓLEO COMBUSTÍVEL | | CARVÃO MINERAL | | CARVÃO VEGETAL | |
| | | (t) | (%) | (t) | (%) | (t) | (%) |
| 1986 | 550.119 | 24 | 0,12 | 20.502 | 54,34 | 17.119 | 45,45 |
| | | 47 | 0,22 | 18.502 | 42,45 | 24.985 | 57,33 |
| 1987 | 563.224 | 154 | 0,40 | 30.625 | 39,74 | 46.128 | 59,80 |
| 1988 | 559.509 | 269 | 0,64 | 42.538 | 50,72 | 40.790 | 48,64 |
| 1989 | 573.088 | 297 | 0,84 | 19.991 | 28,12 | 50.509 | 71,05 |
| 1990 | 597.599 | 177 | 0,49 | 16.461 | 22,66 | 55.821 | 77,85 |
| 1991 | 633.006 | 292 | 0,75 | 28.358 | 36,42 | 48.824 | 62,70 |
| 1992 | 503.110 | 1.846 | 5,67 | 10.697 | 16,43 | 50.720 | 77,90 |
| 1993 | 500.549 | 1.494 | 4,81 | - | - | 59.162 | 95,19 |
| 1994 | 500.331 | 439 | 1,46 | - | - | 59.332 | 98,54 |
| 1995 | 589.602 | 557 | 1,46 | - | - | 75.259 | 98,54 |
| 1996 | | | | | | | |

Fonte: SNIC

Matriz de energéticos para fins térmicos no período 1990/1995

| Ano | óleo combustível | carvão vegetal | carvão mineral | outros |
|---|---|---|---|---|
| 1990 | 0,49 | 76,85 | 22,66 | - |
| 1991 | 0,75 | 62,70 | 36,42 | - |
| 1992 | 5,67 | 77,90 | 16,43 | - |
| 1993 | 4,81 | 95,19 | - | - |
| 1994 | 1,46 | 98,54 | - | - |
| 1995 | 1,46 | 98,54 | - | - |

Fonte: SNIC

## 4. SOEICOM

| | |
|---|---|
| NOME | SOEICOM SA |
| RAZÃO SOCIAL | SOEICOM Soc. Emp. Industriais, Comércio e Mineração |
| MUNICÍPIO | Vespasiano - MG |
| BACIA HIDROGRÁFICA | Rio São Francisco |
| CURSO DÁGUA MAIS PRÓXIMO | Ribeirão da Mata |
| NÚMERO DE EMPREGADOS | 388 (1997), sendo 248 técnicos e 140 administrativos |
| UTILIZA CARVÃO VEGETAL ? | não |

Fonte: SOEICOM, questionário (1997)

Produção anual de cimento e consumo de combustíveis

| ANO | PRODUÇÃO (t cimento/ ano) | CONSUMO (t / ano) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ÓLEO COMBUSTÍVEL | | CARVÃO MINERAL | | CARVÃO VEGETAL | |
| | | ( t ) | (%) | ( t ) | (%) | ( t ) | (%) |
| 1986 | 1.045.054 | 1.085 | 2,55 | 17.264 | 20,28 | 64.168 | 75,36 |
| | | 1.567 | 3,34 | 35.834 | 38,18 | 54.882 | 58,48 |
| 1987 | 1.064.803 | 3.907 | 5,18 | 27.729 | 18,39 | 56.391 | 74,80 |
| 1988 | 1.068.704 | 11.330 | 14,27 | 15.174 | 9,56 | 113.323 | 71,37 |
| 1989 | 970.144 | 13.962 | 20,56 | 4.758 | 3,50 | 102.389 | 75,40 |
| 1990 | 524.586 | 14.239 | 39,29 | - | - | 44.004 | 60,71 |
| 1991 | 958.654 | 64.885 | 86,91 | 1.253 | 0,84 | 18.298 | 12,25 |
| 1992 | 959.469 | 75.731 | 100,00 | - | - | - | - |
| 1993 | 1.051.334 | 73.732 | 100,00 | - | - | - | - |
| 1994 | 1.087.855 | 73.073 | 100,00 | - | - | - | - |
| 1995 | 1.194.274 | 82.168 | 100,00 | - | - | - | - |
| 1996 | 933.198 | 50.461 | 100,00 | - | - | - | - |

Fonte: SNIC; SOEICOM ( questionário, 1997)

Matriz de energéticos para fins térmicos no período 1990/1995

| Ano | óleo combustível | carvão vegetal | carvão mineral | outros |
|---|---|---|---|---|
| 1990 | 39,29 | 60,71 | - | - |
| 1991 | 86,91 | 12,25 | 0,84 | - |
| 1992 | 100,00 | - | - | - |
| 1993 | 100,00 | - | - | - |
| 1994 | 100,00 | - | - | - |
| 1995 | 100,00 | - | - | - |

Fonte: SNIC

## 5. PARAÍSO

| | |
|---|---|
| NOME | CIMENTO PARAÍSO |
| RAZÃO SOCIAL | HOLDERCIM DO BRASIL - DIVISÃO PARAÍSO |
| MUNICÍPIO | Barroso |
| BACIA HIDROGRÁFICA | Rio Grande |
| CURSO DÁGUA MAIS PRÓXIMO | Rio das Mortes |
| NÚMERO DE EMPREGADOS | 714 (1994) + 300 trabalhadores a cargo de empreiteiras |
| UTILIZA CARVÃO VEGETAL ? | não |

Fonte: Processo COPAM/PA/Nº 006/81)

Produção anual de cimento e consumo de combustíveis

| ANO | PRODUÇÃO (t cimento/ ano) | CONSUMO (t / ano) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ÓLEO COMBUSTÍVEL | | CARVÃO MINERAL | | CARVÃO VEGETAL | |
| | | (t) | (%) | (t) | (%) | (t) | (%) |
| 1986 | 632.178 | -<br>62 | -<br>0,20 | 13.140<br>10.867 | 23,18<br>17,08 | 19.274<br>28.846 | 34,01<br>45,36 |
| 1987 | 631.198 | 2.687 | 3,78 | 41.520 | 29,19 | 53.650 | 37,71 |
| 1988 | 588.190 | 1.512 | 2,60 | 37.747 | 32,39 | 56.457 | 48,45 |
| 1989 | 546.883 | 8.833 | 14,80 | 30.934 | 25,91 | 53.564 | 44,87 |
| 1990 | 577.409 | 16.498 | 26,25 | 8.170 | 6,50 | 60.699 | 48,28 |
| 1991 | 633.320 | 28.102 | 50,26 | - | - | 30.407 | 27,19 |
| 1992 | 452.378 | 36.158 | 89,76 | - | - | - | - |
| 1993 | 438.359 | 22.752 | 93,32 | - | - | - | - |
| 1994 | 461.879 | 31.806 | 94,94 | - | - | - | - |
| 1995 | 622.579 | 58.577 | 99,13 | - | - | - | - |
| 1996 | | | | | | | |

Fonte: SNIC

Matriz de energéticos para fins térmicos no período 1990/1995

| Ano | óleo combustível | carvão vegetal | carvão mineral | outros |
|---|---|---|---|---|
| 1990 | 26,25 | 6,50 | 48,28 | 18,97 |
| 1991 | 50,26 | 27,19 | - | 22,68 |
| 1992 | 89,76 | - | - | 10,24 |
| 1993 | 93,32 | - | - | 6,68 |
| 1994 | 94,94 | - | - | 4,53 |
| 1995 | 99,13 | - | - | 0,87 |

Fonte: SNIC

## 6. TUPI

| | |
|---|---|
| NOME | CIMENTO TUPI |
| RAZÃO SOCIAL | CIMENTO TUPI SA |
| MUNICÍPIO | CARANDAÍ - Distrito de Pedra do Sino |
| BACIA HIDROGRÁFICA | Rio Doce |
| CURSO DÁGUA MAIS PRÓXIMO | Córrego da Usina |
| NÚMERO DE EMPREGADOS | 178 fixos + 100 contratados de empreiteiras |
| UTILIZA CARVÃO VEGETAL ? | não |

Fonte: FCE, Processo COPAM/PA/Nº 71/79; Tupi (questionário, 1997)

Produção anual de cimento e consumo de combustíveis

| ANO | PRODUÇÃO (t cimento/ ano) | CONSUMO (t / ano) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ÓLEO COMBUSTÍVEL | | CARVÃO MINERAL | | CARVÃO VEGETAL | |
| | | (t) | (%) | (t) | (%) | (t) | (%) |
| 1986 | 425.170 | - | - | 53.630<br>63.700 | 100,00<br>100,00 | - | - |
| 1987 | 362.720 | 41.502 | 61,91 | 51.060 | 38,09 | - | - |
| 1988 | 384.280 | 46.172 | 77,27 | 27.160 | 22,73 | - | - |
| 1989 | 394.752 | 44.680 | 82,35 | 19.151 | 17,65 | - | - |
| 1990 | 448.749 | 41.000 | 82,35 | 17.576 | 17,65 | - | - |
| 1991 | 466.614 | 44.424 | 80,77 | 21.147 | 19,23 | - | - |
| 1992 | 364.461 | 35.532 | 81,03 | 15.230 | 18,97 | - | - |
| 1993 | 383.630 | 25.214 | 73,87 | 17.837 | 26,13 | - | - |
| 1994 | 418.293 | 24.854 | 80,40 | - | - | 12.121 | 19,60 |
| 1995 | 463.798 | 43.802 | 97,74 | 1.643 | 2,26 | - | - |
| 1996 | | | | | | | |

Fonte: SNIC

Matriz de energéticos para fins térmicos no período 1990/1995

| Ano | óleo combustível | carvão vegetal | carvão mineral | outros |
|---|---|---|---|---|
| 1990 | 82,35 | - | 17,65 | - |
| 1991 | 80,77 | - | 19,23 | - |
| 1992 | 81,03 | - | 18,97 | - |
| 1993 | 73,87 | - | 26,13 | - |
| 1994 | 80,40 | 19,60 | - | - |
| 1995 | 97,74 | - | 2,26 | - |

Fonte: SNIC

## 7. CMOC - ARCOS

| | |
|---|---|
| NOME | CIMENTO MAUÁ - FÁBRICA DE ARCOS<br>Grupo LAFARGE |
| RAZÃO SOCIAL | COMPANHIA MINAS OESTE DE CIMENTO SA |
| MUNICÍPIO | Arcos - MG |
| BACIA HIDROGRÁFICA | Rio São Francisco |
| CURSO DÁGUA MAIS PRÓXIMO | Rio Candonga |
| NÚMERO DE EMPREGADOS | 100 (agosto/1995) |
| UTILIZA CARVÃO VEGETAL ? | Sim, moinha |

Fonte: FCE, Processo COPAM/PA/Nº 426/95/01/95

Produção anual de cimento e consumo de combustíveis

| ANO | PRODUÇÃO (t cimento/ ano) | CONSUMO (t / ano) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ÓLEO COMBUSTÍVEL (t) | (%) | CARVÃO MINERAL (t) | (%) | CARVÃO VEGETAL (t) | (%) |
| 1986 | 134.735 | - | - | 1.532<br>663 | 13,92<br>3,71 | 9.475<br>17.218 | 86,08<br>96,29 |
| 1987 | 127.943 | - | - | 3.380 | 12,15 | 12.223 | 87,85 |
| 1988 | 120.925 | - | - | 2.710 | 9,41 | 26.095 | 90,59 |
| 1989 | 116.622 | 1.345 | 9,55 | 1.204 | 4,27 | 24.276 | 86,18 |
| 1990 | 117.014 | 1.805 | 9,03 | 500 | 2,08 | 10.680 | 88,89 |
| 1991 | 111.516 | 6.328 | 43,49 | - | - | 16.445 | 56,51 |
| 1992 | 99.620 | 6.638 | 49,03 | - | - | 13.803 | 50,97 |
| 1993 | 100.609 | 5.015 | 38,15 | - | - | 16.259 | 61,85 |
| 1994 | 99.146 | 5.431 | 42,35 | - | - | 14.786 | 57,65 |
| 1995 | 83.154 | 2.732 | 42,35 | - | - | 7.438 | 57,65 |
| 1996 | | | | | | | |

Fonte: SNIC

Matriz de energéticos para fins térmicos no período 1990/1995

| Ano | óleo combustível | carvão vegetal | carvão mineral | outros |
|---|---|---|---|---|
| 1990 | 9,03 | 88,89 | 2,08 | - |
| 1991 | 43,49 | 56,51 | - | - |
| 1992 | 49,03 | 50,97 | - | - |
| 1993 | 38,15 | 61,85 | - | - |
| 1994 | 32,89 | 67,11 | - | - |
| 1995 | 42,35 | 57,65 | - | - |

Fonte: SNIC

## 8. CMOC - UBERABA

| | |
|---|---|
| NOME | CIMENTO MAUÁ - FÁBRICA PONTE ALTA<br>Grupo LAFARGE |
| RAZÃO SOCIAL | COMPANHIA MINAS OESTE DE CIMENTO SA |
| MUNICÍPIO | Uberaba - MG |
| BACIA HIDROGRÁFICA | Rio Grande |
| CURSO DÁGUA MAIS PRÓXIMO | Ribeirão Ponte Alta |
| NÚMERO DE EMPREGADOS | 141 (dezembro/1994); 109 (questionáio/1997) |
| UTILIZA CARVÃO VEGETAL ? | não |

Fonte: FCE, Processo COPAM/PA/Nº 157/93/01/95; CMOC (questionário, 1997)

Produção anual de cimento e consumo de combustíveis

| ANO | PRODUÇÃO (t cimento/ ano) | CONSUMO (t / ano) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ÓLEO COMBUSTÍVEL | | CARVÃO MINERAL | | CARVÃO VEGETAL | |
| | | ( t ) | (%) | ( t ) | (%) | ( t ) | (%) |
| 1986 | 98.505 | 4.167<br>5.234 | 72,96<br>95,17 | - | - | - | - |
| 1987 | 90.517 | 9.061 | 96,43 | 10.918 | 11,70 | 74.062 | 79,32 |
| 1988 | 94.973 | 7.041 | 67,93 | - | - | - | - |
| 1989 | 96.529 | 8.382 | 75,03 | - | - | - | - |
| 1990 | 95.260 | 9.980 | 100,00 | - | - | - | - |
| 1991 | 95.342 | 5.520 | 100,00 | - | - | - | - |
| 1992 | 96.311 | 9.641 | 100,00 | - | - | - | - |
| 1993 | 95.006 | 8.553 | 100,00 | - | - | - | - |
| 1994 | 95.343 | 9.652 | 100,00 | - | - | - | - |
| 1995 | 96.960 | 8.856 | 100,00 | - | - | - | - |
| 1996 | 123.000 | 12.600 | 100,00 | | | | |

Fonte: SNIC; CMOC (questionário, 1997)

Matriz de energéticos para fins térmicos no período 1990/1995

| Ano | óleo combustível | carvão vegetal | carvão mineral | outros |
|---|---|---|---|---|
| 1990 | 100,00 | - | - | - |
| 1991 | 100,00 | - | - | - |
| 1992 | 100,00 | - | - | - |
| 1993 | 100,00 | - | - | - |
| 1994 | 42,35 | 57,65 | - | - |
| 1995 | 100,00 | - | - | - |

Fonte: SNIC

## 9. ITAÚ

| | |
|---|---|
| NOME | CIMENTO ITAÚ SA |
| RAZÃO SOCIAL | COMPANHIA DE CIMENTO PORTLAND ITAÚ |
| MUNICÍPIO | Itaú de Minas |
| BACIA HIDROGRÁFICA | Rio Grande |
| CURSO DÁGUA MAIS PRÓXIMO | Córrego Taboca |
| NÚMERO DE EMPREGADOS | |
| UTILIZA CARVÃO VEGETAL ? | sim |

Fonte: FCE, Processo COPAM/PA/Nº 015/79

Produção anual de cimento e consumo de combustíveis

| ANO | PRODUÇÃO (t cimento/ ano) | CONSUMO (t / ano) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ÓLEO COMBUSTÍVEL | | CARVÃO MINERAL | | CARVÃO VEGETAL | |
| | | (t) | (%) | (t) | (%) | (t) | (%) |
| 1986 | 844.512 | 203 | 0,78 | 43.100 | 82,65 | 8.642 | 16,57 |
| | | - | - | 50.839 | 75,25 | 16.720 | 24,75 |
| 1987 | 801.981 | 1.229 | 1,96 | 119.038 | 95,14 | 3.622 | 2,90 |
| 1988 | 869.609 | 3.950 | 6,04 | 92.761 | 70,88 | 30.200 | 23,08 |
| 1989 | 1.000.537 | 64.935 | 81,91 | 24.492 | 15,45 | 4.182 | 2,64 |
| 1990 | 1.114.241 | 70.163 | 85,71 | 20.942 | 12,79 | 2.445 | 1,49 |
| 1991 | 1.125.645 | 66.655 | 77,94 | 37.738 | 22,06 | - | - |
| 1992 | 942.781 | 62.923 | 90,36 | 45 | 0,03 | 13.380 | 9,61 |
| 1993 | 952.658 | 61.766 | 85,14 | 2.049 | 1,41 | 19.516 | 13,45 |
| 1994 | 912.926 | 51.007 | 74,13 | - | - | 35.604 | 25,87 |
| 1995(*) | 1.150.603 | 63.012 | 75,55 | - | - | 35.755 | 21,75 |
| 1996 | | | | | | | |

(*) Outros energéticos: 1.634 t resíduos de borracha (1,78%)
1.286 t coque verde de petróleo (0,88%)
61 t bagaço de cana (0,03%)

Fonte: SNIC

Matriz de energéticos para fins térmicos no período 1990/1995

| Ano | óleo combustível | carvão vegetal | carvão mineral | outros |
|---|---|---|---|---|
| 1990 | 85,71 | 1,49 | 12,79 | - |
| 1991 | 77,94 | - | 22,06 | - |
| 1992 | 90,36 | 9,61 | 0,03 | - |
| 1993 | 85,14 | 13,45 | 1,41 | - |
| 1994 | 74,13 | 25,87 | - | - |
| 1995 | 75,55 | 21,75 | - | 2,69 |

Fonte: SNIC

## 10. MATSULFUR

| | |
|---|---|
| NOME | CIMENTO MONTES CLAROS |
| RAZÃO SOCIAL | COMPANHIA DE MATERIAIS SULFUROSOS - MATSULFUR |
| MUNICÍPIO | Montes Claros |
| BACIA HIDROGRÁFICA | Rio São Francisco |
| CURSO DÁGUA MAIS PRÓXIMO | Ribeirão dos Bois |
| NÚMERO DE EMPREGADOS | 217 (1997) |
| UTILIZA CARVÃO VEGETAL ? | sim, moinha (150 t/dia) |

Fonte: FCE, Processo COPAM/PA/Nº 079/82/07/94; Matsulfur (questionário, 1997)

Produção anual de cimento e consumo de combustíveis

| ANO | PRODUÇÃO (t cimento/ ano) | CONSUMO (t / ano) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ÓLEO COMBUSTÍVEL | | CARVÃO MINERAL | | CARVÃO VEGETAL | |
| | | ( t ) | (%) | ( t ) | (%) | ( t ) | (%) |
| 1986 | 790.000 | 239 | 1,3 | 1.530 | 4,34 | 33.259 | 94,31 |
| | | 4.434 | 13,57 | - | - | 56.503 | 86,43 |
| 1987 | 928.000 | 4.194 | 8,98 | 10.918 | 11,70 | 74.062 | 79,32 |
| 1988 | 900.000 | 2.097 | 3,78 | - | - | 106.902 | 96,22 |
| 1989 | 885.000 | 20.303 | 34,03 | 7.861 | 6,59 | 70.843 | 59,38 |
| 1990 | 935.998 | 24.295 | 36,74 | 6.708 | 5,07 | 76.952 | 58,19 |
| 1991 | 980.000 | 32.783 | 47,37 | 6.286 | 4,54 | 66.550 | 48,08 |
| 1992 | 830.000 | 37.752 | 58,35 | - | - | 53.889 | 41,65 |
| 1993 | 730.000 | 40.023 | 61,99 | - | - | 49.084 | 38,01 |
| 1994 | 532.000 | 32.528 | 54,47 | - | - | 54.373 | 45,53 |
| 1995 | 585.000 | 34.180 | 56,38 | - | - | 47.255 | 43,62 |
| 1996 | | | | | | | |

Fonte: SNIC

Matriz de energéticos para fins térmicos no período 1990/1995

| Ano | óleo combustível | carvão vegetal | carvão mineral | outros |
|---|---|---|---|---|
| 1990 | 36,74 | 58,19 | 5,07 | - |
| 1991 | 47,37 | 48,08 | 4,54 | - |
| 1992 | 58,35 | 41,65 | - | - |
| 1993 | 61,99 | 38,01 | - | - |
| 1994 | 54,47 | 45,53 | - | - |
| 1995 | 56,38 | 43,62 | - | - |

Fonte: SNIC

# ANEXO VII

## DADOS SOBRE COQUE VERDE DE PETRÓLEO E ÓLEOS ULTRA-VISCOSOS PRODUZIDOS NA REFINARIA GABRIEL PASSOS - REGAP/PETROBRÁS

## DADOS SOBRE COQUE VERDE DE PETRÓLEO E ÓLEOS ULTRA-VISCOSOS PRODUZIDOS NA REFINARIA GABRIEL PASSOS - REGAP/PETROBRÁS

A produção de óleos ultra-viscosos e coque verde de petróleo pela REGAP, em 1996, foi a seguinte:

| | |
|---|---|
| óleo combustível 7A : | 482.819 t |
| óleo combustível 7B : | 2.660 t |
| óleo combustível 4A : | 144.139 t |
| óleo combustível 4B : | não foi produzido |
| coque verde de petróleo: | 207.406 t |

As quantidades acima eqüivalem à quantidade produzida e entregue às distribuidoras, de acordo com as demandas do mercado consumidor.

### Características do coque de petróleo produzido na REGAP

| CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS (1) | | | |
|---|---|---|---|
| PARÂMETRO | UNIDADE | MENOR VALOR | MAIOR VALOR |
| cinzas | % p/p | 0,12 | 0,35 |
| material volátil | %p/p | 7,49 | 11,70 |
| carbono fixo | %p/p | 88,0 | 92,25 |
| enxofre total | %p/p | 0,59 | 0,83 |
| PCS | (kcal/kg) | 8.400 | 8.700 |
| densidade | t/m$^3$ | 0,720 | 0,890 |
| **ANÁLISE DE METAIS (1)** | | | |
| PARÂMETRO | UNIDADE | MENOR VALOR | MAIOR VALOR |
| sódio | ppm | 55 | 200 |
| níquel | ppm | 89 | 105 |
| magnésio | ppm | 15 | 26 |
| titânio | ppm | 10 | 10 |
| cálcio | ppm | 48 | 616 |
| silício | ppm | 84 | 470 |
| fósforo | ppm | 10 | 12 |
| ferro | ppm | 162 | 406 |
| alumínio | ppm | 42 | 952 |
| vanádio | ppm | 120 | 165 |

(1) Os valores correspondem aos valores médios reportados a partir de amostras do produto em suas diversas granulometrias, obtidas após peneiramento.

Fonte: Petrobrás/REGAP (1997)

## Características dos óleos ultra- viscosos produzidos pela REGAP

| PARÂMETROS | Unidade | ÓLEO 4 A | ÓLEO 7 A | ÓLEO 7 B |
|---|---|---|---|---|
| poder calorifico inferior | kcal/kg | 9.585 | 9.620 | 9.620 |
| poder calorífico superior | kcal/kg | 10.015 | 10.030 | 10.100 |
| viscosidade | SSF a 50°C | 7.780 | 224.857 | 186.000 |
| enxofre total | % massa | 0,84 | 0,90 | 0,83 |
| ponto de fulgor | °C | 120,8 | 168,6 | 182,8 |
| densidade | 20/4°C | 1,0235 | 1,0234 | 1,0107 |
| carbono | % massa | 84,8 | 84,6 | 87,1 |
| hidrogênio | % massa | 9,9 | 10,1 | 11,1 |
| nitrogênio | % massa | 0,5 | 0,5 | 0,7 |
| cinzas | % massa | 0,044 | 0,069 | 0,064 |
| sódio | ppm | 21,40 | 30,37 | 20,20 |
| vanádio | ppm | 60,20 | 63,25 | 94,80 |
| níquel | ppm | 33,20 | 27,90 | 34,00 |
| alumínio | ppm | 15,00 | 12,20 | 9,50 |
| ferro | ppm | 26,90 | 38,30 | 14,45 |
| cloreto | ppm | 35,00 | 35,00 | 35,00 |
| silício | ppm | 19,25 | 16,00 | 3,95 |
| potássio | ppm | não disponível | não disponível | não disponível |
| cálcio | ppm | 47,00 | 47,00 | 47,00 |

Fonte: Petrobrás/ REGAP (1997)

# ANEXO VIII

**BRASIL: RESÍDUOS EMPREGADOS COMO COMBUSTÍVEIS COMPLEMENTARES NAS FÁBRICAS DE CIMENTO NO PERÍODO 1985 - 1995**

# ANEXO IX

## DADOS SOBRE OS RESÍDUOS DA USIMINAS PROCESSADOS NA SOEICOM

## DADOS SOBRE OS RESÍDUOS DA USIMINAS PROCESSADOS NA SOEICOM

### Composição química típica e propriedades do resíduo do Poço Redondo

| PARÂMETRO | UNIDADE | VALORES | | |
|---|---|---|---|---|
| | | (A) | (B) | (C) |
| PCI | cal/g | 5.586 | - | 4.136 |
| óleo | % | 61,6 | 0,02 | 44,0 |
| umidade | % | 18,9 | - | 34,9 |
| S total | % | 1,08 | - | 1,51 |
| C | % | 58,5 | - | 40,7 |
| H | % | 10,7 | - | 9,82 |
| N | % | 0,04 | - | 0,26 |
| cinzas | % | 6,81 | - | 12,5 |
| cianetos | ppm | 153 | - | 96 |
| $NH_3$ | ppm | - | 2 | - |
| cloretos | ppm | - | 169 | - |
| fluoretos | ppm | - | 125 | - |
| pH | - | - | 3,93 | - |
| MnO | % | 0,17 | 7,69 | 0,20 |
| MgO | % | 0,66 | - | 1,06 |
| $TiO_2$ | % | 0,37 | - | 0,53 |
| $P_2O_5$ | % | 0,92 | - | 0,79 |
| CaO | % | 10,9 | - | 19,7 |
| $Fe_2O_3$ | % | 33,0 | - | 34,4 |
| $Al_2O_3$ | % | 40,0 | - | 21,2 |
| $K_2O$ | % | 0,14 | - | 0,18 |
| $SiO_2$ | % | 10,0 | - | 8,57 |
| ZnO | % | 0,47 | - | 2,98 |
| Zn | µg/ ml | - | <0,5 | - |
| As | µg/ ml | - | <0,05 | - |
| Cd | µg/ ml | - | <0,1 | - |
| Pb | µg/ ml | - | 1,6 | - |
| Cr | µg/ ml | - | <0,1 | - |
| Fe | µg/ ml | - | <0,23 | - |
| Mn | µg/ ml | - | <0,07 | - |
| Hg | µg/ ml | - | <0,01 | - |
| Ni | µg/ ml | - | <0,5 | - |

(A) amostra da camada de resíduo sobrenadante do Poço Redondo
(B) amostra da camada de resíduo aquoso localizada em profundidade média do Poço Redondo
(C) amostra da camada de resíduo localizada no fundo do Poço Redondo
Fonte: PCA, PROCESSO COPAM/PA/Nº 001/77/20/97

## Composição química típica e propriedades da Espuma de Óleo ETEL- floc

| PARÂMETRO | UNIDADE | VALOR |
|---|---|---|
| PCI | kcal/kg | 5.211 |
| umidade | % | 73,7 |
| densidade | g/ml | 1,74 |
| Zn | µg/ ml | 41 |
| Cr | µg/ ml | 7,5 |
| Na | µg/ ml | 58 |
| K | µg/ ml | 16,4 |
| Fe | % | 0,56 |
| O | % | 14,8 |
| S | % | 0,26 |

Fonte: PCA, PROCESSO COPAM/PA/Nº 001/77/20/97

## Composição química típica e propriedades da borra oleosa da ETOL

| PARÂMETRO | UNIDADE | VALOR |
|---|---|---|
| PCI | kcal/kg | 6.176 |
| umidade | % | 62,6 |
| densidade | g/ml | 1,24 |
| C | % | 29,6 |
| H | % | 11,5 |
| N | % | 0,22 |
| Zn | µg/ ml | 166 |
| Cr | µg/ ml | 17,4 |
| Na | µg/ ml | 117 |
| K | µg/ ml | 6,83 |
| Fe | % | 1,63 |
| O | % | 48,9 |
| S | % | 0,29 |

Fonte: PCA, PROCESSO COPAM/PA/Nº 001/77/20/97

# ANEXO X

## DADOS SOBRE AS FÁBRICAS DE CIMENTO INSTALADAS NOS ESTADOS DO RIO DE JANEIRO, PARANÁ E SÃO PAULO

## 1. FÁBRICAS DE CIMENTO INSTALADAS NO RIO DE JANEIRO

### Produção e consumo de energéticos nas indústrias de cimento

| FÁBRICA | MUNICÍPIO | PRODUÇÃO (t / ano) | CONSUMO DE ENERGÉTICOS (%) | | | | LICENÇA CONCEDIDA PELA FEEMA (1) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | óleo combustível | carvão mineral | carvão vegetal | outros | |
| Mauá | Cantagalo | 717.218 | 61,14 | - | 38,86 | - | - |
| Paraíso (Alvorada) | Cantagalo | 399.354 | 8,72 | 9,55 | 1,61 | 14,07 (raspas de pneus)<br>13,22 (coque petróleo)<br>44,98 (alcatrão)<br>7,86 (moinha coque) | SIM<br>LO concedida em 16/12/94 |
| Votorantim | Cantagalo | 616.800 | 47,23 | 7,89 | 44,88 | - | NÃO |
| Tupi (2) | Volta Redonda | 485.146 | - | - | - | - | - |
| Votorantim (2) | Volta Redonda | 450.994 | - | - | - | - | - |
| Cibrex (3) | | 34.163 | 100,00 (4) | - | - | - | - |

(1) Está licenciada pela FEEMA para queimar resíduos nos fornos de clínquer.
(2) Não produz clínquer.
(3) Fabrica cimento branco.
(4) O gás natural consumido pela CIBREX foi considerado juntamente com o óleo combustível.
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do SNIC (1995) e FEEMA (entrevista, outubro/1996)

As empresas gestoras de resíduos que acompanham as fábricas Paraíso Alvorada e Votorantim de Cantagalo são, respectivamente, a Tecnosol (RJ) e a Ambiência (SP).

## 2. FÁBRICAS DE CIMENTO INSTALADAS EM SÃO PAULO

### Produção e consumo de energéticos nas indústrias de cimento

| FÁBRICA | MUNICÍPIO | PRODUÇÃO (t / ano) | CONSUMO DE ENERGÉTICOS (%) | | | | LICENÇA CONCEDIDA PELA CETESB |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | óleo combustível | carvão mineral | carvão vegetal | outros | |
| Camargo Correa | Apiaí | 1.071.066 | 0,95 | 99,05 | - | - | |
| Ciminas (1) | Sorocaba | 174.869 | - | - | - | - | |
| Ribeirão Grande | Ribeirão Grande | 960.404 | 100,00 | - | - | - | LF (2) |
| Maringá | Itapeva | 193.603 | - | 92,38 | 7,62 | - | |
| Quimbrasil | Cajati | 556.759 | 2,50 | 88,88 | - | 10,26 (lenha) | |
| Votorantim (1) | Cubatão | 313.991 | - | - | - | - | |
| Votorantim (1) | São Paulo | 2.160.397 | - | - | - | - | |
| Votorantim | Salto | 458.770 | 100,00 | - | - | - | |
| Votorantim (3) | Votorantim | - | 99,73 | - | - | 0,27 (moinha coque) | |

(1) Unidade de moagem
(2) Única Licença de Funcionamento concedida pela CETESB para o tratamento de resíduos
(3) Apenas produção de clínquer (?)
Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do SNIC (1995) e entrevista/CETESB (1997)

Embora a CETESB não tinha ainda aprovado um documento normativo para a atividade, a Cia de Cimento Rio Grande obteve licença para processar resíduos em seu forno de clínquer.

Dados sobre o processamento de resíduos pela Cia de Cimento Rio Grande foram solicitados à CETESB/ Regional de Sorocaba, que é responsável pelo licenciamento, fiscalização e controle dessa indústria. Entretanto, mesmo após diversas tentativas (ofícios, fax, telefonemas), as informações solicitadas não foram fornecidas.

## 3. FÁBRICAS DE CIMENTO INSTALADAS NO PARANÁ

### Produção e consumo de energéticos nas indústrias de cimento

| FÁBRICA | MUNICÍPIO | PRODUÇÃO ( t / ano) | CONSUMO DE ENERGÉTICOS (%) | | | | LICENÇA CONCEDIDA PELO IAP (1) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | óleo combustível | carvão mineral | carvão vegetal | outros | |
| Itambé | Balsa Nova | 691.531 | 0,20 | 99,40 | 0,39 | - | LP |
| Rio Branco | Itaperuçu e Rio Branco do Sul | 2.036.486 | 50,0 | 50,0 | - | - | LP |

(1) O IAP concedeu apenas Licença Prévia para tratamento de resíduos empregados como energéticos.
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do SNIC (1995) e IAP/ Questionário (maio/ 1997)

As duas indústrias de cimento instaladas no Estado do Paraná operam com processos via seca. A Cimento Itambé tem dois fornos e a Cimento Rio Branco sete, todos dotados de sistemas de pré-aquecimento de quatro estágios e pré-calcinador.

Os pontos de alimentação dos resíduos nos fornos varia em função de suas propriedades e composição química (IAP/Questionário, maio/1997)

. Moinho de cru: resíduos sólidos inorgânicos e matérias-primas

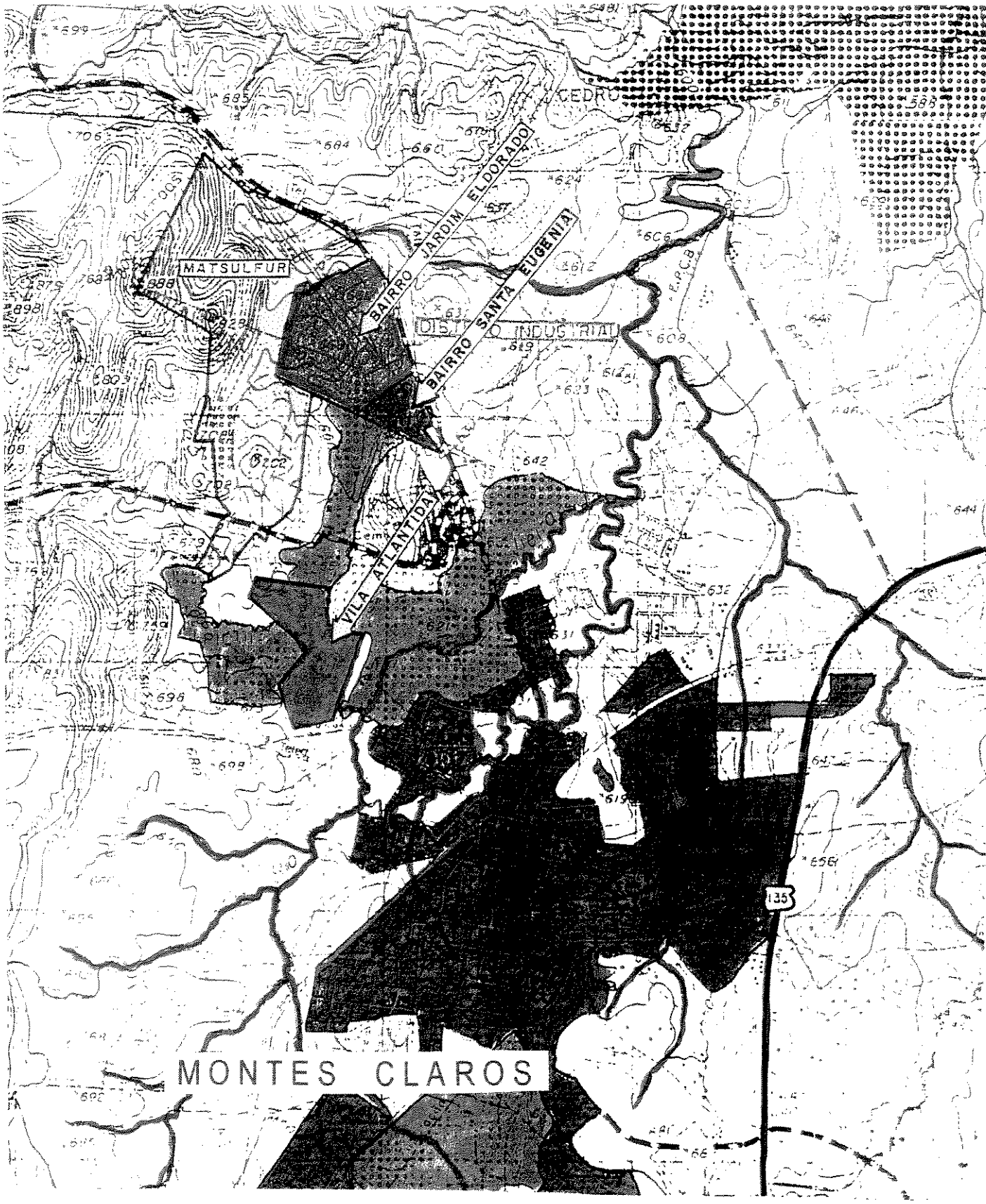
. Moinho de carvão: resíduos sólidos energéticos

. No queimador principal (forno): resíduos líquidos energéticos e óleo combustível

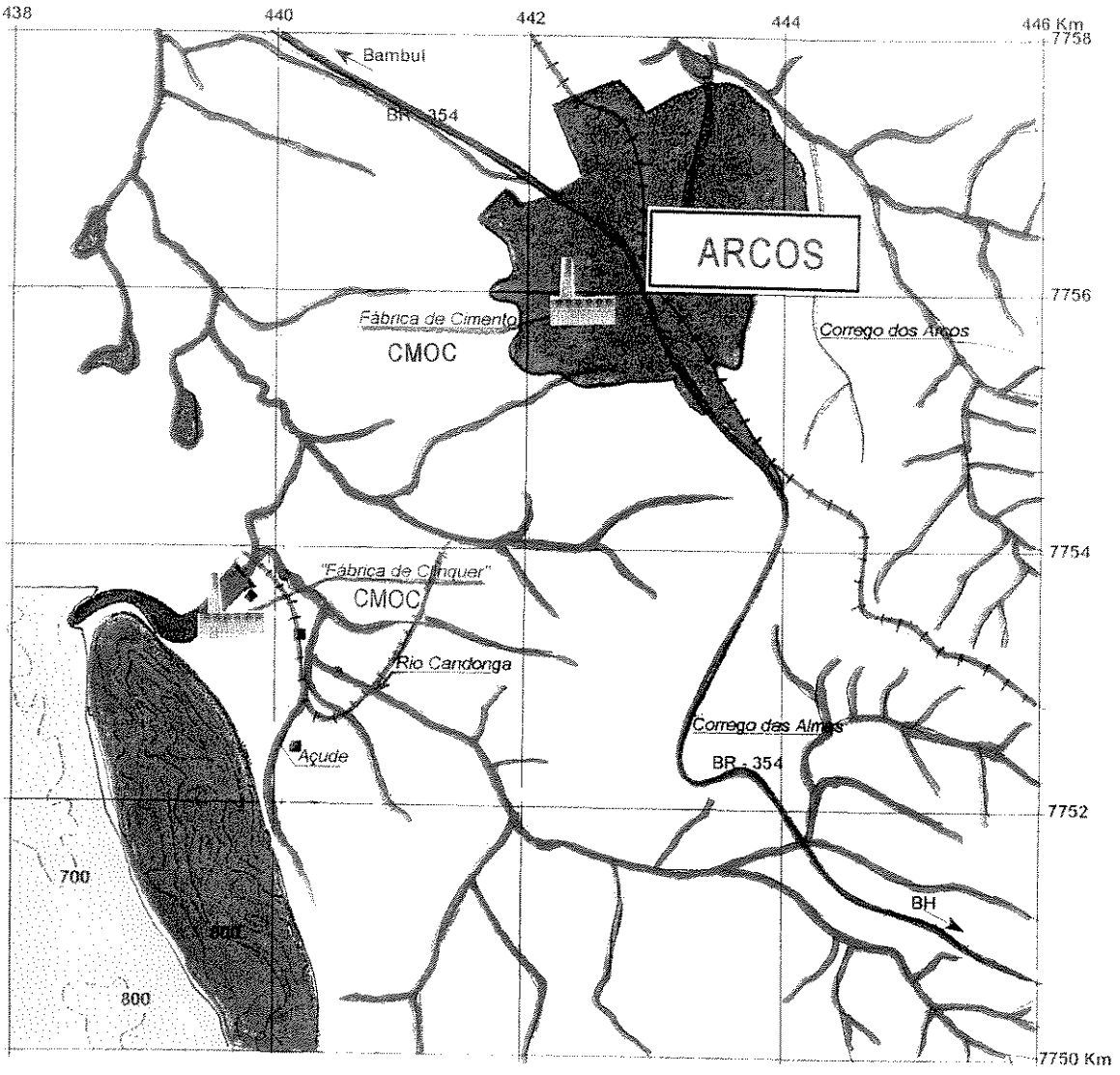
. Caixa de fumaça (ligada ao pré-calcinador): resíduos orgânicos pastosos e/ou à granel.

# ANEXO XI

## MAPAS DE LOCALIZAÇÃO DE ALGUMAS FÁBRICAS DE CIMENTO INSTALADAS EM MINAS GERAIS




MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA MATSULFUR - MUNICÍPIO DE MONTES CLAROS, MG
Fonte: PROCESSO COPAM/PA/Nº 079/82




SERRA DOS VARÕES

PONTO DE AMOSTRAGEM DE RUÍDO

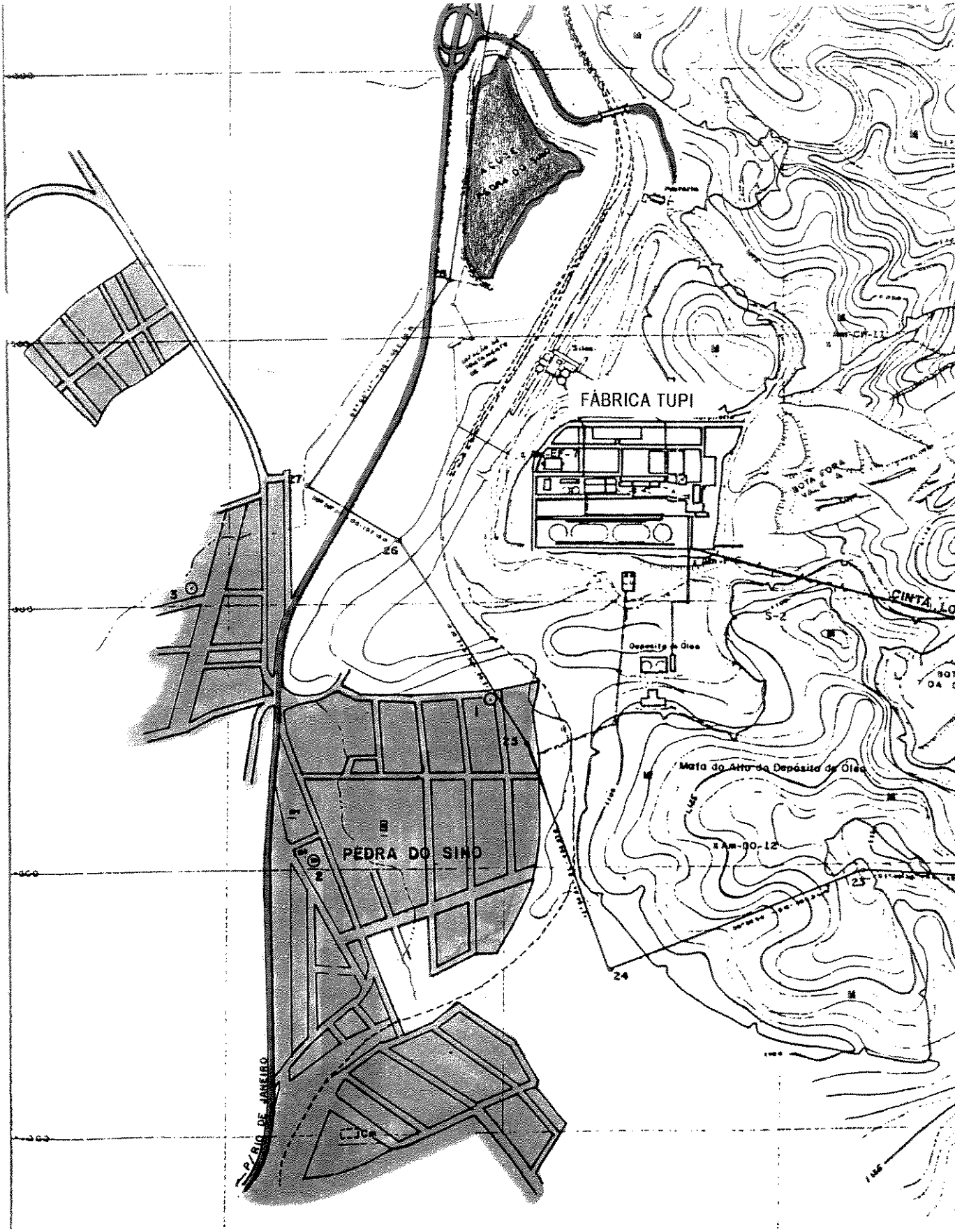
ÁREA DA C.S.N

REPRESA DA C.S.N

CIDADE DE ARCOS

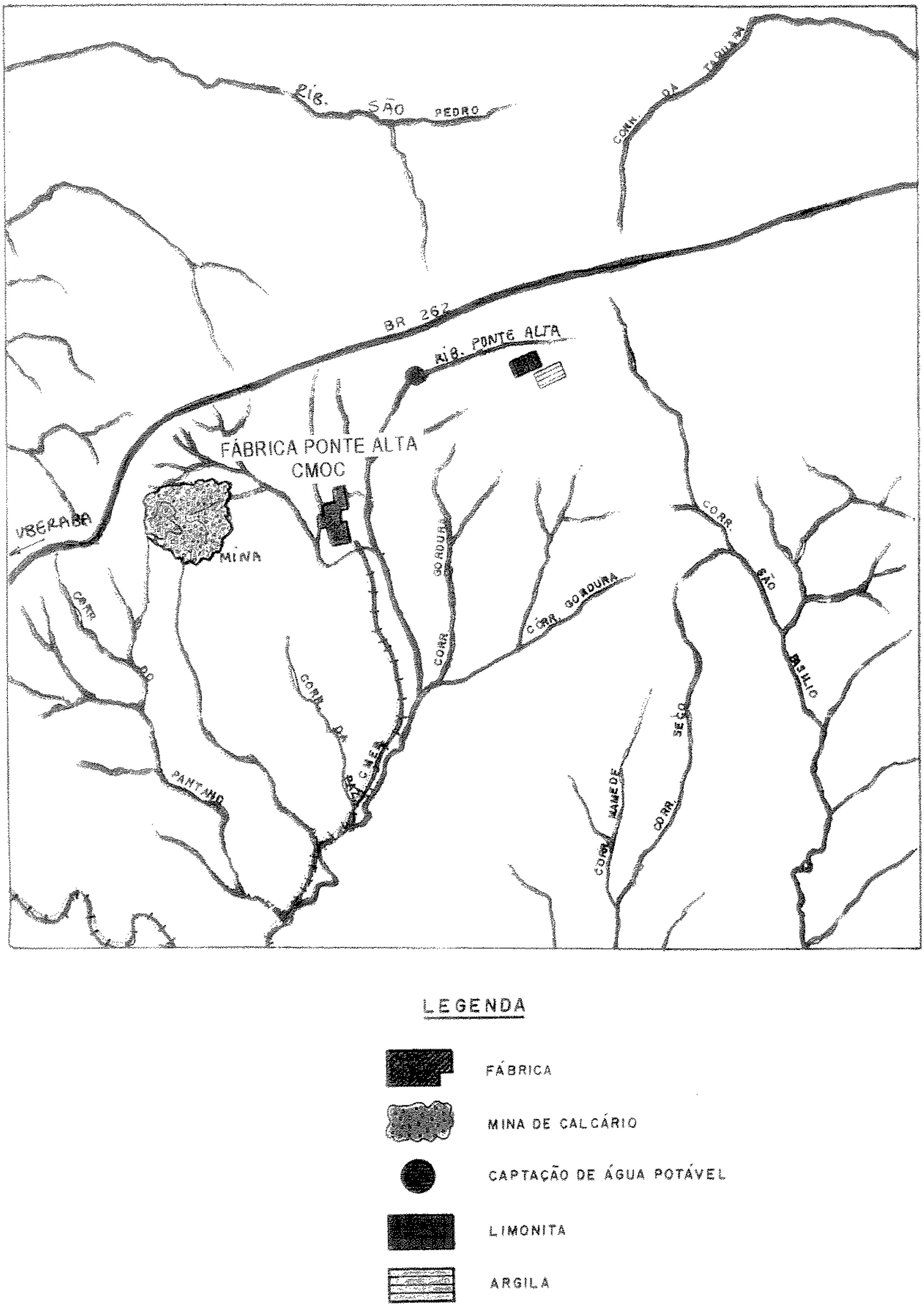
MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA CMOC - MUNICÍPIO DE ARCOS, MG

Fonte: PROCESSO COPAM/PA/Nº 426/95/01/95



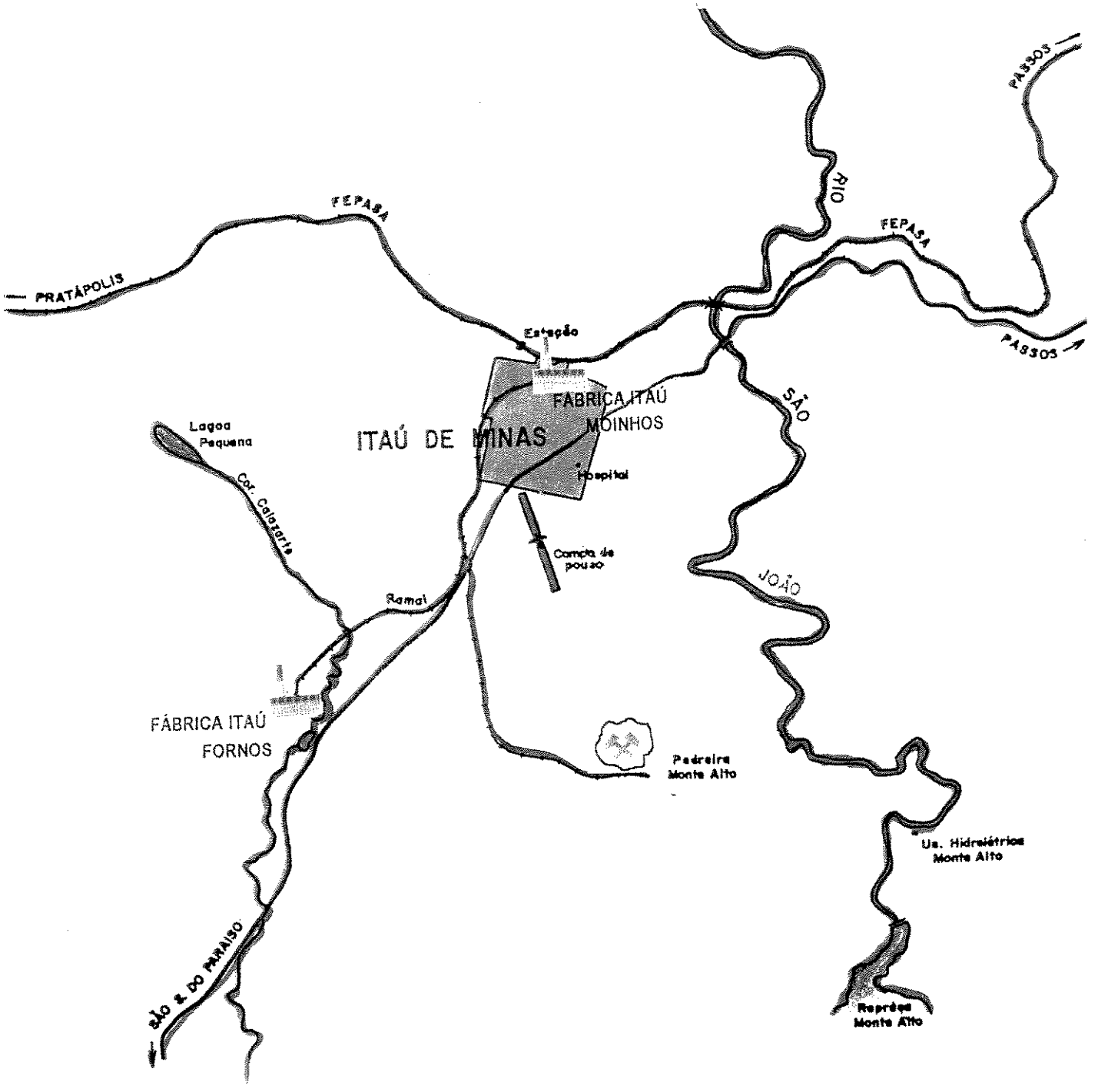

MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA CIMENTO TUPI - MUNICÍPIO DE CARANDAÍ, MG

Fonte: PROCESSO COPAM/PA/Nº 71/79




MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA CMOC - MUNICÍPIO DE UBERABA, MG

Fonte: PROCESSO COPAM/PA/Nº157/93




MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA CIMENTO ITAÚ - MUNICÍPIO DE ITAÚ DE MINAS, MG
Fonte: PROCESSO COPAM/PA/Nº 015/78

MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA CIMENTO MAUÁ - MUNICÍPIO DE MATOZINHOS, MG
Fonte: PROCESSO COPAM/PA/Nº 042/83