

IPEA/INPES
Serv. de
Documentação

TEXTOS PARA DISCUSSÃO
GRUPO DE ENERGIA
Nº XIX

"Uma Análise dos Processos
de Conservação de Energia
e Substituição do Óleo Com
bustível na Indústria do
Cimento".

Armando Castelar Pinheiro

Março de 1984

Uma análise dos processos de
conservação de energia e substi



RJF0263/84

IPEA - RJ

IPEA
06-84

Tiragem: 100 exemplares

Trabalho elaborado em: Janeiro 1984

Instituto de Pesquisas do IPEA
Instituto de Planejamento Econômico e Social
Avenida Presidente Antonio Carlos, 51 - 139/179 andar
20020 Rio de Janeiro RJ
Tel.: (021) 210-2423



Este trabalho é da inteira e exclusiva responsabilidade de seu autor. As opiniões nele emitidas não exprimem, necessariamente, o ponto de vista da Secretaria de Planejamento da Presidência da República.

SUMÁRIO

	Página
1 - INTRODUÇÃO	1
2 - O MERCADO, A PRODUÇÃO E OS TIPOS DE CIMENTO	3
2.1 - Evolução do Consumo, da Produção, da Importação e da Exportação de Cimento no Brasil	3
2.2 - Processos de Produção do Cimento: Via úmida x Via Seca	9
2.3 - Tipos de Cimento	18
2.4 - Conclusões do Capítulo	21
3 - CONSUMO DE ENERGIA NA INDÚSTRIA DO CIMENTO	22
3.1 - Relevância do Setor Cimenteiro e seu Perfil de Consumo de Energia	23
3.2 - Óleo Combustível	23
3.3 - Energia Elétrica	28
3.4 - Outros Combustíveis	29
3.5 - Participação dos Gastos com Energia no Preço do Cimento	32
3.6 - Conclusões do Capítulo	34
4 - CONSERVAÇÃO DE ENERGIA NA INDÚSTRIA DO CIMENTO	35
4.1 - Conservação de Combustíveis na Indústria do Ci- mento	36
4.2 - Conservação de Energia através de Adições	37
4.3 - Conservação de Energia na Produção do Clínquer .	39
4.4 - Energia Elétrica	44
4.5 - Conclusões do Capítulo	47

	Página
5 - SUBSTITUIÇÃO DO ÓLEO COMBUSTÍVEL NA INDÚSTRIA DO CIMENTO	
TO	48
5.1 - Alternativas para Substituição do Óleo Combustível na Indústria do Cimento	49
5.2 - Investimentos de Adaptação dos Equipamentos ao Uso do Carvão	52
5.3 - Fatores Relevantes no Processo de Substituição do Óleo Combustível na Indústria do Cimento	57
5.4 - Viabilidade Econômica dos Projetos de Substituição	60
5.5 - Conclusões do Capítulo	67
6 - CENÁRIOS PARA O CONSUMO DE ENERGIA NA INDÚSTRIA DO CIMENTO	69
6.1 - Cenário Básico	70
6.2 - Cenário de Conservação	75
6.3 - Cenários de Substituição	76
6.4 - Conclusões do Capítulo	80
7 - CONCLUSÕES	81
ANEXOS	86
BIBLIOGRAFIA	99

AGRADECIMENTOS

Para a elaboração deste trabalho foi indispensável a co laboração de todo o Grupo de Energia do INPES, a quem agradeço por suas sugestões e comentários. A leitura e críticas a uma versão preliminar deste estudo, feitas por Lourdes Pinheiro, Milton da Mata e Michal Gartenkraut, permitiram o seu aprimoramento. Deve ficar registrada também a inestimável colaboração de diversos fun cionários da ABCP, BNDES, CDI, CNP, ELETROBRÁS e SNIC, que muito me ajudaram a aprofundar o trabalho em diversos sentidos. Por fim, cabe agradecer a Maurício Stycer e Lúcia Pinto que, como estagiá rios do INPES, participaram no desenvolvimento desta pesquisa.

1 - INTRODUÇÃO

Uma das conseqüências do segundo choque do petróleo foi a maior preocupação do governo brasileiro em conter o consumo nacional de seus derivados, quer pela sua substituição por combustíveis de origem nacional, quer pela implantação de medidas de conservação. No que diz respeito ao setor industrial, deu-se ênfase à redução do consumo do óleo combustível, com o estabelecimento de quotas anuais decrescentes de fornecimento deste derivado às grandes empresas consumidoras,¹ à criação do programa CONSERVE e à rápida elevação do preço real do óleo combustível.

Dentro desta política, o setor cimenteiro, maior consumidor industrial de óleo combustível até 1978, firmou com o governo, em setembro de 1979, um Protocolo de Objetivos,² pelo qual se comprometia a substituir totalmente o óleo combustível na produção de cimento até dezembro de 1984. Em 1982 este setor ainda respondia por cerca de 16% do consumo industrial deste derivado,³ apesar de a participação dos combustíveis alternativos, no total de energia térmica consumida na produção de cimento, haver chegado a quase 50%.⁴

Como conseqüência deste processo, o setor cimenteiro tornou-se, em 1981, o maior consumidor industrial de carvão mineral vapor. Outros energéticos passaram a ser utilizados em substituição ao óleo combustível, destacando-se o carvão vegetal, responsável no segundo semestre de 1983 por 13,6% dos combustíveis consumidos na indústria do cimento (CDI [20]). Observou-se, ainda, no período 1976/82, uma redução de 14% no consumo específico⁵ de energia do setor.

¹Portaria CNP/DIRAB nºs. 174, de 18/05/79, e 119, de 13/03/80 (FDTE [29]).

²BRASIL [14].

³BARRETO [12] e BRASIL [16].

⁴BARRETO [12].

⁵Define-se consumo específico, neste caso, como a quantidade de energia consumida por tonelada produzida de cimento.

O objetivo deste trabalho é analisar os processos de conservação de energia e substituição do óleo combustível na indústria do cimento, procurando-se quantificar seus resultados e identificar suas causas.

O setor cimenteiro tem sido alvo de uma série de estudos, não só devido à sua importância no contexto econômico brasileiro como também pela relativa abundância de informações a seu respeito. Até 1979, o tema energia era analisado apenas superficialmente, sendo outro o objeto de estudo em trabalhos como LOPES [37], GUIMARÃES & REIS [32] e ASSIS [4] e [5]. Esta linha de pesquisa, seguida até hoje em LAFARGE [35] e PROCHNIK [39], perdeu espaço a partir deste ano para trabalhos como HORTA [33], FDTE [29], LESSA & DIAS [36], DIAS [24] e outros, nos quais o consumo de energia pelo setor cimenteiro passou a ser o objeto da análise.

Este estudo se enquadra nesta última linha de pesquisa, diferenciando-se dos trabalhos mencionados, contudo, por se preocupar em estabelecer um diagnóstico mais amplo para as realizações da indústria do cimento no que se refere à conservação de energia e à substituição do óleo combustível pelo carvão, mineral e vegetal.

No segundo capítulo deste trabalho são analisados tópicos diversos, tais como a estrutura do mercado de cimento e os processos de fabricação utilizados, que estão direta ou indiretamente relacionados com o consumo de energia pelo setor cimenteiro.

O objetivo do terceiro capítulo é descrever o perfil do consumo de energia da indústria do cimento, com especial destaque para o óleo combustível e a energia elétrica. No capítulo quatro se analisam os fatores que levaram à redução do consumo específico de energia na produção de cimento.

No quinto capítulo procura-se examinar o processo de substituição do óleo combustível no setor cimenteiro, enfocando os elementos determinantes dos resultados observados e quantificando, sempre que possível, as variáveis mais importantes.

No capítulo seis são elaborados três cenários para o setor, através dos quais se procura analisar a evolução da indústria do cimento no período 1984/2000. No último capítulo faz-se um resumo das principais conclusões.

2 - O MERCADO, A PRODUÇÃO E OS TIPOS DE CIMENTO

O objetivo deste capítulo é descrever, de forma sucinta, alguns aspectos relevantes do setor cimenteiro relacionados com seu consumo de energia. Este procedimento vem a ser importante na medida em que a análise de tópicos como conservação de energia ou substituição de derivados de petróleo se torna mais fluida após o exame, por exemplo, das alternativas tecnológicas de produção. Cabe observar, todavia, que a análise feita neste capítulo apresenta um nível de profundidade limitado, recomendando-se para um estudo mais completo a leitura de textos mais específicos como LAFARGE [35] e PROCHNIK [39].

2.1 - Evolução do Consumo, da Produção, da Importação e da Exportação de Cimento no Brasil

Egípcios, gregos e romanos conheciam vários materiais que, misturados ou queimados, se tornavam extremamente resistentes. Os egípcios usaram gesso grosseiro como ligante de suas alvenarias, enquanto os gregos foram os primeiros a empregar a cal. Os romanos acrescentaram pozolana natural, obtendo um produto intermediário entre a cal e o cimento, conhecido como cimento romano.

O primeiro estudo científico sobre a cal hidráulica foi feito pelo engenheiro francês Louis Vicat, que estudou os princípios químicos do cimento e definiu regras de produção. Entretanto, o processo de fabricação do cimento Portland foi patenteado, em 1824, pelo construtor inglês Joseph Aspdin, razão pela qual muitos o consideram seu inventor.

A indústria de cimento difundiu-se rapidamente pela Europa e por volta de 1870 chegava aos Estados Unidos. No Brasil, coube ao engenheiro Luiz Felipe Nóbrega, associado a grupos franceses, iniciar, em João Pessoa, a produção de cimento no País, no ano de 1872. Apesar da boa qualidade do cimento produzido, esta fábrica funcionou apenas três meses, em função da distância que a separava do mercado consumidor.

Outras tentativas foram feitas pelo comendador Antônio Proost Rodovalho, em São Paulo, nos anos de 1897 e 1907, e pelo governo do Estado do Espírito Santo, em Cachoeiro do Itapemirim, em 1912.

Em 1926 entrou em operação a primeira fábrica brasileira projetada em moldes industriais modernos e que funciona até hoje em Perus, São Paulo. De propriedade de capitais canadenses,⁶ a empresa operou inicialmente com dois fornos de via seca longos, ainda em atividade.

O consumo de cimento no Brasil apresenta uma tendência secular de crescimento, com pronunciadas características cíclicas, que incluem períodos de declínio (Quadro 2.1). O surto de demanda observado no início do século (ver Anexo 1) é sustado em 1913, com a eclosão no ano seguinte da I Guerra Mundial, que causa a interrupção das importações em 1914.

O período 1919/29 se caracteriza por um forte aumento da demanda, interrompido em 1930. Prochnik⁷ explica este "crescimento explosivo" pelo "boom da construção civil na década dos vinte", "em especial, pela demanda de grandes obras, onde o produto era mais usado, pois na época a utilização do cimento na construção habitacional era ainda restrita". Ainda segundo o mesmo autor, "a demanda por estas obras tem três raízes interligadas: o café, a indústria e a urbanização ... A partir de 1929, o café não mais iria comandar o processo de acumulação" (de capital) "pois a queda do preço internacional do produto impedia a realização dos lucros, necessária para dar continuidade ao processo de expansão da cultura do café".

O crescimento do consumo no período 1932/37 é explicado por Prochnik pela "construção de viadutos, açudes, barragens e usinas para geração de energia e também obras ligadas à urbanização". A expansão da malha rodoviária é também citada como causa da elevação do consumo.⁸

⁶ PROCHNIK [39].

⁷ Op.cit., p. 63.

⁸ Deve ser lembrado que até a década de 60 o piso das estradas era de concreto.

QUADRO 2.1BRASIL: EVOLUÇÃO DO CONSUMO APARENTE DE
CIMENTO EM PERÍODOS SELECIONADOS

PERÍODO	VARIAÇÃO MÉDIA ANUAL DO CONSUMO (%)
1901/13	23,4
1915 ¹ /18	-29,1
1919/29	23,7
1930/31	-33,2
1932/37	15,0
1938/43	2,7
1944/53	14,8
1954/65	5,4
1966/76	11,8
1977/80	8,5
1981/83 ²	-8,1

FONTE: Anexo 1.

¹Em 1914 o consumo aparente de cimento foi nulo.

²A variação do consumo aparente em 1983 é estimada.

Os ciclos de 1944/53 e 1954/65 apresentaram taxas e causas de crescimento diferentes. O primeiro, caracterizado por um crescimento mais acelerado do consumo, foi predominantemente impulsionado pela construção de habitações. O subsetor de construção pesada responde pela expansão da demanda por cimento no segundo ciclo.

A dinâmica dos ciclos de 1966/76 e 1977/80 é semelhante à dos ciclos acima analisados:⁹ enquanto o primeiro foi dominado pela construção de habitações, com o surgimento do BNH, o se-

⁹Ver PROCHNIK [39], pp.106-115.

gundo foi sustentado predominantemente pela construção de barragens.

O cimento é um bem intermediário utilizado como insumo na construção de habitações, barragens, obras viárias e de infra-estrutura urbana. Não existem, contudo, estimativas precisas da participação dos diversos subsetores da construção civil no consumo de cimento, devido não só à dinâmica deste setor, descrita nos parágrafos anteriores, como também às características do sistema de comercialização deste produto, feita por uma profusão de revendedores para um grande número de clientes.

No Quadro 2.2 apresentam-se estimativas da participação dos diversos subsetores. Percebe-se aí a importância do consumo governamental através da construção de barragens, obras viárias e, até certo ponto, de habitações.

A demanda e a produção de cimento no Brasil concentram-se em alguns poucos Estados, dos quais os quatro maiores consumidores e produtores (São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais e Paraná) responderam, em 1982, por 63% do consumo e 70% da produção total do País, percentuais que vêm declinando sistematicamente desde 1955, quando foram de 79% e 82% respectivamente.¹⁰

Esta concentração é usualmente explicada com base na desigual distribuição de jazidas pelos Estados da União. Um motivo mais forte, contudo, parece ter sido a concentração da demanda na mesma região. Por ser o cimento um produto de baixo valor específico (Cr\$/t), o custo de transporte assume uma importância muito grande na sua comercialização, podendo uma fábrica de cimento ficar inviável sob o ponto de vista econômico se localizada a uma distância muito grande da região de consumo. Nas palavras de Prochnik "esta característica atua de forma a ampliar a concentração industrial local ao segmentar os mercados nacionais e dificultar o comércio".¹¹

¹⁰ SNIC [46].

¹¹ PROCHNIK [39].

QUADRO 2.2BRASIL: DISTRIBUIÇÃO DA DEMANDA DE
CIMENTO POR TIPO DE CONSUMIDOR

SETOR	%	SETOR	%
FONTE: BNDE [10]/1977		FONTE:BRASIL [13]/1982	
Barragens	5	Governo	70
Habitações	30	Outros	30
Obras Viárias	55		
Outros	10		
FONTE: SNIC/1982*		FONTE: SNIC [46]/1982	
Infra-Estrutura Urbana	40	Consumidor Final	42
Obras Viárias Interurbanas e Barragens	30	Revendedor	58
Habitações	30		

* Informação direta.

Assim, a existência de jazidas de calcário explica apenas a microlocalização de uma fábrica dentro de uma região que é escolhida em função de critérios de mercado.

Por outro lado, observa-se, ao longo de toda a evolução da indústria do cimento, uma nítida tendência à sustentação de um alto nível de concentração da capacidade instalada em um pequeno número de empresas: os três maiores grupos empresariais responderam, em 1983, por 53% da capacidade instalada total da indústria. Esta concentração industrial pode ser explicada pelo alto custo do investimento inicial (PROCHNIK [39]).

A participação de empresas de controle acionário estrangeiro na fabricação de cimento tem-se mantido aproximadamente constante, em torno de 20%. A participação do governo na produção do setor é nula.

Quanto à utilização da capacidade instalada, observa-se que o setor cimenteiro apresentou, até 1980, baixos níveis de ociosidade, o que pode ser explicado por:

- ser bastante conservadora a política dos fabricantes e, de forma geral, as ampliações de capacidade serem feitas após haver uma "relativa garantia" de que os novos patamares atingidos pela demanda tenderão a se manter. Assim, nos ciclos de crescimento mais acelerado do consumo as importações exercem um papel regulador nos três primeiros anos, período necessário para a construção de novas fábricas (GUIMARÃES & REIS [32] e PROCHNIK [39]);

- ter o Brasil experimentado, depois de 1930, um surto de desenvolvimento, em que a criação de uma infra-estrutura urbana adequada e a superação de suas carências de habitações, vias de transporte e barragens se fizeram necessárias. Assim, o consumo de cimento tendeu a crescer mais do que a renda.

A partir da década de 30, quando o parque industrial cimenteiro adquiriu maior expressão, as importações de cimento deixaram de ser a principal fonte de abastecimento do mercado interno, passando a:

- suprir a demanda nos primeiros anos dos ciclos de rápido crescimento do consumo;

- fornecer ao mercado interno determinados tipos de cimentos especiais (como o hidráulico, o hidráulico aluminoso, etc.), cujo baixo consumo não justifica sua fabricação no Brasil;

- atender à demanda de regiões fronteiriças onde é mais econômico importar do que comprar no mercado doméstico.

Sem se diminuir a essencialidade dos cimentos especiais comprados no exterior, certamente o papel mais relevante das importações é a sua função normalizadora do mercado, a qual explica o seu comportamento irregular nas últimas décadas (ver Anexo 3).

As exportações brasileiras de cimento nunca atingiram valores significativos quando comparadas aos números de produção e consumo. Os cimentos exportados são do tipo comum, principalmente, e branco. Os países importadores são a Bolívia, o Paraguai e a Argentina. Nos anos de 1973 e 1974 o Brasil exportou também para a Nigéria e Serra Leoa e uma pequena quantidade para os EUA.

2.2 - Processos de Produção do Cimento: Via Úmida x Via Seca

2.2.1 - A Produção e a Distribuição do Cimento

A produção de cimento se inicia pela extração do calcário e da argila que são a seguir enviados e armazenados na fábrica. O calcário passa por um ou mais britadores, sendo reduzido a partículas com diâmetro da ordem de 2 cm, o mesmo podendo ocorrer com a argila, se necessário. Na fase seguinte as matérias-primas são introduzidas em moinhos, já nas proporções adequadas, onde se reduz o material a partículas de cerca de 0,05 mm de diâmetro. Ao produto final da moagem dá-se o nome de cru, também chamado de pasta no processo de via úmida e de farinha no de via seca. Após a moagem tem-se a etapa de homogeneização do cru.

Nestas etapas de produção, as principais fontes de energia utilizadas são o óleo combustível e a eletricidade. O primeiro é usado nas fornalhas destinadas à secagem das matérias-primas. A energia elétrica tem um aproveitamento mais versátil, sendo empregada no acionamento de motores diversos e nos sistemas pneumáticos de transporte da farinha.

Uma vez que o cru esteja homogeneizado, ele é armazenado em silos que alimentam os fornos. As principais fases de transformação do cru em clínquer são a secagem, o preaquecimento, a calcinação e a clínquerização em si. Dependendo do tipo de processo de fabricação utilizado, estas etapas podem-se passar integralmente no forno ou parte em um conjunto de máquinas auxiliares e parte no forno. A calcinação e a clínquerização são as fases mais características do forno.

Saindo do forno o clínquer é introduzido em resfriadores onde sua temperatura é reduzida de cerca de 1.200°C para algo entre 50°C e 70°C. Do resfriador o clínquer é transportado para silos de armazenagem, de onde sai para ser misturado ao gesso e a outras adições, como escórias ou pozolanas, que venham a ser feitas. A mistura resultante passa por fim por outra moagem para que o cimento tenha a granulometria adequada.

A transformação do cru em clínquer é a etapa que cons

me mais energia na produção de cimento, respondendo por mais de 95% dos combustíveis utilizados. A moagem do cru e a do clínquer, por outro lado, respondem juntas por cerca de 70% da energia elétrica consumida na produção de cimento.¹²

O cimento é vendido sob duas formas: em sacos de papel e a granel. A escolha entre embalagens é função do tipo de consumidor (a possibilidade de distribuição do cimento ensacado é maior) e da diferença dos custos de transporte (o cimento a granel exige o uso de caminhão com carroceria adequada). No Brasil a participação do cimento ensacado no total de despachos é de cerca de 79%.¹³ Este percentual contrasta com a situação de outros países, onde o cimento a granel responde por cerca de 75% das vendas, participação esta que chega a 95% para os EUA e o Japão, dois dos maiores produtores mundiais.¹⁴

A modalidade rodoviária responde por cerca de 80% do transporte de cimento no Brasil.¹⁵ Uma situação semelhante é encontrada nos demais países grandes fabricantes de cimento.¹⁶ O baixo valor específico do cimento (Cr\$/t) não permite que este seja transportado a longas distâncias.

2.2.2 - Via Úmida x Via Seca

Duas tecnologias ou processos respondem pela quase totalidade da produção de cimento no Brasil. A primeira, conhecida como de via seca, é energeticamente mais econômica, caracterizando-se pelo baixo teor de umidade da mistura de argila e calcário lançada no forno.

A segunda, a que se convencionou chamar de via úmida, difere da primeira em função do alto teor de umidade da

¹²LAFARGE [35].

¹³SNIC [46].

¹⁴Anexo 7.

¹⁵SNIC [46].

¹⁶Anexo 7.

mistura de calcário e argila. Como consequência, o processo de via úmida é menos eficiente em termos energéticos.

Existem ainda dois outros tipos de processos, conhecidos como via semi-úmida e via semi-seca, que apresentam valores intermediários para a umidade da mistura de matérias-primas e para o consumo energético (Quadro 2.3).

QUADRO 2.3

TEOR DE UMIDADE E CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGIA
POR PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO CIMENTO

PROCESSO	TEOR DE UMIDADE (%)	CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGIA (kcal/kg de Cimento)
Via seca	1	670 a 720
Via semi-seca	12	800 a 850
Via semi-úmida	19	900 a 950
Via úmida	32	1 140 a 1 190
Via úmida	36	1 230 a 1 280

FONTE: COUSIN, G., "Recherche d'economies d'energie thermique aux ciment d'Originy S/A", in BRASIL [18].

O processo de via semi-úmida não é atualmente utilizado no Brasil e nem parece alguma vez tê-lo sido. Quanto ao processo de via semi-seca, apesar de ser usado há muitos anos, apenas recentemente sua participação na produção total aumentou. Este súbito crescimento da sua importância relativa deve-se às conversões efetuadas em fornos de via úmida que passaram a operar pelo sistema semi-seco.

As diferenças existentes entre as tecnologias de via úmida e de via seca originam-se das características dos processos de homogeneização de cada uma delas. Na produção por via úmida as matérias-primas são homogeneizadas em meio aquoso, através da mistura de diferentes pastas mantidas em silos distintos. A mistura se processa em grandes tanques cilíndricos contendo pás

giratórias em seu interior. No processo de via seca a farinha, transportada pneumáticamente, é homogeneizada em silos especiais, movimentando-se as matérias-primas com jatos de ar.¹⁷

A homogeneização e a moagem das matérias-primas no processo de via úmida são mais simples, eficientes e eficazes. O transporte do cru é mais fácil e utiliza equipamentos mais baratos, além de apresentar menores custos de eletricidade.¹⁸ A tecnologia úmida, contudo, é menos eficiente energeticamente pois a água adicionada às matérias-primas deve ser evaporada no processo de transformação do cru em clínquer, ocorrendo aí um apreciável consumo de combustíveis (cerca de 480 kcal/kg de clínquer).¹⁹

Outras razões do menor consumo de combustíveis pela tecnologia de via seca incluem:

- o melhor aproveitamento do calor gerado no forno, através do preaquecimento por suspensão;
- as menores perdas por convecção e irradiação, por serem os fornos de via seca mais curtos que os de via úmida, o que diminui também o espaço da fábrica ocupado por este equipamento.²⁰

Outra vantagem do processo de via seca é sua maior produtividade, em função da maior rotação do forno, do menor comprimento e do menor número de paradas para troca de refratários, as quais acarretam elevados custos para o fabricante do cimento, menos pelo preço dos refratários que são baratos e mais pela perda de produção e de vendas. Assim, em 1980, o número médio de horas paradas por tonelada de produção diária foi de 1,43 para os fornos de via seca e de 2,63 para os de via úmida.²¹

¹⁷ IPT [34].

¹⁸ O processo de via úmida tem um consumo de energia elétrica de 4% a 8% inferior ao da tecnologia de via seca (GUIMARÃES & REIS [32]).

¹⁹ FDTE [29].

²⁰ O forno de via úmida tem um comprimento da ordem de 200 m, contra cerca de 80 m para o de via seca.

²¹ Resultados obtidos com uma amostra de 37 fornos de via úmida e de 38 de via seca.

A grande maioria dos fornos em atividade nos dias atuais é do tipo rotativo, categoria na qual se enquadram os de via seca e via úmida. Todavia, o primeiro forno utilizado na fabricação de cimento, a nível mundial, era do tipo vertical. Devido à sua limitada capacidade de produção (cerca de 300 t/d), esta tecnologia foi relegada a um segundo plano, sendo sua utilização recomendada apenas para regiões de reduzida demanda.²²

O consumo específico de energia do forno vertical é de 20% a 30% superior ao de via seca com preaquecedor de 4 estágios.²³ Aquela tecnologia, contudo, permite obter elevados níveis de substituição²⁴ do óleo combustível e de adições ativas ao clínquer (escórias e pozolanas),²⁵ e apresenta menor prazo para instalação da unidade industrial e investimento por tonelada de capacidade instalada mais reduzido (BRASIL [18]). Por outro lado, na medida em que se instalem pequenas fábricas próximas a cada mercado consumidor é possível diminuir o custo de transporte do cimento.

Foi na década de 60 que surgiu e se desenvolveu o processo hoje conhecido como precalcinação. Inventado na Alemanha, este foi estudado com vistas à utilização de xistos betuminosos no cru, em fornos com capacidade aproximada de 1500 t/d.

Posteriormente desenvolvido no Japão, o forno com precalcinação teve seu tamanho aumentado²⁶ em função das caracterís-

²²A capacidade dos fornos verticais em atividade está, de forma geral, entre 150 e 200 t/d. A maior parte dos fornos verticais é encontrada, hoje em dia, na China e na Índia. Na primeira, existem cerca de 3400 pequenas unidades de fornos verticais, que respondem por cerca de 3/4 da produção chinesa de cimento (quarta maior do mundo). Apesar disso, encontram-se fornos deste tipo também em países industrializados da Europa (Alemanha, França, Itália e Bélgica). (LAFARGE [35]).

²³CNP [21].

²⁴O único forno vertical do Brasil utiliza apenas o carvão vegetal como combustível.

²⁵Matérias-primas que, adicionadas ao clínquer, permitem economizar energia na fabricação do cimento.

²⁶O maior forno do mundo, que utiliza o sistema de precalcinação, tem uma capacidade de 9600 t/d e encontra-se no Japão.

ticas do mercado e da rede de transporte, que privilegiam unidades industriais com grandes capacidades de produção (mais de 4000 t/d), as quais não eram economicamente viáveis para os fornos de preaquecimento até então existentes.

A diferença básica entre os dois sistemas consiste no aumento do índice de descarbonatação da matéria na entrada do forno. Este percentual, que varia entre 20 e 30% para o preaquecimento comum, chega a 90% para a precalcinação. Como é a reação de descarbonatação que limita a vazão do forno, este novo processo permite aumentar a produtividade do forno em cerca de 100% (LAFARGE [35]).

Do ponto de vista da conservação de energia, contudo, o ganho obtido é muito pequeno (da ordem de 20 kcal/kg de clínquer)²⁷ não sendo esta uma de suas principais vantagens. Por outro lado, a precalcinação permite a utilização de combustíveis com teores de cinzas muito elevados e que desprendam matérias voláteis para serem misturadas ao cru. Sob esta ótica "o forno a preaquecimento com precalcinação é o que permite queimar mais facilmente resíduos com uma boa recuperação de seu poder calorífico" (LAFARGE [35]).

Existe no Brasil uma tendência de se aumentar a participação dos fornos com precalcinação, inexistentes no País até 1981. Esta orientação, contudo, deverá ser reavaliada à luz da queda do consumo de cimento observada a partir de 1981. Por outro lado, é interessante reparar que, quando o processo de preaquecimento clássico começou a ser introduzido no Brasil, teve início a sua substituição pela precalcinação no exterior. Assim, novamente se observa uma defasagem de mais de 15 anos entre a introdução de uma nova tecnologia de fabricação de cimento no exterior e no Brasil. (GUIMARÃES & REIS [32]).

2.2.3 - Via Úmida x Via Seca: uma perspectiva histórica

Apesar de a primeira fábrica instalada comercialmente no

²⁷LAFARGE [35].

Brasil, a Perus, utilizar fornos longos de via seca, foi a tecnologia de via úmida que dominou a indústria brasileira de cimento, a partir de 1933. Até 1967, a supremacia dos fornos de via úmida foi absoluta, vindo sua participação no total da produção nacional caindo rapidamente desde então, como caracterizado no Quadro 2.4 e no Anexo 4.

QUADRO 2.4

EVOLUÇÃO DA PARTICIPAÇÃO DOS FORNOS DE VIA SECA NA CAPACIDADE TOTAL INSTALADA NO PAÍS

ANO	%	ANO	%
1926	100,0	1970	23,1
1930	100,0	1971	34,5
1935	36,4	1972	39,5
1940	25,0	1973	48,7
1945	22,2	1974	54,9
1950	12,3	1975	58,0*
1955	18,1	1976	63,0*
1960	13,7	1977	67,0*
1965	11,8	1978	71,0*
1966	12,7	1979	73,0*
1967	12,0	1980	75,0*
1968	14,7	1981	77,0*
1969	16,9	1982	81,0*

FONTES: GUIMARÃES & REIS [32] (1926/74) e BARRETO [11] e [12] (1975/82), elaboração INPES/IPEA.

* Participação na produção total de clínquer.

A principal causa desta mudança foi a inovação tecnológica do processo de via seca, com a introdução do preaquecimento por suspensão. De fato, até 1967, a maior parte dos fornos de via seca no Brasil eram do tipo longo, que, apesar de consumirem cerca de 25% a 30% menos energia que os de via úmida,²⁸ apresentavam custos mais elevados de moagem, homogeneização e transporte de matérias-primas, além de permitir perdas físicas da farinha lançada no forno pelo arraste por gases quentes que o deixam.^{29,30}

O preaquecimento por suspensão consiste na instalação de uma torre de ciclones, usualmente em número de quatro, na parte posterior do forno, por onde é lançada a farinha e de onde saem os gases. Estes ciclones permitem aumentar a eficiência energética do forno, pela troca de calor entre os gases e o cru, além de evitar a perda física da farinha. Como as fases de secagem e preaquecimento se processam nos ciclones, o forno com preaquecedores tem dimensões reduzidas.³¹

Contribuiu para a rápida penetração da tecnologia de preaquecimento a expansão da capacidade instalada da indústria, acelerada na segunda metade da década de 60, em função do rápido crescimento do consumo de cimento no ciclo 1966/76.³² Assim, a participação do processo de via seca aumenta de 12,0% em 1967 para 63% em 1976, face à instalação de novos fornos.³³

É interessante observar que a demora da F. L. Smidth, principal fornecedora de tecnologia e equipamentos para a indústria de cimento brasileira, em desenvolver seus próprios fornos com preaquecedores por suspensão, contribuiu decididamente para o atraso de 16 anos entre o surgimento do novo processo (1950) e a

²⁸FDTE [29].

²⁹HORTA [33].

³⁰No processo de via úmida isto não ocorre pois as matérias-primas são lançadas ao forno sob a forma de pasta.

³¹Ver Quadro 2.5.

³²Ver Quadro 2.1

³³Os fornos de via úmida não foram desativados (Anexo 4).

QUADRO 2.5
FASES DE TRANSFORMAÇÃO DO CRU EM CLÍNQUER, NOS DIFERENTES
TIPOS DE INSTALAÇÕES

TIPOS DE INSTALAÇÃO (FORNOS HORIZONTAIS ROTATIVOS)	OPERAÇÃO DE TRANSFORMAÇÃO			
	Secagem	Preaqueci- mento	Calcinção	Clinqueri- zação
Via Seca - Precalcinção	← Máquinas Auxiliares →			×× Forno →
Via Seca - Preaquecedor de 1 e 2 Estágios	← Máquinas Auxiliares →			×× Forno →
Via Seca - Preaquecedor de 4 e 5 Estágios	← Máquinas Auxiliares →			×× Forno →
Via Seca de Forno Longo	← M. A. →			×× Forno →
Via Semi-Seca/Semi Úmida	← Máquinas Auxiliares →			×× Forno →
Via Úmida	← M. A. →			×× Forno →

FONTE: FDTE [29].

implantação do primeiro forno com esta característica no Brasil (1966).³⁴

Por outro lado, deve-se notar que, apesar do aumento do preço real do petróleo após 1973, a tonelada do óleo combustível custou, nos anos 70, em média, 23% menos do que na década anterior (Anexo 5). Assim, ao contrário do que é as vezes afirmado na literatura,³⁵ entre o primeiro e o segundo choque do petróleo o processo de via seca teve sua vantagem comparativa reduzida pela queda do preço do óleo combustível. É razoável imaginar, contudo, que a expectativa de uma rápida elevação do preço do óleo combustível, como a ocorrida a partir de 1980, tenha colaborado para a adoção em maior escala da tecnologia de preaquecimento.

2.3 - Tipos de Cimento

O cimento pode ser classificado segundo variados critérios, dentre os quais destacam-se, no Brasil, a resistência física do produto concretado³⁶ e o tipo e teor dos materiais adicionados ao clínquer. Esta segunda classificação permite separar os cimentos em comum, pozolânico e de alto forno, e será a única analisada aqui, devido à sua relevância para o estudo do consumo de energia na produção de cimento.

A produção de cimento Portland comum no Brasil, em 1982, foi de 19.878.276 toneladas, respondendo por cerca de 77,5% do total de cimento fabricado no País. Este tipo de cimento sempre constituiu a maior parte da produção nacional, sendo que sua participação declinou nos últimos anos pois, em 1971, correspondia a 88% do total de cimento fabricado.

³⁴ GUIMARÃES & REIS [32].

³⁵ HORTA [33], p. 4.

³⁶ A Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) especifica a resistência física à compressão nominal mínima em 250 kgf/cm², após 28 dias de cura. Produtos com resistências menores são denominados simplesmente conglomerados, como é o caso da cal hidratada, de resistência de 50kgf/cm².

Tomando por base o teor de adições feitas ao clínquer, tem-se que este tipo de cimento permite até um total de 10% de es-cória de alto forno e de 2 a 4% de gesso.³⁷ O cimento Portland comum é vendido com resistências de 250, 320 e 400 kgf/cm².

Em 1982, a segunda maior produção de cimento no País foi a do tipo pozolânico, com 3.190.219 toneladas, ou seja, 12,4% do total fabricado nesse ano. Sua participação no total produzido vem crescendo rapidamente, tendo sido igual a apenas 3,3% em 1971. Como o cimento pozolânico é o mais adequado para a concretagem de barragens, o crescimento de sua participação no total da produção nacional pode ser explicado pela importância que este subse-
tor da indústria de construção civil adquiriu a partir da segunda metade da década de 70. De fato, os investimentos em barragens no período 1976/80 foram, em termos reais, cerca de 5 vezes superiores aos efetuados no período 1970/74.³⁸

O termo pozolânico deriva de Pozzuoli, região de Nápo-les, chamando-se pozolana à matéria-prima empregada no seu fabri-co. Esta é adicionada ao clínquer em teores de até 40% para o POZ-250 e de até 30% para o POZ-320.³⁹

Enquanto na Região Sul produz-se o cimento pozolânico a partir das cinzas volantes do carvão mineral, obtidas em termoelétricas, na Região Nordeste são adicionadas ao clínquer pozolanas naturais e artificiais (argila calcinada). Também o gesso, em teo-res variáveis de 2% a 4%, é misturado ao clínquer na fabricação do cimento.

A mistura de materiais pozolânicos altera pouco a quali-dade do cimento, apenas dilatando ligeiramente o seu tempo de pega, o que traz alguns inconvenientes no seu uso para a construção de edifícios. Esta característica e sua cor, que tende a ser mais

³⁷ FDTE [29].

³⁸ ZONINSEIN, J. "A política de investimento público e a evolu-ção do mercado interno da indústria de construção pesada na déca-da dos setenta", in PROCHNIK [39].

³⁹ Cimento pozolânico com resistências de 250 kgf/cm² e 320 kgf/cm², respectivamente.

escura que a do cimento comum quando as cinzas do carvão são usadas na mistura, são fatores que dificultam sua maior aceitação pelos compradores. Outro fator que tem limitado a maior penetração do cimento pozolânico no mercado nacional é a concentração da oferta de materiais pozolânicos em um pequeno número de Estados. Assim, em 1982, os três Estados da Região Sul responderam por 65% da produção brasileira deste tipo de cimento.⁴⁰

Foram fabricadas, em 1982, 2.231.186 toneladas de cimento de alto forno no Brasil, correspondendo a 8,7% do total nacional. É interessante observar que o consumo deste tipo de cimento sofreu quedas significativas nos últimos anos, várias vezes superiores às observadas para a produção agregada do setor. Como o cimento de alto forno é o mais indicado para a construção de esgotos, em função de sua resistência aos sulfatos, uma possível explicação para a queda observada na sua demanda seria a redução dos investimentos em obras de saneamento a partir de 1981. A esse respeito é importante notar que, em 1980, 20,3% do total de Cr\$ 192 bilhões aplicados pelo BNH em obras de construção civil foram destinados ao setor de saneamento. (PROCHNIK [39]).

O cimento de alto forno resulta da mistura do clínquer à escória de alto forno, obtida na produção de ferro-gusa, em proporções que chegam a 65% do peso total do aglomerante, que pode ser dos tipos AF-250 e AF-320.⁴¹ Para ser adicionada diretamente ao clínquer, porém, a escória precisa ter sido resfriada de maneira adequada, utilizando equipamentos que são a USIMINAS, CSN e COSIPA hoje dispõem.⁴² O potencial de aproveitamento, porém, é grande, pois na fabricação de uma tonelada de ferro-gusa há a formação de cerca de 300 a 400 kg de escória siderúrgica.⁴³

⁴⁰ Cabe ainda observar que todo o cimento fabricado em Santa Catarina e no Rio Grande do Sul é do tipo pozolânico, o que se explica não só pela disponibilidade de cinzas mas também pela carência de calcário nesses Estados.

⁴¹ Cimento de alto forno com resistências de 250 kgf/cm² e 320 kgf/cm², respectivamente.

⁴² As siderúrgicas Açominas e Tubarão já têm projeto para produzir escória de alto forno com as especificações necessárias à adição ao clínquer.

⁴³ FDTE [29].

Esta limitação na oferta de escórias faz com que apenas Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo produzam cimento de alto forno. Outro fator que impede a maior penetração deste tipo de cimento no mercado é seu elevado tempo de início de pega e sua baixa resistência nas primeiras idades (3 a 7 dias). Estas características prejudicam sua utilização na construção de habitações, uma vez que provocam uma redução no ritmo da obra.

A exemplo do que ocorre com o cimento pozolânico, a falta de conhecimento do consumidor sobre as propriedades do cimento de alto forno contribui para marginalizar sua utilização. Este é um fator que, aliado ao excesso de oferta de cimento existente nos últimos anos, explica, em parte, a queda observada no consumo de cimento de alto forno.

Sob o ponto de vista energético a vantagem dos tipos pozolânico e de alto forno resulta de suas produções requererem menor quantidade de combustível, já que as adições são feitas diretamente ao clínquer. Medida em relação ao cimento Portland comum a economia de energia chega a 30% para o pozolânico e a 50% para o alto forno.⁴⁴

Assim, do ponto de vista da conservação de energia, seria interessante aumentar a participação destes tipos de cimento no consumo total. Isto poderia ser feito reduzindo-se o preço dos cimentos energeticamente mais eficientes, como é feito, por exemplo na França, Alemanha e Inglaterra. Um diferencial de preços adequado, que transferisse para o consumidor parte dos lucros que o fabricante obtém na produção do Portland pozolânico e do Portland de alto forno, incentivaria o seu consumo e compensaria eventuais prejuízos decorrentes de sua utilização.

2.4 - Conclusões do Capítulo

Procurou-se descrever, neste capítulo, aspectos gerais da indústria do cimento, direta ou indiretamente relacionados com o consumo de energia pelo setor. A análise da estrutura do merca

⁴⁴ FDTE [29]

do de cimento mostrou que o consumo deste produto apresentou uma tendência secular de crescimento e que, apesar de ser o comportamento cíclico da demanda uma característica do setor, a queda de 22% no consumo, no período 1981/83, é um acontecimento incomum para a indústria do cimento.

O exame das tecnologias de produção de cimento, por outro lado, permitiu verificar que a adoção, na segunda metade da década de 60, do processo de via seca com preaquecimento, possibilitou aos fabricantes obter economias substanciais nos gastos com combustíveis e aumentos importantes de produtividade. Constatou-se, outrossim, que a influência do primeiro choque do petróleo sobre o consumo de energia do setor foi muito reduzido, uma vez que na década de 70 o preço real médio do óleo combustível foi 23% inferior ao observado nos anos 60.

Através do estudo dos diversos tipos de cimento verificou-se que a produção de cimentos aditivados, como o pozolânico e o alto forno, permite obter um cimento energeticamente mais eficiente. A participação limitada destes tipos de cimento nas vendas totais do produto se explica por algumas desvantagens técnicas, pela oferta regionalmente concentrada da escória e da pozolana e pelo desconhecimento de alguns consumidores que, na presença de uma superoferta do produto no mercado optam pela compra do Portland comum. A prática de preços diferenciados pode contribuir para expandir a participação destes tipos de cimento no mercado.

3 - CONSUMO DE ENERGIA NA INDÚSTRIA DO CIMENTO

Até este ponto do trabalho foram analisadas várias características da indústria do cimento no Brasil, abordando-se desde aspectos mercadológicos até outros de caráter mais técnico. O objetivo desses primeiros capítulos foi apresentar um panorama geral do setor, examinando facetas do processo produtivo intimamente ligadas ao consumo de energia no setor cimenteiro.

Neste capítulo procurar-se-á descrever, de forma geral, o consumo de energia pelo setor, com especial destaque para os energéticos tradicionais: o óleo combustível e a eletricidade.

3.1 - Relevância do Setor Cimenteiro e seu Perfil de Consumo de Energia

O setor cimenteiro tem figurado, ao longo dos últimos a nos, como o quarto maior consumidor industrial de energia no Brasil,⁴⁵ respondendo, em 1982, por 8,49% e 2,62% do total de energia consumida, respectivamente, na indústria e no País como um todo (Quadro 3.1). Analisando-se os consumos do óleo combustível e do carvão mineral vapor, em separado, constata-se que a participação do setor cimenteiro eleva-se a, respectivamente, 16,48% e 69,85% do total industrial em 1982 (Quadro 3.1).

No Quadro 3.2 tem-se um panorama da evolução do consumo de energia pela indústria do cimento no período 1976/82. Observa-se que, até 1979, o consumo energético do setor encontrava-se qua se que integralmente concentrado no óleo combustível e na energia elétrica. A partir de 1980 cai a participação relativa dos derivados de petróleo, que são substituídos por combustíveis alternativi vos como o carvão mineral e o carvão vegetal. O consumo de energia elétrica, entretanto, mantém-se crescente, a despeito das quedas de produção observadas para 1981 e 1982.

3.2 - Óleo Combustível

O óleo combustível foi responsável, historicamente, pela maior parte do consumo de energia no setor cimenteiro, onde ele é utilizado com a finalidade de gerar (Quadro 3.3):

- calor direto no forno de clínquerização, função que responde pela maior parte de seu consumo;
- vapor, que é aproveitado para o aquecimento do próprio óleo;
- ar quente (calor indireto), que serve à secagem de matérias-primas como a argila, o carvão, as escórias de alto forno e os materiais pozolânicos.

⁴⁵Para uma comparação com os demais setores industriais ver BRASIL [16], p. 34.

QUADRO 3.1

PARTICIPAÇÃO DO SETOR CIMENTEIRO NO CONSUMO DE ENERGIA NA
INDÚSTRIA E NO TOTAL NACIONAL - 1982

ENERGÉTICO	UNI- DADE	CONSUMO DO SETOR CIMENTEIRO	CONSUMO NA INDÚSTRIA		CONSUMO TOTAL DO BRASIL	
			Total	Participação do Setor Cimenteiro (%)	Total	Participação do Setor Cimenteiro (%)
Óleo Combustível	t	1 263 049	7 662 600	16,48	11 584 980	10,90
Óleo Diesel	m ³	31 875	1 406 000	2,27	18 655 000	0,17
Gás Natural	10 ³ m ³	22 823	413 000	5,53	1 603 000	1,42
Carvão Mineral Vapor	t	1 921 698	2 751 000	69,85	5 306 000	36,22
Carvão Vegetal	t	451 512	5 103 000	8,85	5 647 000	8,00
Energia Elétrica	MWh	3 007 398	70 933 000	4,24	131 590 000	2,29
TOTAL	GCAL	28 461 549	335 149 580	8,49	1 086 269 000	2,62

FONTES: CNP [21], BARRETO [12] e BRASIL [16].

QUADRO 3.2
BRASIL: CONSUMO DE ENERGIA NA INDÚSTRIA DE CIMENTO

A - DERIVADOS DE PETRÓLEO							
ENERGÉTICO	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
Óleo Combustível (t)	2 163 371	2 253 865	2 307 542	2 212 295	2 118 825	1 767 429	1 263 049
Óleo Diesel/Utilização Direta na produção (m ³)	554*	571*	626	658	166	194*	191*
Gás Natural (10 ³ m ³)	21 237	25 761	50 253	51 421	51 889	24 864	22 823
Subtotal de Derivados de Petróleo (GCAL)	22 716 414	23 702 945	24 506 600	23 528 000	22 556 164	18 631 648	13 365 659
B - COMBUSTÍVEIS ALTERNATIVOS							
ENERGÉTICO	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
Carvão Mineral (t)	872	24 348	46 474	200 191	531 891	1 108 875	1 921 698
Carvão Vegetal (t)	5 365	17 882	31 203	70 027	157 401	256 056	451 512
Outros (GCAL)	7 516*	2 124*	588*	8 475	66 326	113 948	506 449
Subtotal de Combustíveis Alternativos (GCAL)	47 922	233 288	421 901	1 385 519	3 530 162	6 845 066	12 224 372
C - ÓLEO DIESEL UTILIZADO FORA DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DO CIMENTO							
ENERGÉTICO	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
Óleo Diesel sem utilização direta na produção (m ³)	19 738	20 359	22 322	22 975	25 115	32 187*	31 684*
D - CONSUMO TOTAL DE COMBUSTÍVEIS							
ENERGÉTICO	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
Consumo Total de Combustíveis (GCAL)	22 941 978	24 119 464	25 129 399	25 120 294	26 312 361	25 766 397	25 875 187
E - ENERGIA ELÉTRICA							
ENERGÉTICO	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
Energia Elétrica (MWh)	2 002 462	2 239 166	2 481 768	2 665 000	2 903 749	2 903 740	3 057 390
F - CONSUMO TOTAL DE ENERGIA NA INDÚSTRIA DO CIMENTO							
ENERGÉTICO	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
Consumo Total de Energia (GCAL)	24 714 095	26 045 147	27 263 719	27 412 194	28 609 505	28 266 689	28 461 549

FONTES: CNP [21], BARRETO [11] e [12]

* Valores estimados.

OBS.: Foram utilizados os seguintes poderes caloríficos para os combustíveis:

Óleo combustível - 10,4 Gcal/t
 Óleo diesel - 9,0 Gcal/m³
 Gás natural - 10,0 Gcal/10³m³
 Carvão mineral - 4,5 Gcal/t
 Carvão vegetal - 6,8 Gcal/t

QUADRO 3.3DISTRIBUIÇÃO DO CONSUMO DE ÓLEO COMBUSTÍVEL NA PRODUÇÃO DO
CIMENTO POR SERVIÇO ENERGÉTICO

(%)

SERVIÇO	ANO	
	1978	1980
Geração de vapor	4,01	2,86
Aquec. indireto (fornalhas e secadores)	1,52	1,47
Aquec. direto (fornos)	94,38	95,67
Outros	0,09	0,00
TOTAL	100,00	100,00

FONTE: CNP [21]

Observando o Quadro 3.4, vê-se que o consumo total de óleo combustível pelo setor cimenteiro cresceu, no período 1961/78, de forma ininterrupta e a taxas médias de 6,7% a.a. A partir de 1979 o consumo deste derivado inicia uma rápida queda, atingindo, em 1982, o mesmo nível de 1970. Esta mudança no comportamento do consumo de óleo combustível deveu-se à sua substituição por combustíveis alternativos, a qual será examinada com mais detalhes no Capítulo 5.

A análise do consumo específico do óleo combustível, por outro lado, apresentou no período 1961/82 uma tendência constante de queda, acelerada a partir de 1979 pela queda no consumo total deste derivado. Deve-se observar, contudo, que no período 1961/78 houve uma redução de quase 40% no consumo específico de óleo combustível para a produção de cimento (Quadro 3.4), caracterizando um notável processo de conservação, que se procurará analisar no próximo capítulo.

A conjugação dos processos de conservação e substituição de derivados de petróleo permitiu ao setor cimenteiro reduzir

QUADRO 3.4
CONSUMO DE ÓLEO COMBUSTÍVEL PELA
INDÚSTRIA DE CIMENTO

ANO	CONSUMO TOTAL (Toneladas) ¹	CONSUMO ESPECÍFICO (t/t) ²
1961	768 585	0,1632
1962	851 546	0,1679
1963	841 401	0,1621
1964	865 295	0,1549
1965	869 167	0,1545
1966	933 055	0,1543
1967	955 181	0,1491
1968	1 074 763	0,1476
1969	1 114 248	0,1424
1970	1 262 276	0,1402
1971	1 316 505	0,1343
1972	1 474 691	0,1300
1973	1 698 467	0,1268
1974	1 816 025	0,1217
1975	1 983 299	0,1185
1976	2 163 371	0,1129
1977	2 253 865	0,1067
1978	2 307 542	0,0994
1979	2 212 295	0,0889
1980	2 118 825	0,0779
1981	1 767 429	0,0678
1982	1 263 049	0,0493

FONTE: SNIC [41], CNP [21] e BARRETO [11] e [12].

¹Os valores do consumo para o período 1968-1975 foram estimados com base no consumo específico de cada forno e sua respectiva produção.

²Consumo total de óleo combustível dividido pela produção de cimento.

sua participação nos consumos industrial e nacional de óleo combustível de, respectivamente, 22,83% e 15,48%, em 1970, para 16,48% e 10,90%, em 1982.

3.3 - Energia Elétrica

A energia elétrica responde por cerca de 9% do consumo de energia de uma fábrica de cimento, sendo utilizada primordialmente sob a forma de força motriz para:

- acionamento de motores;
- transporte de materiais;
- iluminação;
- atividades diversas.

A primeira destas atividades responde pela maior parte do consumo e inclui o acionamento:

- dos motores dos diversos moinhos (das matérias-primas, do clínquer e do carvão), responsáveis por mais de 70% do consumo de energia elétrica de uma fábrica de cimento (LAFARGE [35]);
- dos motores que fazem girar os fornos rotativos de clínquer;
- das máquinas utilizadas na extração das matérias-primas;
- dos equipamentos responsáveis pela preparação do cru.

A energia elétrica utilizada no transporte de materiais responde pelo funcionamento:

- das correias transportadoras e dos elevadores de caneca;
- dos sistemas pneumáticos de transporte.

Cerca de 95% da energia elétrica consumida numa fábrica de cimento é utilizada sob a forma de força motriz, sendo os outros 5% aproveitados para a iluminação da fábrica e no desempenho de atividades administrativas.

No Quadro 3.5 tem-se a evolução do consumo total de energia elétrica pela indústria do cimento no período 1961/82, observando-se um crescimento contínuo, à exceção dos anos de 1965 e 1967. Por outro lado, o consumo específico de energia elétrica, ao contrário do ocorrido para o óleo combustível, aumentou no período 1961/82, tendo crescido cerca de 27% entre 1968 e 1982. As causas desta "conservação negativa" de energia elétrica estão ligadas às medidas de conservação e substituição de derivados de petróleo, executadas pelo setor, e serão analisadas no próximo capítulo.

3.4 - Outros Combustíveis

O carvão mineral⁴⁶ passou a ser consumido significativamente na indústria do cimento a partir de 1977, com o sucesso do esforço de substituição iniciado em 1976 pela MATARAZZO. Deste ano em diante sua participação no total de combustíveis utilizados pelo setor cimenteiro aumentou rapidamente (Quadro 3.2), sendo, em 1982, consumido por quase todas as empresas de latitude abaixo do paralelo 20.

Conforme apresentado no Quadro 3.1, o setor cimenteiro consome cerca de 70% do carvão mineral utilizado pela indústria, tornando-se, depois das termoelétricas da Região Sul, o maior consumidor individual deste energético.

Para as regiões Norte e Nordeste do Brasil, distantes dos centros produtores de carvão mineral do País, o carvão vegetal surge como opção básica de substituição do óleo combustível. São grandes consumidores deste energético, sob a forma de moinha, as cimenteiras situadas próximas a siderúrgicas, que utilizam o carvão vegetal como redutor e que dispõem dos finos deste combustível (moinha) como resíduo, vendendo-o a baixo preço.

Apesar de não ter apresentado um crescimento de consumo tão estuendo quanto o do carvão mineral, o carvão vegetal também

⁴⁶ Tratar-se-á neste trabalho apenas do carvão mineral conhecido como carvão vapor ou energético, excluindo-se da análise o carvão metalúrgico.

QUADRO 3.5
CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NA
INDÚSTRIA DE CIMENTO

ANO	CONSUMO TOTAL ¹ (MWh)	CONSUMO ESPECÍFICO ² (MWh/t)
1961	490 958	0,1043
1962	534 527	0,1054
1963	557 940	0,1075
1964	613 377	0,1099
1965	596 627	0,1061
1966	671 402	0,1111
1967	602 206	0,0940
1968	676 663	0,0929
1969	745 811	0,0953
1970	864 596	0,0960
1971	946 656	0,0966
1972	1 108 522	0,0974
1973	1 351 715	0,1009
1974	1 516 503	0,1016
1975	1 749 001	0,1045
1976	2 002 462	0,1045
1977	2 239 166	0,1060
1978	2 481 768	0,1069
1979	2 665 000	0,1071
1980	2 903 749	0,1068
1981	2 908 740	0,1121
1982	3 007 398	0,1182

FONTE: CNP [21], ELETROBRÁS [25], Elaboração INPES/IPEA.

¹Os valores do período 1968-1975 e do ano de 1979 foram estimados com base no consumo específico de cada empresa e sua respectiva produção.

²Consumo total de energia elétrica dividido pela produção de cimento.

teve sua participação aumentada no total de combustíveis consumidos na indústria do cimento (ver Quadro 3.2). O setor cimenteiro ocupa uma posição de destaque no consumo industrial e nacional de carvão vegetal, com participações respectivas de 8,85% e 8,00% (Quadro 3.1).

O óleo diesel é utilizado na indústria de cimento, basicamente, com fins não-térmicos. Assim, seu maior aproveitamento é como combustível de caminhões (transporte de matérias-primas e de cimento), no acionamento de motores de diversos equipamentos (escavadeiras, tratores, etc.) e para geração de energia elétrica.⁴⁷

Em escala bem menor, ele é queimado em fornalhas e caldeiras, para a produção de calor indireto e a geração de vapor, respectivamente. Contudo, portaria do CNP proibiu a queima industrial de óleo diesel, incluindo-se aí o setor cimenteiro. Esta medida deverá, no curto/médio prazo, eliminar o uso deste combustível para fins térmicos.

As limitações da oferta de óleo combustível impostas pelas cotas do CNP e a elevação dos preços deste energético levaram as fábricas de cimento a testar e utilizar fontes alternativas de energia de características locais.

Em algumas regiões, distantes dos pólos produtores de carvão mineral, e com oferta insuficiente de carvão vegetal, passou-se a usar combustíveis os mais diversos, desde pneus velhos, até casca de dendê. A casca de arroz, porém, apareceu, dentre eles, como o maior substituto do óleo combustível, sendo usada em escala razoável em Goiás. Este energético é queimado no forno de clínquer.

Outro combustível de relativa importância é a lenha, usada há mais tempo pelo setor cimenteiro (pelo menos desde 1976), cujo aproveitamento é feito em caldeiras e secadores e, mais recentemente, no forno.

⁴⁷ Esta última utilização do óleo diesel tem, hoje em dia, uma participação quase nula no consumo total deste energético pela indústria de cimento.

Porém, analisando-se a participação destes combustíveis alternativos no total de energia consumida pela indústria de cimento, vemos que esta é muito reduzida (menos de 2% em 1982), apesar de crescente nos últimos anos.

3.5 - Participação dos Gastos com Energia no Preço do Cimento

A energia é um dos principais insumos na fabricação do cimento, respondendo por considerável parcela dos seus custos de produção. Em trabalho publicado em 1976, Guimarães e Reis⁴⁸ estimavam a participação dos gastos com óleo combustível e energia elétrica nos custos totais de produção como sendo, respectivamente, de 15,3% e 13,3%, para o processo de via seca, e de 22,7% e 11,7%, para a tecnologia úmida.⁴⁹

A evolução da participação dos gastos com energia no preço de atacado do cimento é apresentada no Quadro 3.6.⁵⁰ A queda de 57% na participação dos gastos com combustíveis, no período 1961/70, resultou da conjugação de um consumo específico de óleo combustível 14% menor e da queda de 56% no preço deste derivado, com a diminuição de 13% no preço real do cimento.

A participação dos gastos com combustíveis na década de 70 se mantém aproximadamente estável e bem inferior à observada nos anos 60. O período 1971/79 se caracteriza pelo aumento de 88% no preço do óleo combustível (Anexo 5) e pela queda de 31% no consumo específico de energia com fins térmicos. O preço do cimento experimenta uma queda entre 1968 e 1972/73, com o início do seu controle pelo CIP.^{51,52} O fortalecimento do Sindicato Nacional das

⁴⁸ GUIMARÃES & REIS [32].

⁴⁹ Estes valores são válidos para uma escala de produção de 700 000 t/ano.

⁵⁰ Os preços do período 1969/82 foram obtidos no ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO BRASIL [2]. Os valores dos anos anteriores foram calculados com base no Índice do Preço Real do Cimento constante em GUIMARÃES & REIS [35].

⁵¹ Criado em 1968, pelo Decreto 63 196, de 29/8/1968 (PROCHNIK [39]).

⁵² O preço do cimento é controlado pelo CIP na fábrica e pela SUNAB no comércio (op.cit.).

QUADRO 3.6

BRASIL: EVOLUÇÃO DA PARTICIPAÇÃO DOS GASTOS COM COMBUSTÍVEIS E ENERGIA
ELÉTRICA NO PREÇO DE ATACADO DO CIMENTO

ANO	PREÇO DO CIMENTO (Cr\$ de 1981/t)	PARTICIPAÇÃO DOS COMBUSTÍVEIS NO PREÇO DO CIMENTO (%)	PARTICIPAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA NO PREÇO DO CIMENTO (%)	PARTICIPAÇÃO DOS GASTOS COM ENERGIA NO PREÇO DO CIMENTO (%)
1961	9 765	15,5	-	-
1962	8 556	15,5	-	-
1963	9 300	14,6	-	-
1964	8 649	14,3	-	-
1965	9 300	14,8	-	-
1966	9 114	13,6	-	-
1967	9 672	8,8	-	-
1968	9 393	7,4	-	-
1969	9 021	6,9	-	-
1970	8 475	6,7	-	-
1971	7 840	7,4	-	-
1972	7 288	8,3	-	-
1973	7 288	8,0	-	-
1974	7 900	8,0	-	-
1975	9 407	7,1	-	-
1976	9 219	7,6	-	-
1977	8 968	7,8	3,7	11,5
1978	8 409	7,5	4,1	11,6
1979	8 070	8,9	4,0	12,9
1980	8 899	13,0	3,5	16,5
1981	9 940	13,9	3,6	17,5
1982	9 118	12,0	4,4	16,4

FONTES: Quadros 3.4 e 3.5, Anexos 5 e 8, ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO BRASIL [2] e GUIMARÃES & REIS [32].

OBS.: Não se dispõe de informações para os gastos totais com eletricidade e energia para o período 1961/76.

Indústrias do Cimento e suas conquistas junto ao CIP foram os maiores responsáveis pela recuperação do preço desse produto a partir de 1975.⁵³

A rápida elevação do preço do óleo combustível a partir de 1980 explica a maior participação dos gastos com energia nos primeiros anos da década de 80. É interessante observar que, caso o setor cimenteiro não tivesse recorrido ao uso de energéticos alternativos como o carvão, os gastos com combustíveis no ano de 1981 teriam respondido por 17,6% do preço do cimento e não pelos 13,9% na realidade observados.

As informações sobre os gastos com energia elétrica, disponíveis apenas a partir de 1977, mostram uma participação relativamente constante e igual a cerca de 4% do preço real do cimento.

3.6 - Conclusões do Capítulo

O setor cimenteiro é um dos principais consumidores industriais de energia, notadamente no que diz respeito ao óleo combustível, ao carvão mineral e à energia elétrica. O aquecimento direto das matérias-primas no forno de clínquerização é responsável por mais de 95% do consumo de combustíveis no setor, sendo a moagem a atividade que mais demanda energia elétrica (cerca de 70% do total).

A participação dos gastos com combustíveis no preço do cimento caiu entre os anos 60 e a década de 70, tornando a aumentar a partir de 1980 com o rápido aumento, nesse ano, do preço do óleo combustível. A energia elétrica manteve uma participação relativamente constante e próxima a 4% do preço do cimento, no período 1977/82.

A análise do perfil do consumo de energia na indústria do cimento evidenciou a existência de processos de conservação de energia e substituição de derivados de petróleo neste setor industrial, que serão examinados em detalhe nos próximos capítulos.

⁵³Para mais detalhes sobre a dinâmica do preço do cimento, ver PROCHNIK [39], pp. 135-141.

4 - CONSERVAÇÃO DE ENERGIA NA INDÚSTRIA DO CIMENTO

A indústria do cimento é uma das maiores consumidoras de energia do País, mormente no que se refere ao óleo combustível e ao carvão mineral. Conforme analisado no capítulo anterior, o consumo total de energia pelo setor cimenteiro acompanhou o crescimento de sua produção, à exceção do ano de 1982. Mencionou-se ainda a existência de um processo de conservação de combustíveis, ocorrendo paralelamente ao aumento do consumo específico de energia elétrica.

De acordo com o ilustrado no Quadro 4.1, a utilização de combustíveis por tonelada produzida de cimento atinge um mínimo em 1980, crescendo a partir de então. Levando-se em conta que no período anterior a 1976 o óleo combustível era a única fonte de energia térmica numa fábrica de cimento, pode-se usar os valores do Quadro 3.4 para mostrar que no período 1961/80 observou-se uma conservação de 43% no consumo de combustíveis pelo setor cimenteiro. Analisando-se exclusivamente o período 1976/80 este valor cai para cerca de 20%.

QUADRO 4.1

CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGIA NA INDÚSTRIA DE CIMENTO

(Gcal/tonelada produzida de cimento)

FONTE DE ENERGIA	ANO	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
	Combustíveis		1,1982	1,1419	1,0831	1,0099	0,9676	0,9891
Energia Elétrica		0,0899	0,0912	0,0920	0,0921	0,0918	0,0960	0,1009
TOTAL		1,2882	1,2331	1,1751	1,1020	1,0594	1,0851	1,1099

FONTE: Quadro 3.2 e Anexo 2.

O exame do consumo específico de energia elétrica, por outro lado, mostra que este cresceu 12% no período 1976/82, tendo aumentado cerca de 5% entre 1981 e 1982.

O consumo específico de energia na indústria de cimento acompanha a tendência dos combustíveis, com um ponto de mínimo em 1980 e aumentos significativos em 1981 e 1982.

O objetivo deste capítulo é descrever e analisar os fatores que levaram estes consumos específicos a variar desta forma. Os combustíveis e a energia elétrica serão considerados separadamente, para facilitar a exposição.

4.1 - Conservação de Combustíveis na Indústria de Cimento

Como visto no Capítulo 2, a produção de cimento pode ser dividida, a grosso modo, em duas fases distintas. A primeira, que vai da extração do calcário e da argila à obtenção do clínquer, se caracteriza pelas reações químicas que ocorrem no forno e pelo consumo de energia térmica, notadamente sob a forma de calor direto. A segunda etapa de produção consiste na moagem do clínquer e na sua mistura ao gesso e, conforme o cimento que se deseja produzir, às escórias de alto forno ou materiais pozolânicos. Esta fase final requer, quase que exclusivamente, a utilização de energia elétrica, sob a forma de força motriz.

Desta forma, a análise do consumo específico de combustíveis na fabricação de cimento deve levar em conta o teor de adições, ou seja, deve considerar separadamente os dois termos do lado direito da expressão a seguir:

$$\frac{\text{Cons. de Combustível}}{\text{Prod. de Cimento}} = \frac{\text{Prod. Clínquer}}{\text{Prod. Cimento}} \times \frac{\text{Cons. de Combustíveis}}{\text{Prod. de Clínquer}} \quad (4.1)$$

onde $\text{Prod. Cimento} = \text{Prod. Clínquer} \times (1 + \text{teor de adições})$

No Quadro 4.2 procura-se quantificar a influência de cada um destes fatores. Para a conservação de combustíveis no período 1976/80 contribuiu decisivamente a melhoria na eficiência dos fornos de clínquer e, num plano secundário, o aumento no teor

de adições observado no período. A participação relativa destes dois efeitos na queda do consumo específico de combustíveis foi de, respectivamente, 70% e 30%.

O aumento no consumo específico observado em 1981 decorreu da queda do teor de adições ao clínquer, enquanto a elevação do consumo de combustíveis por tonelada produzida de cimento, em 1982, foi causada pela redução observada na eficiência dos fornos de clínquer.

QUADRO 4.2

CONSERVAÇÃO DE COMBUSTÍVEIS NA INDÚSTRIA DE CIMENTO:

SEPARAÇÃO DOS EFEITOS

ANO	<u>PROD. CLÍNQUER</u> <u>PROD. CIMENTO</u>	<u>CONS. DE COMB.</u> <u>PROD. CLÍNQUER</u>	<u>CONS. DE COMB.</u> <u>PROD. CIMENTO</u>
1976	100,0	100,0	100,0
1978	98,5	92,0	90,6
1979	95,9	88,1	84,5
1980	94,2	85,9	80,9
1981	97,1	85,2	82,7
1982	94,7	89,1	84,4

FONTE: BARRETO [11] e [12], Quadro 3.2 e Anexo 2.

4.2 - Conservação de Energia Através de Adições

Conforme discutido no segundo capítulo deste trabalho, a mistura ao clínquer de adições ativas (escória de alto forno e materiais pozolânicos) permite obter grande conservação de combustíveis na produção do cimento. O Quadro 4.3 ilustra as diferenças existentes entre os consumos específicos de combustível para os três tipos mais importantes de cimento no Brasil.

QUADRO 4.3
COMPARAÇÃO ENTRE OS DIFERENTES CONSUMOS ESPECÍFICOS DE
COMBUSTÍVEL PARA OS VÁRIOS TIPOS DE CIMENTO

TIPO	COMUM			POZOLÂNICO			ALTO FORNO		
	1980	1981	1982	1980	1981	1982	1980	1981	1982
ADIÇÃO (%) ¹	2-10	3-10	1,2-10	12-33	12-30	10-30	30-65	27-60	25-60
CONSUMO									
Mínimo	71	70	70	64	70	63	32	40	40
Médio ²	100	99	100	85	85	83	54	57	54
Máximo	207	207	229	119	122	127	76	84	80

FONTE: BARRETO [1] e [2].

¹Teores mínimos e máximos de adição observados a cada ano para cada tipo de cimento.

²Consumo específico médio do cimento Portland comum em 1980 igual a 100.

A análise do Quadro 4.3 torna clara a conservação de energia obtida com a produção de cimentos aditivados, que pode chegar até 30% para o tipo pozolânico e até 50% para o de alto forno (FDTE [29]).

Consoante o apresentado no Quadro 4.4, a participação destes tipos de cimento na produção nacional aumentou significativamente ao longo dos últimos 20 anos, reduzindo a quantidade de clínquer em cada tonelada de cimento. Por outro lado, a queda de participação do cimento de alto forno no período 1980/82 contribuiu para aumentar o consumo específico de combustíveis em 1981 e 1982.

QUADRO 4.4
PARTICIPAÇÃO DE CIMENTOS COM ADITIVOS NO
TOTAL DA PRODUÇÃO NACIONAL

ANO	PARTICIPAÇÃO DO CIMENTO POZOLÂNICO (%)	PARTICIPAÇÃO DO CIMENTO DE ALTO FORNO (%)
1960	0	3,82
1965	0	4,43
1970	2,13	7,59
1975	5,35	7,12
1980	7,46	11,34
1981	9,30	8,89
1982	12,40	8,70

FONTE: Anexo 2.

4.3 - Conservação de Energia na Produção do Clínter

A expressão (4.1) aponta duas formas de se reduzir o consumo de combustíveis por tonelada produzida de cimento. A primeira, analisada no item anterior, consiste em aumentar o volume de adições ativas em cada tonelada de cimento. A segunda resulta da redução do consumo de combustíveis por tonelada produzida de clínter.

No Quadro 4.5 tem-se as variações do consumo de combustíveis por tonelada produzida de clínter que, como se pode observar, decorreram fundamentalmente das alterações ocorridas na eficiência dos fornos de clínter. O consumo específico de combustíveis para a geração de vapor e de calor indireto caiu sistematicamente no período 1978/82. Como consequência deste processo, a participação relativa da geração de calor direto no consumo total de combustíveis aumenta de 93,8% em 1978 para 98,1% em 1982. O forno de clínter é, assim, o elemento mais importante da análise do processo de conservação de combustíveis na indústria do cimento.

QUADRO 4.5
CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTÍVEIS PARA A PRODUÇÃO DE
CLÍNQUER, POR SERVIÇO ENERGÉTICO
 (Gcal/t)

ANO \ SERVIÇO	VAPOR (CALDEIRAS)	CALOR INDIRETO (FORNALHAS, SEC.)	CALOR DIRETO (FORNOS)	OUTROS	TOTAL
1978	0,0469	0,0181	1,1442	0,0108	1,2200
1980	0,0272	0,0144	1,0878	0,0097	1,1391
1981	0,0146	0,0113	1,1042	-	1,1301
1982	0,0130	0,0095	1,1590	-	1,1815

FONTES: CNP [2] - 1978 e 1980

BARRETO [1] e [2] - 1981 e 1982

OBS.: BARRETO não considerou a existência do serviço OUTROS.

4.3.1 - Conservação de Combustíveis no Forno de Clínquer

O ponto de partida para a análise do processo de conservação de combustíveis nos fornos de clínquer será a regressão (4.2) apresentada a seguir:⁵⁴

$$\ln(OC) = 5,129000 - 0,121561 \ln(\text{Prod}) + 0,252305 D1 + 0,439586 D4 \quad (4.2)$$

(62,3325) (-8,4043) (6,1239) (21,1578)

$$R^2 = 0,9056$$

$$F = 498,74$$

$$D.W. = 1,2998$$

⁵⁴ Esta equação foi estimada com base numa amostra de 160 dados, sendo 72 observações de 1976 e 88 de 1980. Um forno de via semi-seca existente foi agregado aos de via seca.

onde,

OC = consumo específico de combustíveis, em kg equivalente de óleo combustível, para a produção de uma tonelada de clínquer em cada forno;

Prod = produção de clínquer, em cada forno, medida em milhares de toneladas por ano;

D1 = 1 se o forno é de via seca do tipo longo e zero em caso contrário;

D4 = 1 se o forno é de via úmida e zero em caso contrário.

A interpretação dos coeficientes obtidos para a equação (4.2) é discutida a seguir, separadamente para cada variável da regressão.

A equação (4.2) indica a existência de sensíveis economias de escala no processo de produção de clínquer. Assim, um forno, com produção anual de clínquer de $2x$ toneladas, consome menos 8% de energia, do que outro que produza x toneladas anuais.

É interessante observar que diversos autores não fazem menção à existência destas economias de escala, preferindo considerar um consumo de óleo combustível fixo por toneladas de clínquer produzida.⁵⁵ Já em GUIMARÃES & REIS [32], AMBROSIO [1], FURNAS [30] e LAFARGE [35] se considera o consumo específico de energia no forno decrescente com sua escala de produção. Este último trabalho, em especial, aponta para uma redução de 11% nos custos diretos quando se dobra a capacidade de produção nos fornos.

Com o desenvolvimento natural da tecnologia e respondendo a maiores níveis de demanda, a capacidade média dos fornos instalados no Brasil vem aumentando nos últimos anos (Quadro 4.6), permitindo assim a produção de um clínquer energeticamente mais eficiente. Por outro lado, a queda de produção observada no período 1980/82 reduziu a eficiência dos fornos.

⁵⁵ Ver, por exemplo, LOPES [37].

QUADRO 4.6
EVOLUÇÃO DA CAPACIDADE MÉDIA DOS FORNOS
INSTALADOS NO BRASIL

ANO	CAPACIDADE TOTAL (1.000 t de cimento)	CAPACIDADE MÉDIA (t de cimento)
1965	6 671	107 597
1970	9 494	128 297
1973	14 560	165 455
1976	19 130	203 511
1981	28 532	264 185
1982	31 236	289 222

FONTE: SNIC [43], ABCP [7] e PROCHNIK [39].

Como se procurou mostrar no Capítulo 2 deste trabalho, os fornos de via seca com preaquecimento por suspensão são energeticamente mais eficientes do que os de via seca do tipo longo e, principalmente, do que os de via úmida. Partindo-se dos valores dos coeficientes da equação (4.2), vê-se que, para uma dada produção anual de clínquer, o consumo de combustível para um forno de via úmida é 55%⁵⁶ maior do que para um com preaquecimento por suspensão. Para um forno longo de via seca este valor é de 29%.

Até 1966 não havia no Brasil fornos com preaquecimento por suspensão. Em 1969 estes eram em número de 3 para um universo de 68 fornos em funcionamento no País. Contudo, a partir desta época, aumentou muito a participação deste tipo de forno no total da produção de clínquer no Brasil (ver Quadro 2.4 e Anexo 4), contribuindo para diminuir significativamente o consumo específico de óleo combustível para a produção de uma tonelada de clínquer.

⁵⁶ É interessante observar que este valor coincide com as estimativas encontradas na grande maioria dos trabalhos elaborados sobre o setor (ver, por exemplo, GUIMARÃES & REIS [32]).

A mudança de tecnologia de um forno de via úmida para via seca ou semi-seca tem efeitos sobre o consumo específico de energia semelhantes aos discutidos anteriormente. Apesar de terem ocorrido alguns casos nos últimos anos (por exemplo, dois fornos da CAUÊ, três da BARROSO, um da ITAPESSOCA, etc.), sua importância relativa no total de conservação de energia no setor ainda é pequena.

Para verificar se houve realmente algum tipo de conservação nos fornos em operação no ano de 1976, no que tange ao consumo de óleo combustível equivalente por tonelada de clínquer, foram feitas regressões, com especificação semelhante à da expressão (4.2), em que se incluía uma terceira "dummy", que assumia o valor zero para o ano de 1976 e um para 1980.

A não significância estatística do coeficiente desta variável nas regressões efetuadas parece indicar a inexistência de melhorias na eficiência energética dos fornos individualmente, entre os anos de 1976 e 1980.

As quedas observadas em 1981 e 1982 na eficiência dos fornos podem ser explicadas, em parte, pelo maior uso de energéticos alternativos, em especial o carvão mineral. Lessa e Dias mencionam que "... a quase totalidade das fábricas que promoveram alterações para utilização do novo insumo apresentaram perdas de rendimento energético, que foram maiores para as maiores substituições, e aceleradas para substituições marginais a partir de um patamar elevado de utilização do energético alternativo...".⁵⁷

A POLYSIUS estima em 2,5% a perda de eficiência do forno quando se substitui o óleo combustível pelo carvão mineral.⁵⁸ Este percentual, todavia, parece pequeno quando comparado à elevação do consumo específico de combustíveis para a geração de calor direto entre 1980 e 1982 (Quadro 4.5). É difícil, porém, precisar se esta diferença resulta do aumento da capacidade ociosa

⁵⁷ LESSA & DIAS [36], p. 4

⁵⁸ Informação obtida junto à POLYSIUS PROJETOS INDUSTRIAIS S/A, São Paulo.

no período, da falta de hábito dos produtores de cimento em trabalhar com o carvão mineral, da existência de outros combustíveis alternativos (cuja utilização é mais ineficiente do que a do carvão)⁵⁹ ou, o que é mais provável, de uma conjugação de todos estes fatores.

4.3.2 - Conservação de Combustíveis em Caldeiras e em Fornalhas e Secadores

A geração de vapor em uma fábrica de cimento respondeu, historicamente, por cerca de 3% do consumo total de combustíveis (FDTE [29]). Este vapor é utilizado para aquecer o óleo combustível, tornando-o mais fluido e facilitando sua utilização.

Os processos de conservação e substituição do óleo combustível tiveram como efeito indireto a redução da necessidade de vapor e, conseqüentemente, de combustíveis para este fim. Esta é a principal razão para a queda do consumo específico na geração de vapor observada no Quadro 4.5. Outro fator importante foi a substituição das caldeiras a óleo por outras elétricas, aproveitando os incentivos fornecidos ao uso da eletrotermia.

Fornalhas e secadores são utilizados na indústria de cimento para a secagem de matérias-primas. Com o aumento da participação do processo de via seca na produção de cimento, este serviço energético assumiu maior importância.

Mais recentemente, contudo, o ar quente gerado nestes equipamentos vem sendo substituído pelos gases de combustão, que deixam os fornos a uma temperatura aproximada de 350°C. Estes últimos são usados também na secagem do carvão e apresentam a grande vantagem de possuírem baixos teores de oxigênio. Explica-se assim a redução do consumo específico de combustíveis em fornalhas e secadores observada no Quadro 4.5.

4.4 - Energia Elétrica

Como se pode observar no Quadro 4.1, o consumo específi-

⁵⁹LESSA & DIAS [36].

co de energia elétrica na indústria de cimento vem aumentando nos últimos anos, notadamente em 1982. Como os três próximos itens procurarão mostrar, esta "conservação negativa" de energia elétrica está diretamente ligada a algumas das medidas de conservação e substituição de óleo combustível.

4.4.1 - Aumento do Consumo de Energia Elétrica Devido à Maior Utilização do Processo da Via Seca na Produção de Cimento

O processo de via seca, a despeito de consumir menos óleo combustível do que o de via úmida, apresenta desvantagem com relação ao uso de energia elétrica. Apesar de o consumo específico de eletricidade variar de um caso para outro,⁶⁰ os valores de 90 KWh e 110 KWh por tonelada de cimento⁶¹ para os processos de via úmida e via seca, respectivamente, representam bem os consumos específicos de cada tecnologia.

Analisando-se a evolução da participação do processo de via seca na produção de clínquer, apresentada no Quadro 2.4, torna-se claro que uma parte substancial do aumento do consumo específico de energia elétrica é o resultado do processo de substituição tecnológica na produção de cimento, cujo objetivo principal foi a conservação de combustíveis.

4.4.2 - Aumento do Consumo de Energia Elétrica Devido ao Maior Uso do Carvão

Em anos recentes o carvão (mineral e vegetal) apareceu como substituto mais adequado do óleo combustível queimado nos fornos de clínquer. Sua participação no conteúdo energético de uma tonelada de cimento aumentou rapidamente entre 1976 e 1982, che-

⁶⁰ Alguns autores consideram a existência de economias de escala no consumo de energia elétrica (ver, por exemplo, GUIMARÃES & REIS [32] e AMBROSIO [1]). Informações conseguidas junto à POLYSIUS contrariam esta tese.

⁶¹ HORTA [33].

gando a representar, no segundo semestre de 1982, mais de 50% dos combustíveis consumidos no setor cimenteiro.⁶²

A preparação e a utilização do carvão, contudo, requerem o uso de máquinas e equipamentos (britadores, moinhos, esteiras rolantes, etc.) que necessitam de energia elétrica para o seu acionamento.⁶³ O consumo de eletricidade por tonelada moída de carvão é de 40 KWh (TIGGESBAUMKER & KREFT [47]) e, desta forma, a substituição total do óleo pelo carvão numa fábrica de cimento causará um aumento de cerca de 10% no consumo de energia elétrica.

Assim, o uso mais intensivo de carvão torna a produção de cimento mais intensiva em eletricidade, o que explica os "saltos" no seu consumo específico observados em 1981 e 1982. É de se esperar, contudo, que, à medida que o processo de substituição do óleo combustível se complete, o consumo específico de energia elétrica tenda a se estabilizar.

4.4.3 - Eletrotermia

O uso da energia elétrica para geração de calor direto vem sendo cogitado como uma possibilidade de substituir os derivados de petróleo. A indústria do vidro e a do aço, principalmente, vêm sendo alvo de estudos neste sentido. Para o setor cimenteiro, contudo, esta não é uma alternativa viável, em função das características técnicas do processo, em que o combustível, além da energia térmica, fornece a atmosfera redutora necessária ao processamento das matérias-primas.⁶⁴

Outra possibilidade de uso cogitada para esta fonte de energia é na geração de vapor através de caldeiras elétricas. A utilização deste equipamento na indústria do cimento, contudo, está condicionada ao nível de substituição do óleo combustível al-

⁶² Para o ano de 1983 este percentual deve chegar a 70%.

⁶³ A moagem, em especial, é a atividade maior consumidora de energia elétrica numa fábrica de cimento (LAFARGE [35]).

⁶⁴ BUSSE, SERRA & ERBER [19].

cançado na empresa. Como o vapor gerado é usado no aquecimento do óleo usado no forno, se este é substituído por carvão, por exemplo, o uso de caldeiras, elétricas ou não, perderia o sentido.

Ocorre, porém, que as fábricas de cimento, por motivos técnicos e de segurança, tendem a manter preparados para uso os seus sistemas de injeção do óleo combustível nos fornos de clínquer. Isto leva à necessidade de se gerar vapor, com algumas fábricas optando pela utilização de caldeiras elétricas.

4.5 - Conclusões do Capítulo

A indústria do cimento promoveu, no período 1976/82, um processo de conservação de energia que permitiu reduzir, em cerca de 14%, o seu consumo agregado de combustíveis e energia elétrica, por tonelada produzida de cimento.

O consumo específico de combustíveis caiu 43% no período 1961/80, em função de:

- maior produção de cimentos aditivados, mais eficientes energeticamente;
- aumento da capacidade média dos fornos, obtendo-se economias de escala;
- maior participação dos fornos de via seca com preaquecimento por suspensão na produção de cimento;
- menor utilização de caldeiras e fornalhas.

Por outro lado, a principal razão para o aumento de 4,3% no consumo específico de combustíveis entre 1980 e 1982 parece ter sido o maior aproveitamento do carvão nos fornos de clínquer. No período 1976/82 observa-se uma elevação de 12% no consumo de energia elétrica por tonelada produzida de cimento, devido:

- à maior utilização do processo de via seca na produção de cimento;
- ao crescimento no consumo de carvão; e,
- ao uso da eletrotermia para geração de vapor.

Duas conclusões importantes podem ser tiradas ao final deste capítulo. A primeira é a de que o processo de conservação de energia na indústria do cimento teve início antes do primeiro choque do petróleo e foi motivado por um contexto de desenvolvimento econômico e tecnológico, que já existia antes da rápida elevação do preço do óleo combustível, no segundo semestre de 1980. Em outras palavras, o aumento dos custos da energia não parece ter sido um fator essencial para que o processo de conservação de energia ocorresse na indústria do cimento.

A segunda conclusão a que se chega é que a substituição do óleo combustível pelo carvão gerou uma "conservação negativa" de energia, que se refletiu no aumento dos consumos específicos de combustíveis e de energia elétrica.

5 - SUBSTITUIÇÃO DO ÓLEO COMBUSTÍVEL NA INDÚSTRIA DO CIMENTO

Apesar de a crise energética ter-se iniciado em 1973, no Brasil a escalada de preços somente em 1980 atingiu o óleo combustível. Assim, a primeira pressão que a indústria de cimento teve, no sentido de reduzir sua dependência em relação a este energético, foi a portaria do CNP de 18/03/1979, que estabelecia quotas de fornecimento anual de derivados de petróleo aos grandes consumidores industriais, de serviços, de construção civil, de serviços públicos e também às distribuidoras credenciadas.⁶⁵

A fixação de cotas anuais decrescentes levou as empresas que tinham no óleo combustível um dos principais insumos de produção, como é o caso das cimenteiras, a tomar medidas objetivas para reduzir o risco da falta deste energético. O Protocolo de Objetivos⁶⁶ de 19 de setembro de 1979, firmado pelo MME, o MIC, o MT e os Sindicatos Nacionais das Indústrias de Cimento e de Extração de Carvão, foi o primeiro passo concreto no sentido de incre-

⁶⁵A elevação do preço internacional do petróleo, contudo, já era um primeiro sinal de que novas fontes de energia deveriam ser procuradas e, sem dúvida, contribuiu para tornar o processo de via seca mais atraente frente ao de via úmida.

⁶⁶BRASIL [14].

mentar a utilização de combustíveis alternativos pelo setor cimenteiro. O Protocolo fixava os prazos de dezembro de 1980, 1982 e 1984 para que os níveis de substituição de 30%, 50% e 100% fossem atingidos, respectivamente.

O Quadro 5.1 permite verificar que a meta estabelecida para dezembro de 1980 não foi alcançada. O mesmo não ocorreu, contudo, com os objetivos traçados para o final de 1982, e já no segundo semestre desse ano o setor cimenteiro alcançava um nível médio de substituição do óleo combustível de 55,7%.

Uma série de fatores podem ser apontados para explicar o atraso observado no cumprimento das metas constantes do Protocolo de Objetivos para 1980, da mesma forma que se pode creditar a eliminação destes entraves o novo fôlego tomado pela indústria do cimento na utilização de combustíveis não derivados do petróleo.

O objetivo deste capítulo é analisar o processo de substituição do óleo combustível no setor cimenteiro, examinando os fatores determinantes dos resultados observados e quantificando, na medida do possível, as variáveis mais importantes.

5.1 - Alternativas para Substituição do Óleo Combustível na Indústria do Cimento

Sob o ponto de vista técnico, um substituto para o óleo combustível na indústria do cimento deve atender a algumas especificações, das quais destacam-se:

- a) permitir atingir temperaturas da ordem de $1\ 400^{\circ}\text{C}$ no interior do forno;
- b) ser homogêneo, tanto na sua composição química quanto na temperatura da chama, permitindo manter a uniformidade do clínquer produzido;

Apesar de combustíveis tão diferentes, como pneus velhos, casca de arroz e terra clarificante, serem atualmente consumidos na produção de cimento, apenas o carvão, mineral e vegetal, e o gás natural têm sido utilizados com sucesso em projetos com níveis mais elevados de substituição do óleo combustível. Este fa

QUADRO 5.1

BRASIL: PARTICIPAÇÃO DOS DIVERSOS COMBUSTÍVEIS NO TOTAL DO CONSUMO DE
ENERGIA TÉRMICA NA INDÚSTRIA DO CIMENTO

COMBUSTÍVEL ¹	ANO							
	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983 (1º Se- mestre)
Óleo Combustível ²	99,79	99,03	98,31	94,44	86,47	73,13	52,23	38,60
Carvão Mineral	0,02	0,45	0,84	3,62	9,18	19,59	33,80	46,20
Carvão Vegetal	0,16	0,51	0,85	1,91	4,10	6,83	12,00	13,60
Outros	0,03	0,01	0,00	0,03	0,25	0,45	1,97	1,60

FONTE: Quadro 3.2.

¹Não está incluído o consumo de óleo diesel.

²Inclui o consumo de gás natural.

to, aliado à limitação da oferta do gás natural⁶⁷ e de outros energéticos alternativos, explica o perfil de substituição ilustrado no Quadro 5.1.

O carvão mineral, com 35% de cinzas, foi eleito pelo Protocolo de Objetivos o principal substituto do óleo combustível, meta que tem sido atingida. Além de atender às especificações a) e b) este energético apresentava:

- uma tecnologia já desenvolvida e em utilização no Brasil (Grupo Matarazzo) e no exterior. De fato, muitos países ricos em jazidas de carvão e pobres em petróleo⁶⁸ nunca chegaram a substituir este combustível pelo óleo, da mesma forma que, antes da década de 60, a maioria dos fornos a nível mundial era aquecida por carvão;⁶⁹
- extensas reservas no Brasil, com sua exploração concentrada na Região Sul, numa posição geográfica não muito distante da Região Sudeste, responsável por 65% da produção nacional de cimento, e das fábricas da própria Região Sul, que respondem por quase 12% deste total.⁷⁰

As cinzas do carvão mineral, compostas basicamente de silicatos, podem ser incorporadas diretamente à mistura que dá origem ao clínquer, desde que se reduza o teor de argila no cru. Assim, a quantidade de cinzas que passa ao clínquer está limitada pela participação da argila no cru.

Para jazidas em que o calcário é de baixa qualidade,⁷¹ este é um limitante importante pois, ou se restringe a participa-

⁶⁷ O gás natural é utilizado apenas por uma fábrica da Região Nordeste.

⁶⁸ Por exemplo, Índia, Austrália e África do Sul (LAFARGE [35]).

⁶⁹ LAFARGE [35].

⁷⁰ SNIC [46].

⁷¹ Diz-se que o calcário é de baixa qualidade se este vier impregnado com altos teores de argila quando retirado das jazidas. Este é o caso, por exemplo, das reservas de calcário do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina.

ção do carvão na carga de combustíveis ou se faz uma lavra seletiva, a qual pode reduzir tremendamente a vida útil das jazidas de calcário.

A utilização do carvão vegetal na fabricação de cimento se assemelha à do carvão mineral, podendo-se considerar os dois combustíveis substitutos quase perfeitos. De fato, muitas cimenteiras da Região Sudeste, notadamente em Minas Gerais, consomem os dois concomitantemente.

O carvão vegetal apresenta algumas vantagens em relação ao carvão mineral, como o menor teor de cinzas e enxofre, o maior poder calorífico (por unidade de massa) e a possibilidade de ser produzido em qualquer lugar em que haja madeira disponível em quantidade suficiente. Como desvantagem tem-se o alto teor de álcalis, os maiores riscos de explosão, em função do menor teor de cinzas, e a irregularidade da oferta e do preço de mercado.

O carvão vegetal é usado principalmente nas Regiões Norte e Nordeste, onde não há disponibilidade do carvão mineral. Na Região Sudeste ele é consumido também sob a forma de finos (moído) oriundos das metalúrgicas que o utilizam como redutor.

5.2 - Investimentos de Adaptação dos Equipamentos ao Uso do Carvão

Existem duas formas de se utilizar o carvão na fabricação do cimento. A primeira, mais simples e barata, consiste em misturar o carvão, sob a forma de pedras, ao cru, na entrada do forno de clínquerização. Na segunda, o carvão, finamente moído, é lançado por um queimador na extremidade inferior do forno.

No primeiro sistema a preparação do carvão envolve três fases, a saber:

- recebimento, homogeneização e estocagem;
- britagem;
- transporte e lançamento na base da torre de ciclones (no processo de via seca) ou mistura com a pasta (tecnologia de via úmida).

Os custos de implantação de um sistema como este variam de um caso para outro em função de uma série de fatores, que incluem desde a infra-estrutura preexistente até o nível de conhecimento dos técnicos da empresa. No Quadro 6.2 tem-se os valores obtidos para uma amostra de quatro projetos de substituição.

QUADRO 5.2

INVESTIMENTOS PARA SUBSTITUIÇÃO DO ÓLEO COMBUSTÍVEL

POR CARVÃO MINERAL

(Injeção do Carvão pela Torre de Preaquecimento)

EMPRESA	VALOR DO INVESTIMENTO (US\$)	ECONOMIA DE ÓLEO COMBUSTÍVEL (t Óleo Combustível/ano)	INVESTIMENTO/TOTAL ANUAL DE ÓLEO COMBUSTÍVEL ECONOMIZADO (US\$/t)	NÍVEL DE SUBSTITUIÇÃO
1	629 247	35 900	17,53	35%
2	251 699	21 125	11,91	25%
3	474 721	27 090	17,52	30%
4	80 189	13 641	5,89	31%

FONTE: Informação obtida junto ao BNDES.

Para se alcançarem níveis de substituição superiores a 35%, é necessário alterar o sistema de queima, quer injetando um combustível alternativo no maçarico principal, quer utilizando um maçarico paralelo.

A grande diferença entre este processo e o anterior reside na necessidade de, ou se utilizar um gás, ou um combustível sólido finamente moído, e de espessura bastante regular, para permitir uma chama de temperatura e comprimento constantes.⁷²

⁷²WAISBERG [48].

Este segundo sistema engloba, além das fases de recebimento, estocagem, homogeneização e britagem do carvão, as seguintes etapas:

- moagem do carvão;
- secagem do carvão, que pode ser feita durante a moagem utilizando os gases quentes do resfriador de clínquer;
- estocagem do carvão moído e seco em silos especiais com dispositivos de segurança contra explosões (sistema de inertização);
- alimentação e dosagem no maçarico, usualmente do tipo misto, ou seja, que pode queimar carvão e óleo combustível ao mesmo tempo ou separadamente.

O valor do investimento num sistema como este varia muito em função do nível de sofisticação do projeto. Os itens maiores responsáveis por estas diferenças são o sistema de homogeneização (retilíneo ou circular), o tipo de moinho utilizado (de bolas, de rolos, etc.), o sistema de prevenção contra explosões (espessura dos tubos, sistemas de inertização, etc.) e o meio de transporte (esteiras rolantes ou transporte pneumático). Estas variações ficam patentes no Quadro 5.3, onde é apresentado o investimento previsto em projetos de substituição integral do óleo combustível nos fornos de 8 empresas.

Apesar da grande variação no valor total do investimento, sua distribuição pelas principais componentes é mais uniforme. Como se pode verificar no Quadro 5.4, o item equipamentos responde por mais da metade dos investimentos, sendo a parcela importada de pouca relevância.

Com base no valor do investimento de 35 projetos de substituição do óleo combustível em fábricas de cimento, estimou-se a seguinte regressão:

$$\text{LINV} = 3,463071 + 0,553057 \text{ LECOC} + 1,342074 \text{ LNISUB} \quad (3.1)$$

$$\begin{array}{ccc} (2,5283) & (2,4667) & (3,6407) \end{array}$$

$$R^2 = 0,7642 \quad F = 51,86 \quad DW = 1,5186$$

QUADRO 5.3INVESTIMENTO PARA SUBSTITUIÇÃO DE 100% DO ÓLEO COMBUSTÍVEL
CONSUMIDO NO FORNO POR CARVÃO MINERAL

EMPRESA	INVESTIMENTO TOTAL (US\$)	ECONOMIA DE ÓLEO COMBUSTÍVEL (t/ano)	INVESTIMENTO POR TONELADA ECONOMIZADA (US\$/t)
1	5 588 659	48 130	116
2	5 395 244	122 600	44
3	2 914 674	35 520	82
4	10 191 697	90 300	113
5	10 536 000	197 800	53
6	5 423 520	29 860	182
7	10 106 382	141 577	71
8	5 361 943	34 100	157

FONTE: Informação obtida junto ao BNDES.

QUADRO 5.4

PARTICIPAÇÃO DOS GRANDES ITENS NO INVESTIMENTO TOTAL

ITEM	PARTICIPAÇÃO MÍNIMA (%)	PARTICIPAÇÃO MÉDIA (%)	PARTICIPAÇÃO MÁXIMA (%)
Equipamentos Nacionais	45,7*	54,6	64,4
Equipamentos Importados	0*	1,0	2,1
Materiais	1,6	6,0	12,2*
Construção Civil	6,8*	13,6	16,7
Estudos e Projetos	2,0	4,6	7,2
Montagem	5,6	10,6	22,1*
Eventuais	3,5*	4,1	4,7
Despesas Financeiras	4,9	5,5	6,5*
TOTAL	-	100,0	-

FONTE: Informação obtida junto ao BNDES.

* Estes valores pertencem todos a um mesmo projeto em que, provavelmente, a apropriação de custos envolveu critérios diferentes dos demais. Este foi aqui incluído para caracterizar um caso ex tremo.

onde,

LINV = logaritmo neperiano do investimento total em dólares;

LECOC = logaritmo neperiano da economia anual de óleo combustível alcançada com a substituição;

LNISUB = logaritmo neperiano do nível de substituição alcançado pelo projeto.

Observa-se que o investimento total cresce menos do que proporcionalmente com a economia de óleo combustível, sendo por outro lado elástico em relação ao nível de substituição. Desta forma:

- para um mesmo nível de substituição, o investimento por tonelada de óleo combustível economizada é menor para uma empresa grande do que para uma pequena;

- para uma mesma empresa, níveis mais altos de substituição implicam em custos crescentes por tonelada anual de óleo combustível economizada (um aumento de 100% no nível de substituição implica em um investimento unitário 86% maior).

Estas características ficam claras no Quadro 5.5, onde são estimados os valores do investimento (em dólares) por tonelada de óleo combustível substituída, para um conjunto de valores de NISUB e do consumo inicial de óleo combustível.

Cabe ainda observar que os valores utilizados para estimar a expressão 5.1 referem-se a projetos e não a substituições efetivamente levadas a termo. Desta forma, os resultados devem ser interpretados com cautela.

5.3 - Fatores Relevantes no Processo de Substituição do Óleo Combustível na Indústria de Cimento.

Com o início do processo de substituição do óleo combustível os produtores de cimento se depararam com uma série de pro-

QUADRO 5.5

INVESTIMENTO POR TONELADA DE ÓLEO COMBUSTÍVEL SUBSTITUÍDA

CTOC

(Toneladas/Ano)

Unidade: US\$/t óleo combustível substituída

NISUB (%)	10 000	20 000	40 000	60 000	100 000	140 000	180 000	220 000
5	17	13	9	8	6	5	5	4
10	32	23	17	14	11	10	9	8
20	60	44	32	27	21	18	16	15
30	86	63	46	38	31	26	24	21
40	111	81	60	50	40	34	30	28
50	135	99	73	61	48	42	37	34
60	159	117	86	71	57	49	44	40
70	183	134	98	82	65	56	50	46
80	206	151	111	92	74	63	57	52
90	229	168	123	103	82	70	63	57
100	251	184	135	113	90	77	69	63

CTOC = Consumo Total de Óleo Combustível antes da Substituição.

NISUB = Nível de Substituição do Óleo Combustível.

blemas que impediram a maior penetração dos combustíveis não derivados do petróleo.⁷³

A inexistência de um fornecimento regular e de uma oferta definida dos energéticos alternativos foi um primeiro limitante à substituição do óleo combustível⁷⁴ pois, além de aumentar o risco operacional do empreendimento, tornava necessária a manutenção de elevados estoques de energético alternativo, gerando custos financeiros adicionais.

Por outro lado, acreditava-se, à época dos primeiros projetos, que os níveis máximos de substituição do óleo combustível estariam tecnicamente limitados em patamares bem inferiores a 100%,⁷⁵ o que tirava parte do incentivo ao desenvolvimento de projetos desta natureza.

Da mesma forma, os baixos índices de ociosidade da indústria cimenteira, em 1979 (1,1%) e 1980 (0,5%),⁷⁶ reduziam a atratividade do projeto de substituição, já que a adaptação dos equipamentos ao uso do combustível alternativo forçaria a parada dos fornos, o que levaria a substanciais prejuízos devido à perda de vendas.

No caso específico do carvão mineral havia outros problemas, como os elevados teores de enxofre e cinzas, e a falta de homogeneidade na sua composição, que comprometia a qualidade do clínquer produzido e tornava necessária a homogeneização do carvão recebido. Por outro lado, a incerteza existente quanto à manutenção da política de subsídios ao preço do carvão mineral pa-

⁷³A maior parte dos problemas aqui descritos foram apontados por Lessa e Dias após pesquisa junto a vários fabricantes de cimento em todo o País (LESSA & DIAS [36]).

⁷⁴A esse respeito ver BALANÇO ANUAL [9], p. 177.

⁷⁵Lessa e Dias mencionam um índice máximo de 70% (LESSA & DIAS [36]).

⁷⁶PROCHNIK [39].

go pelo consumidor tornava os fabricantes indecisos quanto ao seu uso.⁷⁷

Com o desenvolvimento do processo de substituição, estes problemas foram sendo superados. Aumentou a regularidade do fornecimento dos combustíveis alternativos, o carvão mineral ficou mais homogêneo e, à medida que algumas fábricas pioneiras atingiam níveis de substituição próximos a 100%, a confiança do empresário aumentou.

Por outro lado, a manutenção de grande parte do subsídio ao preço de consumo do carvão mineral, que em outubro de 1983 chegava a 50% (MACEDO [38]), contribuiu para incentivar as substituições do óleo combustível, da mesma forma que o aumento da capacidade ociosa em 1981 (15,6%) e 1982 (17,9%).⁷⁸

Mas foi sem dúvida o rápido aumento do preço real do óleo combustível, a partir de 1980, o principal determinante dos níveis de substituição atingidos em 1981, 1982 e 1983 (Quadro 5.1), em que pese o crescimento do preço do carvão mineral (Anexo 8). Tentar-se-á a seguir explicar o motivo desta afirmação.

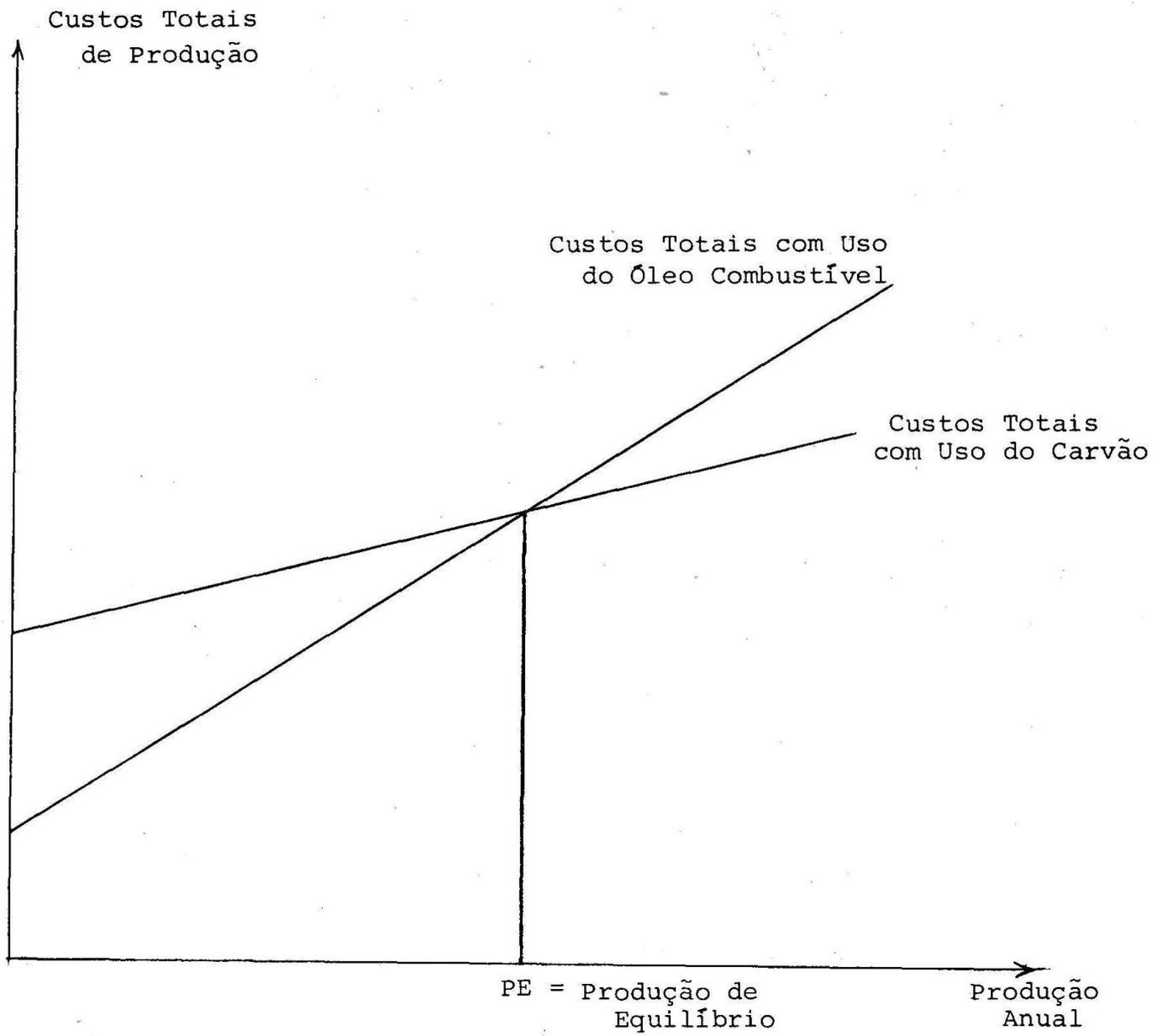
5.4 - A Viabilidade Econômica dos Projetos de Substituição

A análise econômica de um projeto de substituição energética deve levar em conta, a grosso modo, dois fatores: o investimento inicial para a conversão dos equipamentos ao uso do novo energético e os preços CIF do combustível original e do seu substituto. Para uma fábrica de cimento esta situação é ilustrada, de forma simples, pela Figura 5.1, na qual o carvão foi tomado como substituto do óleo combustível.

⁷⁷Houve, de fato, uma redução substancial no nível de subsídios ao preço nominal ao consumidor do carvão mineral, com 35% de cinzas, que aumentou 1480% entre abril de 1980 e agosto de 1982 (CODET/GEIPOT [27]).

⁷⁸PROCHNIK [39]. Para o período jan./set. de 1983 o índice de ociosidade do setor cimenteiro foi de 48,8% (SNIC [45]).

FIGURA 5.1



Para um fabricante de cimento que produza x toneladas por ano, um processo simples de decisão pode ser assim estabelecido: se $x > PE$ o carvão é o energético mais adequado; caso $x < PE$ a opção mais econômica é o óleo combustível.⁷⁹ Considerando-se os custos fixos, a menos do investimento de substituição, constantes para as duas tecnologias⁸⁰, pode-se deduzir o valor de PE em função do investimento anualizado e dos custos variáveis das duas tecnologias da seguinte forma:

$$\begin{aligned} CF_{oc} + CV_{oc} \times PE &= CF_c + CV_c \times PE \iff CF_c - CF_{oc} = \\ &= PE (CV_{oc} - CV_c) \iff PE = \frac{CF_c - CF_{oc}}{CV_{oc} - CV_c} \iff PE = \frac{INV}{DCV} \quad (5.2) \end{aligned}$$

onde,

CF_{oc} = custo fixo da tecnologia óleo combustível;

CF_c = custo fixo da tecnologia carvão;

CV_{oc} = custo variável da tecnologia óleo combustível;

CV_c = custo variável da tecnologia carvão;

PE = produção de equilíbrio;

INV = investimento anualizado da conversão dos equipamentos;

DCV = diferença, por tonelada produzida de cimento, entre os custos variáveis das tecnologias óleo combustível e carvão mineral.

A análise dos valores de INV e DCV para o período 1979/83 mostra que a partir do primeiro semestre de 1981 houve uma tendência à redução do valor de PE, que tornou os projetos de substituição do óleo combustível economicamente mais atraentes.

O programa CONSERVE pode ser apontado como principal cau

⁷⁹ Supondo-se que existe um valor de PE tal que $0 < PE < \infty$, ou seja, que a operação da fábrica com carvão mineral implique em menores custos variáveis.

⁸⁰ As tecnologias serão definidas conforme o combustível utilizado na fabricação do cimento.

sa da redução de PE, no que se refere à queda do valor do investimento de substituição, como visto pelo fabricante de cimento. O CONSERVE forneceu destacado auxílio às empresas nacionais na mobilização inicial de recursos necessários à compra e instalação de novos equipamentos. Criado em fevereiro de 1981, o programa oferece as seguintes condições:⁸¹

- "a) juros - 5% a.a;
- b) correção monetária segundo variações das ORTN's;
- c) participação do Sistema BNDE até 80% (oitenta por cento) da parcela do investimento financiável pelo CONSERVE, nos casos em que todos os equipamentos, possíveis de serem fabricados por empresas de efetivo controle e comando nacionais, sejam adquiridos junto a essas empresas e, em caso contrário, até 60% (sessenta por cento);
- d) carência até 3 (três) anos;
- e) prazo total do financiamento até 8 (oito) anos, incluído o prazo de carência".

Um exemplo pode ilustrar as vantagens financeiras oferecidas pelo CONSERVE. Suponha-se que uma empresa tenha um projeto de substituição do óleo combustível com investimento inicial de Cr\$ 1 000,00, seja 10% a taxa mínima de atratividade da empresa e considere-se a correção monetária igual à inflação. No caso de serem financiados 80% do investimento, com período de carência de 3 anos e prazo total de financiamento de 8 anos, o fluxo de caixa da empresa para este projeto equivalerá a um desembolso inicial de Cr\$ 882,90. Em outras palavras, o financiamento do CONSERVE permitiria à empresa reduzir o valor do investimento em 11,71%.

No Quadro 5.6, apresentam-se os valores do investimento de substituição anualizado, com base numa taxa de desconto de 10%

⁸¹ENERGIA [26].

a.a. e um prazo de retorno do investimento de 4 anos.⁸²

QUADRO 5.6

INVESTIMENTO, POR TONELADA SUBSTITUÍDA DE ÓLEO COMBUSTÍVEL,

ANUALIZADO (Cr\$ de 1981)

(Taxa de Desconto 10% a.a., Prazo de Retorno 4 Anos)

NISUB (%)	CTOC (Toneladas por ano)							
	10 000	20 000	40 000	60 000	100 000	140 000	180 000	220 000
30	2 294	1 680	1 227	1 014	827	693	640	560
100	6 695	4 908	3 601	3 014	2 400	2 054	1 840	1 680

FONTE: Quadro 5.5.

O valor de DCV foi calculado como a soma da diferença entre os preços da energia útil do óleo combustível e do carvão ao custo adicional da energia elétrica utilizada na preparação e no transporte do carvão. A despesa de transporte deste último, do ponto de venda até à fábrica, não foi considerada, pois isto requeriria uma análise individual de cada empresa.^{83,84} O custo de

⁸²A vida útil considerada pelo BNDES nas suas análises de viabilidade deste tipo de projeto é de 20 anos. O prazo de retorno de 4 anos foi considerado adequado, pois é compatível com o "payback" de cerca de 3 anos que estes projetos apresentam.

⁸³O preço do óleo combustível inclui o transporte até à fábrica, enquanto o do carvão é válido em pontos de venda como os entrepostos da CAEEB (CODET/GEIPOT [27]).

⁸⁴Uma estimativa dos custos de transporte para as fábricas de cimento em Minas Gerais pode ser encontrada em FARIA & COSTA [28].

manuseio do carvão não foi incluído nos cálculos por falta de informações. A seguinte expressão foi usada para calcular os valores de DCV:

$$DCV_{cm}^i = (PO - 2,31 \times PCM - 40 \times PEE) \times NISUB_i \times CE_i \quad (5.3)$$

$$DCV_{cv}^i = (PO - 1,53 \times PCV - 40 \times PEE) \times NISUB_i \times CE_i \quad (5.4)$$

onde,

DCV_{cm} = diferença entre os custos variáveis das tecnologias óleo combustível e carvão mineral;

PO = preço da tonelada de óleo combustível;

PCM = preço da tonelada de carvão mineral;

PCV = preço da tonelada de carvão vegetal;

PEE = preço do Kwh;

DCV_{cv} = diferença entre os custos variáveis das tecnologias óleo combustível e carvão vegetal;

$NISUB_i$ = nível de substituição do óleo combustível na empresa i;

CE_i = consumo específico de óleo combustível da fábrica i antes de qualquer substituição (toneladas consumidas de óleo combustível por tonelada produzida de cimento).

Definindo-se $PROD_i$ como a produção efetiva de cimento da fábrica i, o critério de decisão enunciado no início do item 5.3 indica ser o carvão a melhor alternativa caso:

$$\begin{aligned} PROD_i > PE &\Leftrightarrow PROD_i > \frac{INV}{DCV} \Leftrightarrow PROD_i > \frac{INV}{ECOC} \times \frac{ECOC}{DCV} \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow PROD_i > \frac{INV}{ECOC} \times \frac{PROD_i \times NISUB_i \times CE_i}{K \times NISUB_i \times CE_i} &\Leftrightarrow 1 > \frac{INV}{ECOC} \times \\ x \frac{1}{K} &\Leftrightarrow K > \frac{INV}{ECOC} \end{aligned}$$

onde,

$K = PO - 2,31 \times PCM - 40 \times PEE$, para a substituição por carvão mineral e $K = PO - 1,53 \times PCV - 40 \times PEE$, para o carvão vege

tal. Os valores de INV para diferentes valores do consumo inicial de óleo combustível e do nível de substituição são apresentados no Quadro 5.6. Os valores de K para o carvão mineral e o carvão vegetal constam do Quadro 5.7.

A simples comparação entre os dois quadros mostra que, a partir do segundo trimestre de 1980, a substituição do óleo combustível pelo carvão, fosse ele mineral ou vegetal, era viável do ponto de vista econômico, para todos os níveis de substituição e qualquer tamanho de fábrica.

Com base nas expressões (5.3) e (5.4) é possível verificar que, elevando-se os preços do óleo combustível, do carvão (mineral e vegetal) e da energia elétrica, na mesma proporção, os valores de DCV_{cm} e DCV_{cv} também aumentam. De fato, se os preços reais de todos os energéticos forem dobrados (sem se alterarem os preços relativos), também os diferenciais de custos variáveis ficarão multiplicados por dois.

Comparando-se os valores de K_{cm} e K_{cv} do Quadro 5.7 com os preços reais dos principais energéticos consumidos na indústria do cimento (Anexo 8), constata-se que foi a elevação do preço real do óleo combustível, a partir do terceiro trimestre de 1980, o maior responsável pela viabilização econômica dos projetos de substituição deste derivado pelo carvão.

Apesar de a análise ficar um pouco prejudicada pela não inclusão, no diferencial de custos variáveis, das despesas com o transporte e manuseio do carvão, é possível verificar como, desde o último trimestre de 1980, a substituição do óleo combustível na indústria do cimento tornou-se economicamente atraente.

É interessante observar a queda do valor de K_{cm} depois do terceiro trimestre de 1981, devido ao aumento do preço do carvão mineral e à queda do preço do óleo combustível (Anexo 8). Apesar da redução de quase 50% em K_{cm} , este mantém-se bem superior a INV. A manutenção de um elevado valor de K_{cv} , em comparação a K_{cm} , por outro lado, explica porque, apesar de o carvão vegetal não contar com um programa de incentivo como o existente para o carvão mineral, e ter uma oferta mais restrita nas principais á-

reas produtoras de cimento, sua participação no consumo de combustíveis do setor cimenteiro vem crescendo.

QUADRO 5.7

DIFERENÇA, POR TONELADA DE ÓLEO COMBUSTÍVEL
SUBSTITUÍDA, ENTRE OS CUSTOS VARIÁVEIS DAS
TECNOLOGIAS ÓLEO COMBUSTÍVEL E CARVÃO

(Cr\$ de 1981)

TRIMESTRE	CARVÃO MINERAL K _{cm}	CARVÃO VEGETAL K _{cv}
4/79	3 970	5 191
1/80	3 758	4 500
2/80	8 311	8 091
3/80	11 775	14 464
4/80	14 031	13 377
1/81	12 893	14 509
2/81	13 732	16 670
3/81	11 291	16 162
4/81	11 933	16 087
1/82	9 254	14 653
2/82	9 867	14 287
3/82	7 903	13 656
4/82	7 114	13 506

FONTE: Anexo 8.

OBS.: O preço do carvão vegetal é o observado na região da Grande Belo Horizonte.

5.5 - Conclusões do Capítulo

A partir da fixação de quotas de fornecimento do óleo combustível pelo CNP e da assinatura com o governo do Protocolo de Objetivos, o setor cimenteiro imprimiu um novo ritmo ao proces

so de substituição dos derivados de petróleo por energéticos de origem nacional na fabricação do cimento. O carvão mineral, devido às suas características físicas e químicas, às suas reservas no País, e ao estado da arte da tecnologia de produção de cimento, tornou-se o principal substituto do óleo combustível. O carvão vegetal, com propriedades semelhantes às do seu similar de origem mineral, também passou a ser utilizado em larga escala.

Dentre as barreiras inicialmente enfrentadas pelo setor cimenteiro, e de cuja superação dependeu o sucesso do processo de substituição dos derivados de petróleo, destacam-se:

- a inexistência de um fornecimento regular e de uma oferta definida dos energéticos alternativos;
- o ceticismo prevalecente quanto às possibilidades de o carvão mineral brasileiro, com elevados teores de cinzas e enxofre, vir a substituir integralmente o óleo combustível;
- a incerteza quanto à manutenção da política de subsídios ao preço do carvão mineral.

O aumento do nível de ociosidade da indústria do cimento e a criação do programa CONSERVE contribuíram para reduzir o investimento inicial de substituição - o primeiro, por eliminar o custo da perda de vendas pela parada dos fornos; e o segundo, por oferecer condições mais atraentes de financiamento.

Por outro lado, a análise dos projetos de substituição do óleo combustível por carvão mostrou que sua viabilidade econômica aumentou bastante após a rápida elevação do preço deste derivado de petróleo, no segundo semestre de 1980. A constatação desta afirmação pode ser obtida verificando-se que os valores da diferença dos custos variáveis entre as tecnologias óleo combustível e carvão passam a superar em muito o investimento anualizado de substituição.

De fato, o aumento do preço real do óleo combustível pode ser apontado como o principal determinante do sucesso do processo de substituição. O seguinte comentário na revista Balanço A

nual de 1979 ilustra este ponto:⁸⁵ "Embora os cortes no fornecimento de cotas à indústria causassem protestos e o déficit na oferta de cimento viesse como primeira ameaça dos empresários, a grande preocupação com a substituição do óleo por outra fonte de energia viria depois do aumento dos preços (50%),...".

6 - CENÁRIOS PARA O CONSUMO DE ENERGIA NA INDÚSTRIA DO CIMENTO

Uma vez analisada a evolução do consumo de energia pelo setor cimenteiro nos últimos anos e examinadas as causas dos processos de conservação de energia e substituição de derivados de petróleo, resta discutir que possíveis caminhos a indústria do cimento pode seguir, no que se refere ao consumo do óleo combustível, da energia elétrica e do carvão, mineral e vegetal.

Com este objetivo foram elaborados três cenários para o setor cimenteiro, cobrindo o período 1984/2000. O primeiro é um cenário base, onde se buscou prever a evolução futura de uma série de variáveis relevantes para a análise prospectiva do setor.

No segundo cenário procura-se avaliar as conseqüências de medidas de conservação de energia, tais como a conversão de fornos de via úmida em via seca e o aumento da participação dos cimentos pozolânico e de alto forno no total da produção nacional.

No último cenário tenta-se dimensionar a demanda potencial de carvão mineral no caso de sua utilização nas fábricas de cimento localizadas no litoral nordestino e nos Estados de Goiás e Mato Grosso do Sul.

A elaboração de todos os cenários obedeceu à mesma estrutura básica que consistiu em, partindo-se de previsões do consumo nacional de cimento, chegar à produção prevista de cada fábrica, daí derivando-se, com base nos consumos específicos de energia e nos níveis previstos de participação dos não derivados de petróleo, a demanda por óleo combustível, energia elétrica e carvão, mineral e vegetal.

⁸⁵Balanço Anual [9], p. 177.

6.1 - Cenário Básico

As previsões do consumo nacional de cimento (Quadro 6.3) foram obtidas com base nas taxas previstas para o crescimento anual do PIB (Quadro 6.1) e na segunda regressão do Quadro 6.2, em que este agregado macroeconômico aparece como variável explicativa. O consumo para o ano de 1983 foi estimado com base no desempenho do setor cimenteiro no período jan./set. de 1983.

QUADRO 6.1
TAXAS PREVISTAS DE
CRESCIMENTO ANUAL DO PIB

PERÍODO	TAXA (%)
1984	-3
1985-1990	5
1991-2000	6,5

Para o período 1984/90 as demandas estaduais de cimento foram estimadas em função da evolução esperada para o consumo nacional deste produto e das quedas observadas a nível estadual em 1983 que, supôs-se, seriam futuramente revertidas. Ou seja, foram mantidas constantes as razões entre as taxas de crescimento do consumo de cada Estado e do Brasil, conforme observadas em 1983. Para o período 1991-2000 supôs-se que todos os consumos estaduais crescessem à mesma taxa.

QUADRO 6.2
REGRESSÕES PARA O CONSUMO NACIONAL DE CIMENTO

Nº	PERÍODO	VARIÁVEL DEPENDENTE	CONSTANTE	LPJB	R ²	F	D.W
1	1938/82	LCONS	9,898653 (59,8300)	1,332541 (33,2439)	0,9625	1105,16	1,2878
2	1950/82	LCONS	10,665276 (42,9608)	1,169705 (21,0306)	0,9345	442,28	1,9881
3	1963/82	LCONS	10,242255 (103,6235)	1,255743 (61,8545)	0,9953	3825,98	0,6408

onde,

LCONS = logaritmo neperiano do consumo aparente de cimento.

LPIB = logaritmo neperiano do Produto Interno Bruto.

QUADRO 6.3
PREVISÕES DO CONSUMO NACIONAL
DE CIMENTO

ANO	CONSUMO (t/ano)
1983	21 813 669
1984	21 101 940
1985	22 301 655
1987	24 902 221
1990	29 397 945
1995	42 530 232
2000	61 420 045

Definindo-se para cada ano uma matriz origem/destino que representasse o fluxo de cimento das fábricas para os Estados, gerou-se uma demanda para cada unidade fabril, daí se obtendo as necessidades de produção de clínquer, com base no teor de adições do cimento produzido. Para os anos de 1984 e 1985 foi utilizada a matriz de origem/destino de 1982. Para os anos de 1987, 1990, 1995 e 2000 adaptou-se a matriz de 1982, elevando-se o fluxo de cimento com destino às fábricas que tivessem ampliações da capacidade instalada e incluindo-se um fluxo estimado para as fábricas a serem inauguradas após 1985.

Alocando-se a demanda por clínquer pelos diversos fornos, por ordem crescente de consumo específico, até o limite da capacidade instalada em cada ano, estimou-se a necessidade energética global de cada fábrica. As ampliações de capacidade nos anos de 1985, 1990 e 1995 foram estimadas com base nos projetos apresentados pelas empresas ao CDI⁸⁶, procedendo-se da mesma forma na determinação do ano de entrada em funcionamento das novas fábricas, para as quais se alteraram apenas as datas de inauguração. Para o ano 2000 assumiu-se que o excesso de demanda sobre a capacidade instalada até 1995, o qual assomava a 18 822 473 toneladas, seria coberto, no caso de valores inferiores a 30 000 t., por uma produção efetiva superior à capacidade nominal e, para valores mais elevados do excesso de demanda, pela instalação de um novo forno de via seca com preaquecimento.

A projeção do consumo de cada combustível (carvão mineral, gás natural, etc.) foi feita com base na previsão das necessidades globais de energia para fins térmicos, com a distribuição pelos diversos combustíveis sendo feita em função dos níveis previstos de substituição do óleo combustível para cada ano e da posição geográfica de cada fábrica. Para os anos de 1984 e 1985, manteve-se constante o perfil de participação observado no primeiro semestre de 1983, apenas elevando-se os níveis de substituição do óleo combustível. Para os horizontes de 1987, 1990, 1995 e 2.000, restringiu-se o consumo de carvão mineral aos Estados das Regiões Sul e Sudeste, onde ele passou a ser o único substituto dos deri-

⁸⁶BRASIL [13].

vados de petróleo. Para os demais Estados o óleo combustível foi substituído pelo carvão vegetal ou outros energéticos alternativos, conforme as participações relativas observadas no primeiro semestre de 1983.

As necessidades de energia elétrica foram estimadas com base nos consumos específicos de cada empresa em 1980 e em uma demanda adicional de 40 KWh por tonelada moída de carvão.

No cenário básico supôs-se que os fornos de via úmida existentes em 1983 não seriam definitivamente desativados até o ano 2000. Esta hipótese é coerente com a constatação de que, mesmo após a introdução no Brasil dos fornos de via seca com preaquecimento por suspensão, os fornos de via úmida existentes na primeira metade da década de 60 foram mantidos em operação.

Por outro lado, conservaram-se constantes as participações dos cimentos pozolânico e de alto forno no total da produção nacional, hipótese considerada a mais razoável frente à indefinição prevalecente quanto ao desenvolvimento de cada um dos subsectores da indústria de construção civil (habitação, barragens, saneamentos, etc.).

Os principais resultados obtidos com as premissas do cenário básico, agregados a nível nacional, encontram-se no Quadro 6.4. Nos Anexos 9 a 13 estas informações são apresentadas para cada Região.

Comparando-se estes valores com os obtidos no Capítulo 3 e com os dados de produção do Anexo 2, pode-se ver que apenas ao final dos anos 80 o setor cimenteiro estará voltando ao estágio em que se encontrava em 1980. No que se refere ao consumo específico de combustíveis, o cenário indica uma queda de 15,4% entre 1982 e 2000, em função da maior participação dos fornos de via seca na produção. O consumo específico de energia elétrica, por outro lado, aumenta 13,4% no mesmo período, devido à maior utilização do carvão e à maior penetração do processo de via seca. A participação do óleo combustível na energia térmica consumida, por outro lado, cai para 4,65% em 1990, declinando para 4,61% em 2000. O carvão mineral aparece como a principal alternativa aos derivados de petróleo, respondendo por 67,44% do total de combustíveis consumidos no ano 2000, ao passo que o carvão vegetal, neste mes-

QUADRO 6.4

EVOLUÇÃO PREVISTA DO CONSUMO DE ENERGIA E DA PRODUÇÃO DE CIMENTO - CENÁRIO BÁSICO

ANO	UNIDADE	1983	1984	1985	1987	1990	1995	2000
ENERGÉTICO								
Óleo Combustível	t	723 287	447 613	299 643	111 193	122 086	167 946	232 495
Carvão Mineral	t	1 900 424	2 076 440	2 372 661	3 397 737	4 094 209	5 844 753	7 858 834
Carvão Vegetal	t	461 877	636 190	816 014	765 611	927 635	1 326 736	1 846 966
Gás Natural	10 ³ m ³	20 259	20 019	20 453	20 094	21 813	43 608	41 183
Outros	GCAL	430 294	630 308	804 828	920 125	1 085 792	1 233 707	1 692 178
TOTAL DE COMBUSTÍVEIS	GCAL	19 843 686	19 151 748	20 347 427	22 769 444	27 301 115	38 730 898	52 437 843
Energia Elétrica	MWh	2 358 333	2 297 779	2 442 568	2 767 038	3 282 406	4 838 354	7 028 998
TOTAL	GCAL	21 871 852	21 127 837	22 448 035	25 149 096	30 123 984	42 891 882	58 482 781
PRODUÇÃO	t	21 813 669	21 101 940	22 301 655	24 902 221	29 511 115	42 574 335	61 420 045

FONTE: ANEXOS 9 a 13.

mo ano, participa com 23,95% deste total, enquanto os outros combustíveis têm sua participação elevada no final do século a 3,23%. É importante observar, contudo, que estes resultados variam muito de uma região para outra, conforme apresentado nos Anexos 9 a 13.

6.2 - Cenário de Conservação

Procurou-se com este cenário quantificar os efeitos da adoção de algumas medidas de conservação de energia no setor cimenteiro, a saber:

- transformação dos fornos de via úmida em via seca com preaquecimento por suspensão;
- retorno da produção de cimento de alto forno aos níveis atingidos em 1980.

Como é pouco provável a implementação destas medidas no curto prazo, uma vez que os baixos valores de demanda tornam difícil o aumento das vendas de cimento de alto forno e não justificam as alterações nos fornos de via úmida que, de uma forma ou de outra, permanecem parados, supôs-se que apenas a partir de 1987 haveria mudanças em relação ao cenário básico. Por outro lado, foram mantidas as produções de cimento das diversas fábricas e todas as demais hipóteses anteriormente formuladas. No Quadro 6.5 são apresentados os resultados obtidos para o cenário conservacionista.

Comparando-se os resultados do Quadro 6.5 com os do Quadro 6.4 observa-se que ainda há um grande potencial de conservação na indústria do cimento. De fato, a adoção das medidas propostas permitiria reduzir o consumo total de energia em 9,8% no ano de 1987. Para anos posteriores este percentual diminui um pouco, apesar de ser igual a 8,7% ainda em 2000.

Observa-se que o potencial de conservação varia muito pouco de um combustível para outro, o que parece indicar que é possível reduzir o consumo específico de energia em todas as regiões do País.

Cabe por fim lembrar que as medidas de conservação propostas não representam mudanças dramáticas na estrutura de produ-

QUADRO 6.5
EVOLUÇÃO PREVISTA NO CONSUMO DE ENERGIA NA INDÚSTRIA
DO CIMENTO - CENÁRIO DE CONSERVAÇÃO

ENERGÉTICO	UNIDADE	1987	1990	1995	2000
Óleo Combustível	t	95 703	105 542	146 391	209 719
Carvão Mineral	t	3 067 656	3 647 724	5 123 711	7 103 444
Carvão Vegetal	t	626 342	741 739	1 126 578	1 646 808
Gás Natural	10 ³ m ³	20 094	21 813	43 608	41 183
Outros	GCAL	860 506	1 014 351	1 160 524	1 618 994
TOTAL DOS COMBUSTÍVEIS	GCAL	20 116 327	23 784 333	33 827 775	47 367 463
Energia Elétrica	MWh	2 736 236	3 243 122	4 788 923	6 979 624
TOTAL	GCAL	22 469 489	26 573 417	37 946 248	53 369 939

ção do setor cimenteiro e que reduções maiores do consumo específico de energia poderiam ser obtidas através de alterações mais radicais no setor.

6.3 - Cenários de Substituição

O objetivo destes cenários é analisar a sensibilidade dos resultados obtidos para o consumo dos diversos combustíveis alternativos, conforme variem as hipóteses de oferta regional do carvão mineral e as suposições com relação ao consumo do carvão vegetal na Região Sudeste.

Com tal finalidade foram feitas duas simulações, que podem ser chamadas de expansionista e contracionista do consumo de carvão mineral. Supôs-se na primeira que a oferta deste combustível fosse ampliada, a partir de 1987, para as fábricas localizadas no litoral Nordeste, até o Estado da Paraíba, e nos Estados de Goiás e Mato Grosso do Sul. A utilização do carvão vegetal ficaria limitada à Região Norte e a alguns Estados da Região Nordeste.

Na segunda simulação a hipótese de trabalho foi a de que o perfil de substituição observado para o primeiro semestre de 1983 manter-se-ia até o final do século. Desta forma, o carvão vegetal continuaria a ser consumido na Região Sudeste, mesmo depois de 1985, com a oferta do carvão mineral restrita aos Estados das Regiões Sul, Sudeste e Centro Oeste.

Todos os demais procedimentos e hipóteses descritos para o cenário básico foram mantidos para as duas simulações aqui examinadas, cujos resultados agregados a nível nacional são apresentados nos Quadros 6.6 e 6.7. Como as suposições e resultados relativos aos horizontes de 1983, 1984 e 1985 são iguais aos observados para o cenário básico, apenas os valores obtidos para os horizontes de 1987, 1990, 1995 e 2000 são agora apresentados.

QUADRO 6.6

EVOLUÇÃO PREVISTA DO CONSUMO DE ENERGIA - CENÁRIO DE SUBSTITUIÇÃO HIPÓTESE CONTRACIONISTA DO CONSUMO DE CARVÃO MINERAL

ENERGÉTICO	UNIDADE	1987	1990	1995	2000
Óleo Combustível	t	111 193	122 086	167 946	232 495
Carvão Mineral	t	2 873 590	3 446 442	4 974 637	6 690 844
Carvão Vegetal	t	1 092 118	1 329 764	1 855 199	2 565 478
Gás Natural	10 ³ m ³	20 095	21 813	43 608	41 183
Outras	GCAL	1 073 285	1 266 267	1 555 682	2 062 249
TOTAL DOS COMBUSTÍVEIS	GCAL	22 769 444	27 301 115	38 730 898	52 437 843
Energia Elétrica	MWh	2 759 001	3 272 581	4 824 688	7 011 019
TOTAL	GCAL	25 142 184	30 115 534	42 880 129	58 467 319

QUADRO 6.7

EVOLUÇÃO PREVISTA DO CONSUMO DE ENERGIA - CENÁRIO DE SUBSTITUIÇÃO

HIPÓTESE EXPANSIONISTA DO CONSUMO DE CARVÃO MINERAL

ENERGÉTICO	UNIDADE	1987	1990	1995	2000
Óleo Combustível	t	111 193	122 086	167 946	232 495
Carvão Mineral	t	4 328 616	5 204 913	7 313 767	9 856 998
Carvão Vegetal	t	256 645	316 963	499 597	717 533
Gás Natural	10 ³ m ³	20 095	21 813	43 608	41 183
Outros	GCAL	192 139	240 196	247 691	380 589
TOTAL DOS COMBUSTÍVEIS	GCAL	22 769 444	27 301 115	38 730 898	52 437 843
Energia Elétrica	MWh	2 783 914	3 302 407	4 864 029	7 063 747
TOTAL	GCAL	25 163 610	30 141 485	42 913 962	58 512 665

Os consumos previstos para o carvão mineral, o carvão vegetal, o gás natural e os outros, nos cenários contracionista e expansionista, podem ser interpretados como limitantes para os valores destas variáveis, enquanto os consumos do cenário básico constituem os valores médios ou esperados.

No Quadro 6.8 tem-se, para o ano de 1990, a participação dos diversos combustíveis no consumo de energia térmica do setor cimenteiro, conforme os resultados de cada cenário.

QUADRO 6.8
PARTICIPAÇÃO DOS DIVERSOS COMBUSTÍVEIS
NO CONSUMO DE ENERGIA TÉRMICA DO
SETOR CIMENTEIRO EM 1990
 (%)

ENERGÉTICO	CENÁRIO		
	Contra- cionista	Básico	Expan- sionista
Óleo Combustível	4,65	4,65	4,65
Carvão Mineral	56,81	67,48	85,80
Carvão Vegetal	33,12	23,11	7,89
Gás Natural	0,78	0,78	0,78
Outros	4,64	3,98	0,88

FONTE: Quadros 6.4, 6.6 e 6.7.

Sem dúvida, a principal diferença entre estes dois cenários é a maneira como se distribui, entre o carvão mineral e o vegetal, a parcela de cerca de 90% do consumo de combustíveis atendida por estes energéticos. Constata-se, todavia, que mesmo no cenário contracionista o carvão mineral permanece como a principal fonte de energia do setor, com uma participação de 57% no total da energia térmica utilizada.

Por outro lado, é interessante observar que, enquanto no cenário contracionista são previstos crescimentos de 10,7% a.a. e 7,7% a.a. no consumo do carvão vegetal e mineral, respectivamente, na hipótese expansionista estes valores são de 2,6% a.a. e 10,2% a.a., correspondentemente.

Comparando-se as projeções do consumo de carvão mineral dos Quadros 6.4, 6.6 e 6.7 com as previsões obtidas em outros trabalhos, verifica-se que estas se apresentam coerentes e compatíveis.

veis com as expectativas existentes para a produção desse minério.⁸⁷

6.4 - Conclusões do Capítulo

O objetivo deste Capítulo foi analisar prospectivamente o consumo de energia pelo setor cimenteiro, para o que foram elaborados três cenários: um básico, um de conservação de combustíveis e outro de variação nos limites de penetração regional do carvão mineral.

Simulando-se a dinâmica tecnológica e mercadológica do setor cimenteiro, analisada nos capítulos anteriores, e tomando-se por base o crescimento esperado do Produto Interno Bruto, derivou-se o consumo, a nível de fábrica, dos principais energéticos utilizados neste setor industrial.

Os resultados obtidos mostraram-se, de forma geral, bastante coerentes. Observa-se para o consumo de carvão mineral um crescimento médio anual de 8,6% no período 1983/2000. Sua participação no total de combustíveis utilizados no setor deverá variar de um mínimo de 57% a um máximo de 86%, com valor esperado de 67%.

Para o consumo de carvão vegetal o cenário básico indica um aumento médio anual de 8,5% entre 1983 e 2000. Sua participação no total de energia térmica consumida deverá se situar entre um mínimo de 8% e um máximo de 33%, com valor médio de 23%. O óleo combustível responde, em todos os cenários, por cerca de 4,6% de energia térmica utilizada, vindo seu consumo a cair 68% no período 1983/2000.

Para o cenário básico está prevista ainda uma redução de 15,4% no consumo específico de combustíveis entre 1982 e 2000, em função da maior participação dos fornos de via seca na produção de cimento. Assumindo-se como válidas as hipóteses do cenário conservacionista pode-se esperar uma diminuição adicional de cerca de 9% no consumo total de energia no setor cimenteiro a partir de 1987.

É importante observar que, implícita em todos os cenários elaborados, está a hipótese de que os estímulos existentes à

⁸⁷BRASIL [7]

substituição do óleo combustível serão mantidos e que, uma vez im-
plantados os projetos de utilização dos energéticos alternativos,
a diferença entre os preços do óleo combustível e do carvão não
será reduzida a patamares que tornem o uso deste derivado de pe-
tróleo economicamente viável.

A análise de sensibilidade resultante dos cenários de
conservação e de contração/expansão do consumo de carvão mineral
mostrou que as previsões obtidas são, de forma geral, robustas.
De fato, constata-se que, mesmo relaxando várias hipóteses do ce-
nário básico, como a manutenção em operação dos fornos de via úm-
da e os limites de penetração do carvão mineral, as projeções não
se alteram de forma drástica, apesar de se mostrarem sensíveis às
suposições formuladas.

Sem dúvida, contudo, a hipótese mais crítica destes ce-
nários é a de crescimento do consumo estadual de cimento. De fa-
to, a hipótese formulada para o desenvolvimento econômico nacio-
nal e estadual é apenas uma dentre muitos cenários igualmente plau-
síveis. Isto posto, há que se analisar as projeções obtidas com
a cautela que impõe a incerteza existente sobre algumas de suas
premissas básicas. Constata-se, porém, que o crescimento médio
anual de 6,3% da produção nacional de cimento no período 1983/
2000 é compatível com as taxas históricas observadas para o setor
(Capítulo 2).

7 - CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho foi analisar os processos de
conservação de energia e substituição do óleo combustível no se-
tor cimenteiro, estabelecendo um diagnóstico amplo de suas causas
e procurando quantificar os resultados observados.

A análise sucinta da estrutura do mercado de cimento
mostrou que o consumo deste produto apresentou uma tendênciu
lar de crescimento e que a queda do nível de atividade do setor é
um acontecimento incomum. O exame das tecnologias de produção
permitiu verificar que a adoção, na segunda metade da década de
60, do processo de via seca com preaquecimento, possibilitou aos

produtores de cimento economizar combustíveis e aumentar a produtividade das fábricas. Constatou-se, por outro lado, que o primeiro choque do petróleo teve pouca influência sobre o consumo de energia do setor, uma vez que na década de 70 o preço médio real do óleo combustível foi 23% inferior ao observado nos anos 60. Verificou-se ainda que a produção dos cimentos pozolânico e de alto forno permite conservar energia. A prática de preços diferenciados pode contribuir para expandir a participação destes tipos de cimento no mercado.

O setor cimenteiro é um dos maiores consumidores industriais de óleo combustível, carvão mineral e energia elétrica. Enquanto o forno de clínquer responde por 95% do consumo de combustíveis, a moagem é responsável por 70% da energia elétrica utilizada. A queda do preço do óleo combustível da década de 60 para os anos 70 foi a principal causa da redução de 12,3% para 7,7% da participação dos gastos com combustíveis no preço do cimento, da mesma forma que o aumento do preço desse derivado foi o responsável pela elevação deste percentual a 13% nos primeiros anos da década de 80. A energia elétrica manteve uma participação relativamente constante e próxima a 4% do preço do cimento, no período 1977/82.

A indústria do cimento promoveu, no período 1961/82, um processo de conservação de energia que permitiu reduzir em 43% o consumo específico de combustíveis, em função da maior produção de cimentos aditivados, do aumento da capacidade média dos fornos, de uma participação mais elevada dos fornos com preaquecimento por suspensão na produção de cimento e da menor utilização de caldeiras e fomalhas. A principal razão para o aumento entre 1980 e 1982 de 4,3% no consumo de combustíveis por tonelada de cimento parece ter sido o maior aproveitamento do carvão para queima no forno de clínquer.

Observa-se no período 1976/82 uma elevação de 12% no consumo específico de energia elétrica, devido à maior utilização do processo de via seca, ao crescimento do consumo de carvão e ao uso da eletrotermia na geração de vapor.

Constatou-se, por outro lado, que o processo de conservação de energia na indústria de cimento teve início antes do primeiro choque do petróleo e foi motivado por um contexto de desen-

volvimento econômico e tecnológico que já estava presente no País antes da rápida elevação do preço do óleo combustível, no segundo semestre de 1980. O processo de conservação de energia na indústria de cimento desenvolveu-se, na sua maior parte, em um período de custos de energia declinantes. Verifica-se, ainda, que a substituição do óleo combustível pelo carvão teve efeitos perversos sobre a conservação de energia no setor cimenteiro.

A partir da fixação de quotas de fornecimento do óleo combustível pelo CNP e da assinatura com o governo do Protocolo de Objetivos, o setor cimenteiro imprimiu um novo ritmo ao processo de substituição dos derivados de petróleo por energéticos de origem nacional na fabricação do cimento. O carvão mineral, devido às suas propriedades físicas e químicas, às suas reservas no País, e ao estado da arte da tecnologia de produção de cimento, tornou-se o principal substituto do óleo combustível. O carvão vegetal, com características semelhantes ao seu similar de origem mineral, também passou a ser largamente utilizado.

Dos vários problemas iniciais enfrentados pela indústria do cimento, e de cuja solução dependeu o sucesso da substituição do óleo combustível, destacam-se:

- a inexistência de uma oferta definida e de um fornecimento regular de fontes alternativas de energia;
- as dúvidas existentes quanto às possibilidades de o carvão mineral brasileiro, com elevados teores de cinzas e enxofre, vir a se tornar o principal combustível no forno de clínquerização;
- a incerteza quanto à manutenção da política de subsídios ao preço do carvão mineral.

O maior nível de ociosidade no setor em função da queda da produção de cimento e a criação do programa CONSERVE foram fatores importantes para reduzir o investimento de substituição, o primeiro por eliminar o custo de oportunidade da perda de vendas pela parada dos fornos e o segundo por oferecer condições de crédito mais amenas.

Por outro lado, a análise dos projetos de substituição do óleo combustível por carvão mostrou que sua viabilidade econô-

mica aumentou significativamente após a rápida elevação do preço deste derivado de petróleo no segundo semestre de 1980. A constatação desta afirmação pode ser obtida verificando-se que os valores da diferença dos custos variáveis entre as tecnologias óleo combustível e carvão passam a superar em muito o investimento anualizado de substituição.

De fato, a elevação do preço real do óleo combustível de 23% em 1979, 82% em 1980 e 32% em 1981, pode ser apontada como o principal determinante do processo de substituição dos derivados de petróleo na indústria do cimento.

Através da elaboração de cenários para a evolução do setor cimenteiro no período 1983/2000 foi possível analisar prospectivamente o seu desempenho, obtendo-se previsões para o consumo regional dos principais energéticos nele utilizados.

Estimou-se que a produção nacional de cimento iria crescer a uma taxa média anual de 6,3% no período, valor compatível com evolução histórica do setor. Em conjunto com outras hipóteses, este aumento de produção acarreta, no cenário básico e para o período 1983/2000, a expansão dos consumos de carvão mineral (8,6% a.a.), de carvão vegetal (8,5% a.a.), de gás natural (4,3% a.a.), de outros combustíveis alternativos (8,4% a.a.) e de energia elétrica (6,6% a.a.), assim como uma redução do consumo de óleo combustível (-6,5% a.a.).

Prevê-se para o cenário básico uma redução de 15,4% no consumo específico de combustíveis entre 1982 e 2000, em função da maior participação dos fornos de via seca na produção de cimento. Através da transformação tecnológica dos fornos de via úmida em outros de via seca e do aumento da produção do cimento de alto forno até os níveis atingidos em 1980, pode-se diminuir em 9% o consumo total de energia no setor cimenteiro.

No cenário básico, onde a oferta de carvão mineral está limitada às Regiões Sul e Sudeste, as participações do óleo combustível, do carvão vegetal e do carvão mineral, no total de energia térmica consumida na produção de cimento, são, no ano de 1990, respectivamente, 4,65%, 23,11% e 67,48%. Variando-se os limites de penetração do carvão mineral estimou-se valores mínimos e máximos para as participações do carvão vegetal e do carvão mine-

ral no total de combustíveis consumidos, os quais, para o ano de 1990, são, respectivamente, 7,89% e 33,12% para o primeiro e 56,81% e 85,80% para o segundo.

ANEXO 1

EVOLUÇÃO DO CONSUMO APARENTE DE CIMENTO NO BRASIL

ANO	CONSUMO (t)	Δ CONSUMO (%)	ANO	CONSUMO (t)	Δ CONSUMO (%)	ANO	CONSUMO (t)	Δ CONSUMO (%)	ANO	CONSUMO (t)	Δ CONSUMO (%)
1901	37 320	-	1922	319 550	103,7	1943	762 484	-7,7	1964	5 586 092	7,2
1902	58 764	57,5	1923	223 404	-30,1	1944	912 349	19,7	1965	5 673 455	1,6
1903	63 771	8,5	1924	317 152	42,0	1945	1 031 821	13,1	1966	6 125 232	8,0
1904	94 056	47,5	1925	336 474	6,1	1946	1 177 853	14,2	1967	6 491 849	6,0
1905	129 578	37,8	1926	409 704	21,8	1947	1 261 114	7,1	1968	7 834 013	20,7
1906	180 307	39,1	1927	496 582	21,2	1948	1 474 147	16,9	1969	8 431 494	7,6
1907	179 323	- 0,5	1928	544 176	9,6	1949	1 716 759	16,5	1970	9 328 189	10,6
1908	197 907	10,4	1929	631 484	16,0	1950	1 790 322	4,3	1971	10 047 266	7,7
1909	201 754	1,9	1930	471 663	-25,3	1951	2 112 622	18,0	1972	11 589 579	15,4
1910	264 170	30,9	1931	281 447	-40,3	1952	2 439 220	15,5	1973	13 473 407	16,3
1911	268 689	1,7	1932	309 987	10,1	1953	3 027 190	24,1	1974	15 103 312	12,1
1912	367 031	36,6	1933	339 450	9,5	1954	2 778 140	-8,2	1975	16 882 700	11,8
1913	465 314	26,8	1934	449 611	32,5	1955	2 947 551	6,1	1976	19 386 656	14,8
1914	-	-	1935	480 415	6,9	1956	3 282 393	11,4	1977	21 170 845	9,2
1915	144 855	-68,9 ¹	1936	563 262	17,2	1957	3 378 862	2,9	1978	23 205 686	9,6
1916	169 838	17,2	1937	650 732	15,5	1958	3 789 519	12,2	1979	24 875 656	7,2
1917	98 591	-41,9	1938	671 982	3,3	1959	3 852 521	1,7	1980	26 911 265	8,2
1918	51 715	-47,5	1939	738 877	10,0	1960	4 448 688	15,5	1981	25 958 306	-3,5
1919	198 418	283,7	1940	767 057	3,8	1961	4 702 101	5,7	1982	25 469 979	-1,88
1920	172 992	-12,8	1941	785 211	2,4	1962	5 034 556	7,1			
1921	156 872	- 9,3	1942	826 408	5,2	1963	5 210 056	3,5			

FONTE: SNIC. [42], [43], [44] e [46].

¹Tomada em relação 1913.

PRODUÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO - 1926-1982

ANOS	QUANTIDADE PRODUZIDA (t)					
	Total	Portland Comum	Alto Forno	Portland Branco	Portland Alta Resistência	Portland Pozolânico
1926	13 382	13 382	-	-	-	-
1927	54 623	54 623	-	-	-	-
1928	87 964	87 964	-	-	-	-
1929	96 208	96 208	-	-	-	-
1930	87 160	87 160	-	-	-	-
1931	167 115	167 115	-	-	-	-
1932	149 453	149 453	-	-	-	-
1933	225 580	225 580	-	-	-	-
1934	323 909	323 909	-	-	-	-
1935	366 201	366 201	-	-	-	-
1936	485 064	485 064	-	-	-	-
1937	571 452	571 452	-	-	-	-
1938	617 896	617 896	-	-	-	-
1939	697 793	697 793	-	-	-	-
1940	744 673	744 673	-	-	-	-
1941	767 506	767 506	-	-	-	-
1942	752 833	752 833	-	-	-	-
1943	747 409	747 409	-	-	-	-
1944	809 908	809 908	-	-	-	-
1945	774 378	774 378	-	-	-	-
1946	826 382	826 382	-	-	-	-
1947	913 525	913 525	-	-	-	-
1948	1 112 467	1 112 467	-	-	-	-
1949	1 281 228	1 281 228	-	-	-	-
1950	1 385 797	1 385 797	-	-	-	-
1951	1 455 775	1 455 775	-	-	-	-
1952	1 618 992	1 547 227	71 765	-	-	-
1953	2 030 418	1 901 913	128 505	-	-	-
1954	2 441 187	2 285 989	126 156	22 921	6 121	-
1955	2 733 505	2 570 977	126 827	15 003	20 698	-
1956	3 278 223	3 123 710	125 899	21 750	6 864	-
1957	3 376 096	3 228 070	128 940	19 086	-	-
1958	3 769 158	3 592 408	154 467	22 283	-	-
1959	3 822 069	3 636 711	161 150	20 269	3 939	-
1960	4 446 903	4 247 873	169 915	26 210	2 905	-
1961	4 708 911	4 480 176	198 260	29 979	496	-
1962	5 071 740	4 832 237	206 996	32 507	-	-
1963	5 188 198	4 941 503	216 232	30 463	-	-
1964	5 583 008	5 320 768	227 859	34 381	-	-
1965	5 623 773	5 342 214	249 248	32 311	-	-
1966	6 045 589	5 737 691	274 258	33 640	-	-
1967	6 405 001	6 075 635	293 398	35 968	-	-
1968	7 280 654	6 913 931	327 002	39 721	-	-
1969	7 823 487	7 147 661	591 133	41 783	-	42 910
1970	9 002 431	8 085 346	683 231	42 147	-	191 707
1971	9 802 639	8 630 164	306 884	44 399	-	321 192
1972	11 381 431	10 157 815	769 278	46 368	9 604	398 366
1973	13 397 576	11 858 052	975 391	47 608	12 209	504 316
1974	14 919 644	13 012 318	1 120 481	51 324	41 218	694 303
1975	16 737 458	14 553 916	1 191 182	56 966	39 844	895 550
1976	19 146 794	16 857 142	1 109 022	66 320	31 296	1 083 014
1977	21 122 927	18 454 866	1 424 827	66 566	24 316	1 152 352
1978	23 202 867	20 018 905	1 933 639	70 064	18 867	1 161 392
1979	24 873 654	20 852 793	2 494 909	68 776	10 203	1 446 973
1980	27 192 803	22 006 212	3 084 939	74 365	-	2 027 287
1981	26 051 070	21 243 776	2 315 170	68 398	717	2 423 009
1982	25 644 119	19 878 276	2 231 186	68 073	703	3 190 219

FONTE: SNIC [42], [43], [44] e [46].

ANEXO 3

EVOLUÇÃO DAS IMPORTAÇÕES DE CIMENTO NO BRASIL

ANO	IMPORTAÇÃO (t)	IMPORTAÇÃO (%)	ANO	IMPORTAÇÃO (t)	IMPORTAÇÃO (%)	ANO	IMPORTAÇÃO (t)	IMPORTAÇÃO (%)	ANO	IMPORTAÇÃO (t)	IMPORTAÇÃO (%)
1901	37 320	-	1922	319 550	103,7	1943	16 081	- 78,5	1964	28 732	248,2
1902	58 764	57,5	1923	223 404	- 30,1	1944	103 386	542,9	1965	43 528	51,5
1903	63 771	8,5	1924	317 152	42,0	1945	257 747	149,3	1966	93 502	114,8
1904	94 056	47,5	1925	336 474	6,1	1946	351 472	36,4	1967	124 877	33,6
1905	129 578	37,8	1926	396 322	17,8	1947	347 589	- 1,1	1968	584 561	368,1
1906	180 307	39,1	1927	441 959	11,5	1948	361 681	4,1	1969	609 360	4,2
1907	179 323	-0,5	1928	456 212	3,2	1949	435 531	20,4	1970	334 510	-45,1
1908	197 207	10,4	1929	535 276	17,3	1950	404 525	- 7,1	1971	279 195	-16,5
1909	201 754	1,9	1930	384 503	- 28,2	1951	656 847	62,4	1972	244 335	-12,5
1910	264 170	30,9	1931	144 332	- 62,5	1952	820 228	24,9	1973	235 677	- 3,5
1911	268 689	1,7	1932	160 534	11,2	1953	996 772	21,5	1974	243 437	3,3
1912	367 031	36,6	1933	113 870	- 29,1	1954	338 172	- 66,1	1975	234 896	- 3,5
1913	465 314	26,8	1934	125 702	10,4	1955	242 372	- 28,3	1976	337 596	43,7
1914	-	-	1935	114 154	- 9,2	1956	32 009	- 86,8	1977	260 646	-22,8
1915	144 855	-68,9 ¹	1936	78 198	- 31,5	1957	11 438	- 64,3	1978	179 827	-31,0
1916	169 838	17,2	1937	79 280	1,4	1958	719	- 93,7	1979	100 699	-44,0
1917	98 591	-41,9	1938	54 092	- 31,8	1959	40 493	5 531,8	1980	26 342	-73,8
1918	51 715	-47,5	1939	41 099	- 24,0	1960	1 370	- 96,6	1981	6 889	-73,8
1919	198 418	283,7	1940	22 786	- 44,6	1961	462	- 66,3	1982	20 874	203,0
1920	172 992	-12,8	1941	18 308	- 19,7	1962	1 736	275,8			
1921	156 872	- 9,3	1942	74 813	308,6	1963	8 252	375,3			

FONTE: SNIC [42], [43], [44] e [46]

¹Tomada em relação a 1913.

ANEXO 4

EVOLUÇÃO DO NÚMERO DE FORNOS, POR TIPO, NO BRASIL

ANO	VIA ÚMIDA	VIA SECA LONGO	VIA SECA COM PRE-AQUECEDOR	VERTICAL	VIA SEMI-SECA	TOTAL
1926	-	2	-	-	-	2
1930	-	3	-	-	-	3
1935	2	3	-	1	-	6
1940	6	3	-	-	-	9
1945	9	3	-	-	-	12
1950	17	3	-	-	-	20
1955	34	6	2 ^a	-	-	42
1960	45	6	2	-	-	53
1965	54	6	2	-	-	62
1966	53	6	4	-	-	63
1967	54	6	4	-	-	64
1968	54	7	4	-	-	65
1969	54	8	5	-	1	68
1970	56	8	9	-	1	74
1971	56	8	13	-	1	77
1972	56	8	19	-	1	83
1973	53	8	27	-	1	88
1974	53	8	27	-	1	88
1976	52	8	34	-	1	94
1977	50	8	38	1	1	97
1980	48	8	47	1	1	105
1982	45	8	50	1	4	108

FONTES: GUIMARÃES & REIS [32], ABCP [7], [8].

^aFornos com preaquecedor de grelhas.

ANEXO 5

PREÇO REAL (Cr\$ de 81) MÉDIO AO CONSUMIDORDE ÓLEO COMBUSTÍVEL

(RIO DE JANEIRO)

ANO	ÓLEO COMBUSTÍVEL (Cr\$/t)
1957	7 238,3
1958	7 183,8
1959	7 788,9
1960	6 477,2
1961	9 264,8
1962	7 918,2
1963	8 367,2
1964	7 982,3
1965	8 878,9
1966	8 022,9
1967	5 729,9
1968	4 689,9
1969	4 351,6
1970	4 080,1
1971	4 298,8
1972	4 643,4
1973	4 603,6
1974	5 199,9
1975	5 648,6
1976	6 208,1
1977	6 460,1
1978	6 246,6
1979	7 662,3
1980	13 929,6
1981	18 396,2
1982	16 291,7

FONTE: RAMOS [40]

OBS.: Deflator IGP-DI.

ANEXO 6

PREÇOS DO CIMENTO COMUM

(US\$/t)

PAÍS	US\$
Espanha	45
Colômbia	52
Bélgica	54
Itália/Coréia	56
Grécia	58
RFA	59
Índia/França	62
Áustria	63
Estados Unidos	66
Brasil	66
Suíça/Japão	70
Argélia	71
Dinamarca/Suécia	72
Singapura	76
Indonésia	78
Inglaterra	85
Gibraltar	96
Togo	102
Zaire/Uruguai	105
Senegal	107
Bolívia	110
Cameron	120
Quênia/Chile	125
Equador	130

FONTE: LAFARGE [35] - Dados de fins de 1980

OBS.: Estes são preços do cimento ensacado, com porte pago e livres de taxas. Deve-se tomar cuidado pois o preço em dólar do cimento pode estar incorporando distorções das taxas cambiais de cada país.

ANEXO 7

DISTRIBUIÇÃO DO TRANSPORTE DE CIMENTO SEGUNDO MODOS DE
TRANSPORTE E EMBALAGEM EM DIVERSOS PAÍSES
 (%)

PAÍS	MODO DE TRANSPORTE			EMBALAGEM ²
	Ferroviário	Aquático	Rodoviário	Granel
Áustria	14	-	86	67
Bélgica	1	7	92	72
Dinamarca	-	2	98	78
Espanha	7	4	89	56
Finlândia	8	2	90	80
França	8	2	90	61
Inglaterra	29	5	66	73
Grécia	-	6	94	45
Itália	2	1	97	62
Noruega	-	87	13	76
Países Baixos	1	49	50	82
RFA	2	2	96	80
Suécia	10	65	25	89
Suíça	55	-	45	87
Brasil ¹	19	2	79	21
EEUU	1	13	86	95
Japão	12	35	53	96
Indonésia	N.D.	N.D.	N.D.	9

FONTE: LAFARGE [35] - Dados de 1979

¹Os dados brasileiros são relativos a 1980.

²O complemento destes percentuais correspondem ao cimento embalado em sacos de 50 kg.

ANEXO 8

PREÇO MÉDIO TRIMESTRAL DOS PRINCIPAIS ENERGÉTICOSCONSUMIDOS NA INDÚSTRIA DO CIMENTO

(Cr\$ de 1981)

TRIMESTRE	ÓLEO COMBUSTÍVEL (Cr\$/t)	CARVÃO MINERAL (Cr\$/t)	CARVÃO VEGETAL (Cr\$/t)	ENERGIA ELÉTRICA (Cr\$/MWh)
1/77	6 230	-	-	3 445
2/77	6 410	-	-	3 054
3/77	6 590	-	-	2 967
4/77	6 560	-	-	3 093
1/78	6 460	-	-	3 739
2/78	6 350	-	-	3 360
3/78	6 200	-	-	3 093
4/78	6 130	-	-	2 810
1/79	6 490	-	-	3 471
2/79	6 820	-	-	3 076
3/79	8 650	-	-	2 743
4/79	8 132	1 752	1 847	2 902
1/80	7 277	1 471	1 736	3 145
2/80	11 286	1 239	2 014	2 852
3/80	16 031	1 796	2 915	2 687
4/80	17 543	1 474	2 653	2 707
1/81	17 855	2 099	2 112	2 847
2/81	19 223	1 747	1 591	2 967
3/81	18 367	3 004	1 351	3 415
4/81	18 084	2 600	1 210	3 650
1/82	17 319	3 434	1 655	3 330
2/82	17 110	3 074	1 752	3 585
3/82	15 933	3 421	1 404	3 211
4/82	15 477	3 562	1 200	3 368
1/83	18.037	3 682	-	3 363
2/83	24.301	3 438	-	-

FONTES: Anuário Estatístico do CNP [3], Diário Oficial da União [23] e Cooperativa Agro-Florestal [22].

ANEXO 9

CENÁRIOS PARA O CONSUMO DE ENERGIA NA INDÚSTRIA DO CIMENTO - REGIÃO NORTE

CENÁRIO BÁSICO

ENERGÉTICO	UNIDADE	1983	1984	1985	1987	1990	1995	2000
Óleo Combustível	t	43 675	23 839	19 579	5 045	6 429	7 972	11 508
Carvão Vegetal	t	44 532	67 710	89 832	146 610	186 810	231 654	334 403
TOTAL DOS COMBUSTÍVEIS	GCAL	757 036	708 351	814 473	1 049 421	1 337 165	1 658 152	2 393 621
Energia Elétrica	MWh	47 935	46 176	52 241	89 290	107 297	152 137	254 877
TOTAL	GCAL	798 260	748 062	859 400	1 126 210	1 429 440	1 788 990	2 612 815
PRODUÇÃO	t	416 678	392 427	439 192	755 452	903 894	1 295 223	2 191 863

CENÁRIO CONSERVACIONISTA

ENERGÉTICO	UNIDADE	1987	1990	1995	2000
Óleo Combustível	t	3 177	3 805	5 348	8 884
Carvão Vegetal	t	92 308	110 559	155 403	258 152
TOTAL DOS COMBUSTÍVEIS	GCAL	660 733	791 371	1 112 358	1 847 827
Energia Elétrica	MWh	87 118	104 247	149 087	251 827
TOTAL	GCAL	735 654	881 023	1 240 573	2 064 398

ANEXO 10

CENÁRIOS PARA O CONSUMO DE ENERGIA NA INDÚSTRIA DO CIMENTO - REGIÃO NORDESTE

ENERGÉTICO	UNIDADE	1983	1984	1985	1987	1990	1995	2000
Óleo Combustível	t	218 950	145 362	93 305	26 785	20 454	29 724	41 261
Carvão Vegetal	t	162 717	250 490	350 138	469 033	566 967	837 629	1 159 428
Gás Natural	10 ³ m ³	20 259	20 019	20 453	20 094	21 813	43 608	41 183
Outros	GCAL	73 480	130 580	182 568	221 069	274 342	283 393	427 834
TOTAL DOS COMBUSTÍVEIS	GCAL	3 655 571	3 541 865	3 734 317	3 885 989	4 556 206	6 716 297	9 144 657
Energia Elétrica	MWh	379 916	372 729	394 518	429 704	499 953	799 447	1 147 193
TOTAL	GCAL	3 982 299	3 862 412	4 073 602	4 255 534	4 986 166	7 403 821	1 013 242
PRODUÇÃO	t	3 443 648	3 344 858	3 508 612	3 747 954	4 344 113	6 882 806	9 929 509

CENÁRIO CONSERVACIONISTA

ENERGÉTICO	UNIDADE	1987	1990	1995	2000
Óleo Combustível	t	20 879	16 834	25 613	37 150
Carvão Vegetal	t	389 543	463 907	720 404	1 042 204
Gás Natural	10 ³ m ³	20 094	21 813	43 608	41 183
Outros	GCAL	208 841	259 896	268 593	412 494
TOTAL DOS COMBUSTÍVEIS	GCAL	3 271 805	3 803 302	5 861 073	8 289 432
Energia Elétrica	MWh	426 525	495 831	794 758	1 142 505
TOTAL	GCAL	3 638 617	4 229 717	6 544 565	9 271 986

CENÁRIOS DE SUBSTITUIÇÃO

HIPÓTESE	ENERGÉTICO	UNIDADE	1987	1990	1995	2000
CONTRACIONISTA	Carvão Mineral	t	0	0	0	0
	Carvão Vegetal	t	469 033	566 967	837 629	1 159 428
	Gás Natural	10 ³ m ³	20 094	21 813	43 608	41 183
	Outros	GCAL	221 069	274 342	283 933	427 834
	Energia Elétrica	MWh	429 704	499 953	799 447	1 147 194
EXPANSIONISTA	Carvão Mineral	t	548 916	667 663	868 911	1 183 572
	Carvão Vegetal	t	110 035	130 153	267 943	383 130
	Gás Natural	10 ³ m ³	20 094	21 813	43 608	41 183
	Outros	GCAL	192 139	240 196	247 691	380 589
	Energia Elétrica	MWh	437 301	509 187	811 416	1 163 485

ANEXO 11

CENÁRIOS PARA O CONSUMO DE ENERGIA NA INDÚSTRIA DO CIMENTO - REGIÃO SUDESTE

CENÁRIO BÁSICO

ENERGÉTICO	UNIDADE	1983	1984	1985	1987	1990	1995	2000
Óleo Combustível	t	351 132	212 227	136 484	56 697	68 178	94 755	128 036
Carvão Mineral	t	1 497 664	1 661 173	1 910 398	2 853 313	3 424 803	4 894 753	6 522 148
Carvão Vegetal	t	191 828	235 812	279 449	0	0	0	0
Outros	GCAL	86 588	96 787	107 894	0	0	0	0
TOTAL DOS COMBUSTÍVEIS	GCAL	11 782 278	11 382 740	12 024 372	13 429 560	16 120 666	23 011 845	30 681 241
Energia Elétrica	MWh	1 490 230	1 452 107	1 538 494	1 706 622	2 014 175	2 880 610	4 189 166
TOTAL	GCAL	13 063 875	12 631 552	13 347 476	14 897 254	17 852 856	25 489 169	34 283 923
PRODUÇÃO	t	13 943 281	13 488 830	14 221 889	15 608 559	18 335 028	25 539 569	36 884 767

CENÁRIO DE CONSERVAÇÃO

ENERGÉTICO	UNIDADE	1987	1990	1995	2000
Óleo Combustível	t	51 025	60 162	82 256	114 356
Carvão Mineral	t	2 585 856	3 045 657	4 241 635	5 835 503
TOTAL DOS COMBUSTÍVEIS	GCAL	12 167 013	14 331 145	19 942 822	27 449 060
Energia Elétrica	MWh	1 683 895	1 985 020	2 841 901	4 150 548
TOTAL	GCAL	13 615 162	16 038 262	22 386 856	31 018 531

CENÁRIOS DE SUBSTITUIÇÃO

HIPÓTESE	ENERGÉTICO	UNIDADE	1987	1990	1995	2000
CONTRACIONISTA	Carvão Mineral	t	2 283 278	2 728 256	3 974 575	5 296 348
	Carvão Vegetal	t	356 605	436 636	562 549	761 135
	Outros	GCAL	140 245	165 338	315 464	340 383
	Energia Elétrica	MWh	1 698 084	2 003 778	2 866 305	4 170 580
EXPANSIONISTA	Carvão Mineral	t	2 853 313	3 424 803	4 894 753	6 522 148
	Carvão Vegetal	t	0	0	0	0
	Outros	GCAL	0	0	0	0
	Energia Elétrica	MWh	1 706 622	2 014 175	2 880 610	4 189 166

ANEXO 12

CENÁRIOS PARA O CONSUMO DE ENERGIA NA INDÚSTRIA DO CIMENTO - REGIÃO SUL

CENÁRIO BÁSICO

ENERGÉTICO	UNIDADE	1983	1984	1985	1987	1990	1995	2000
Óleo Combustível	t	32 894	19 411	15 977	13 968	16 936	21 828	33 139
Carvão Mineral	t	372 271	379 853	424 682	544 424	669 406	950 000	1 336 686
Outros	GCAL	16 033	16 546	17 140	0	0	0	0
TOTAL DOS COMBUSTÍVEIS	GCAL	2 033 348	1 927 761	2 094 374	2 595 175	3 188 462	4 502 013	6 359 730
Energia Elétrica	MWh	284 255	271 864	293 666	366 879	458 026	698 917	991 364
TOTAL	GCAL	2 277 807	2 161 564	2 346 927	2 910 691	2 582 364	5 103 082	7 212 303
PRODUÇÃO	t	2 546 163	2 432 864	2 610 652	3 165 125	3 925 360	5 843 154	8 429 650

CENÁRIO CONSERVACIONISTA

ENERGÉTICO	UNIDADE	1987	1990	1995	2000
Óleo Combustível	t	13 352	15 166	20 030	31 302
Carvão Mineral	t	481 780	602 067	882 076	1 267 941
TOTAL DOS COMBUSTÍVEIS	GCAL	2 296 559	2 867 032	4 177 658	6 031 278
Energia Elétrica	MWh	364 374	455 333	696 200	988 614
TOTAL	GCAL	2 609 921	3 258 618	4 776 390	6 881 486

ANEXO 13

CENÁRIOS PARA O CONSUMO DE ENERGIA NA INDÚSTRIA DO CIMENTO - REGIÃO CENTRO-OESTE

CENÁRIO BÁSICO

ENERGÉTICO	UNIDADE	1983	1984	1985	1987	1990	1995	2000
Óleo Combustível	t	76 637	46 775	34 299	8 699	10 089	13 666	18 551
Carvão Mineral	t	30 488	35 414	37 581	0	0	0	0
Carvão Vegetal	t	62 800	82 178	96 595	149 967	173 858	257 454	353 135
Outros	GCAL	254 193	386 396	497 226	699 056	811 449	949 775	1 264 344
TOTAL DOS COMBUSTÍVEIS	GCAL	1 615 454	1 591 032	1 679 891	1 809 298	2 098 615	2 842 591	3 858 593
Energia Elétrica	MWh	155 997	154 903	163 650	174 542	202 955	307 243	446 397
TOTAL	GCAL	1 749 611	1 724 249	1 820 630	1 959 404	2 273 156	3 106 820	4 242 494
PRODUÇÃO	t	1 463 899	1 442 961	1 521 310	1 625 132	1 889 550	2 789 480	4 024 255

CENÁRIO DE CONSERVAÇÃO

ENERGÉTICO	UNIDADE	1987	1990	1995	2000
Óleo Combustível	t	8 270	9 524	13 144	18 028
Carvão Vegetal	t	144 491	167 273	250 770	346 452
Outros	GCAL	651 665	754 455	891 931	1 206 500
TOTAL DOS COMBUSTÍVEIS	GCAL	1 720 217	1 991 483	2 733 863	3 749 865
Energia Elétrica	MWh	174 323	202 691	306 976	446 130
TOTAL	GCAL	1 870 135	2 165 797	2 997 862	4 133 537

CENÁRIOS DE SUBSTITUIÇÃO

HIPÓTESE	ENERGÉTICO	UNIDADE	1987	1990	1995	2000
CONTRACIONISTA	Carvão Mineral	t	45 888	52 607	52 239	65 130
	Carvão Vegetal	t	119 870	139 351	223 367	310 512
	Outros	GCAL	697 222	809 366	946 488	1 261 096
	Energia Elétrica	MWh	175 174	203 679	307 969	447 297
EXPANSIONISTA	Carvão Mineral	t	381 963	443 041	600 103	814 592
	Carvão Vegetal	t	0	0	0	0
	Outros	GCAL	0	0	0	0
	Energia Elétrica	MWh	183 822	213 722	320 949	464 855

BIBLIOGRAFIA

- 1 - AMBROSIO, Aluisio. Perfil analítico do cimento. Rio de Janeiro, Ministério das Minas e Energia/Departamento Nacional da Produção Mineral, 1974. 70p.
- 2 - ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO BRASIL. Rio de Janeiro, IBGE (vários anos).
- 3 - ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO CONSELHO NACIONAL DO PETRÓLEO, Brasília (vários anos).
- 4 - ASSIS, Christine Ann. A mixed-integer programming model for the Brazilian cement industry. Brazilian Economic Studies, Rio de Janeiro, (5):191-215, 1979.
- 5 - ASSIS, Christine Ann. Projeção de consumo de cimento usando dados de série temporal e cross-section. Pesquisa e Planejamento Econômico, Rio de Janeiro, 8 (2):437-456, ago. 1978.
- 6 - ASSIS, Paulo Santos, MARINHO, Lincoln Z. de Almeida e PORTO, Fernando Martins. Utilização do carvão vegetal na siderurgia. In: PRODUÇÃO e utilização de carvão vegetal. Belo Horizonte, CETEC, 1982. p.280-318 (CETEC. Série de publicações técnicas, 8).
- 7 - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Estrutura do consumo de derivados de petróleo pela Indústria Brasileira de Cimento Portland; relatório CNP/ABCP. s.n.t.
- 8 - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Sinopse do cimento no Brasil. Rio de Janeiro, 1982. 22p.
- 9 - BALANÇO ANUAL, São Paulo, v.3 nº3, set. 1979.
- 10 - BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO. Cimento. Rio de Janeiro, 1977. 54 p. (Série estudos setoriais - insumos básicos).
- 11 - BARRETO, Argos Menna. Desempenho energético da indústria brasileira de cimento em 1981. s.l., Associação Brasileira de Cimento Portland, s.d. 6 f. num.
- 12 - BARRETO, Argos Menna. Desempenho energético da indústria brasileira de cimento em 1982. s.l., Associação Brasileira de Cimento Portland, s.d. 6 f. num. (Trabalho apresentado na Reunião de Técnicos da Indústria do Cimento, 34 - Anexo 10).
- 13 - BRASIL. Conselho de Desenvolvimento Industrial. Mercado brasileiro de cimento. Atual. e rev. Brasília, 1982. 87 p.

- 14 - BRASIL. Ministério da Indústria e do Comércio, das Minas e Energia e dos Transportes, Sindicato Nacional da Indústria do Cimento e Sindicato Nacional da Indústria de Extração do Carvão. Protocolo objetivando a utilização do carvão mineral em substituição ao óleo combustível na indústria cimenteira. Brasília, 1979. 9 f. num.
- 15 - BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Balanço energético nacional. Brasília, 1982. 108p.
- 16 - BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Balanço energético nacional. Brasília, 1983. 115 p.
- 17 - BRASIL. SEPLAN. Previsão de produção e demanda de carvão energético nacional. Brasília, 1982. 30 p.
- 18 - BRASIL. Secretaria de Tecnologia Industrial. Subprograma de apoio tecnológico ao setor cimenteiro em conservação de energia e substituição de fontes energéticas importadas. Brasília, 1981. 37 p.
- 19 - BUSSE, Adolpho Gomes, SERRA, Maria Tereza F. e ERBER, Pietro. Substituição de óleo combustível por energia elétrica. Rio de Janeiro, ELETROBRÁS, 1983. 75 p. (ELETROBRÁS/DEME. Nota técnica, 20).
- 20 - CONSELHO DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. Primeiro relatório de acompanhamento do protocolo de redução e substituição do consumo de óleo combustível na indústria cimenteira. Brasília, 1983. 8 f. num. + anexos.
- 21 - CONSELHO NACIONAL DO PETRÓLEO. Instrução normativa CNP/DIPLAN nº 02/82; pesquisa de consumo e desempenho energéticos na indústria. Brasília, 1982. 64 p.
- 22 - COOPERATIVA AGRO-FLORESTAL LTDA. Estatística mensal de preços de carvão vegetal. Montes Claros, MG, vários anos.
- 23 - DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO, Brasília. Portarias do Conselho Nacional do Petróleo - vários anos.
- 24 - DIAS, Milton Cesar Teixeira. A economicidade da substituição de óleo combustível na indústria de cimento. Rio de Janeiro, PUC, 1983. 73 f. num. Tese (M) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.
- 25 - ELETROBRÁS. Informações referentes às cargas especiais. Rio de Janeiro, s.d.
- 26 - ENERGIA, CONSERVAÇÃO E SUBSTITUIÇÃO, Brasília, v.2, nº 5, maio 1983.
- 27 - EVOLUÇÃO do transporte do carvão mineral. Informativo CODET/GEIPOT, Brasília, nº 3, ago. 1982.

- 28 - FARIA, Flávio Freitas e COSTA, Luiz Carlos Guimarães. Análise do consumo energético no setor industrial da região central do país. Rio de Janeiro, IPEA/INPES, 1982. 20 p. (Documento preliminar Grupo de Energia, 9).
- 29 - FUNDAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO DA ENGENHARIA - FDTE. Estudo do perfil da demanda de energia na indústria; indústria de cimento. São Paulo, 1981. não pag.
- 30 - FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A. Panorama do setor de cimento no Brasil; período 1976-1980. Rio de Janeiro, 1976. 32 p.
- 31 - GEIPOT. Plano operacional de transportes; cimento - fase I. Brasília, 1975. 193 p.
- 32 - GUIMARÃES, Eduardo Augusto A. e REIS, Leonides Gomes dos. O processo de via seca na indústria de cimento. In: DIFUSÃO de inovações na indústria brasileira; três estudos de caso. Rio de Janeiro, IPEA/INPES, 1976. p. 159-242 (IPEA/INPES. Série monográfica, 24).
- 33 - HORTA, Maria Helena T.T. O consumo de óleo combustível na indústria cimenteira. Rio de Janeiro, IPEA/INPES, 1980. (Documento preliminar).
- 34 - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. Manual de recomendações para um programa de redução do consumo de energia na indústria de cimento. São Paulo, 1978. 3 v.
- 35 - LAFARGE CONSULTORIA E ESTUDOS, INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA. Perspectivas da indústria cimenteira na presente década. São Paulo, 1981. pag. irreg.
- 36 - LESSA, Celia de Andrade e DIAS, Milton Cesar Teixeira. A substituição de óleo combustível e a conservação de energia no setor cimento. s.l., s.ed., 1981. 38 p. + anexos.
- 37 - LOPES, Renato Luiz Leme. Um modelo matemático para estudo da distribuição de cimento. Rio de Janeiro, UFRJ/COPPE, 1970. 191 p. Tese (M) - Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- 38 - MACEDO, L.O. Indústria de cimento em Minas Gerais; carvão mineral x carvão vegetal. Belo Horizonte, 1983.
- 39 - PROCHNIK, Victor. A dinâmica da indústria de cimento no Brasil. Rio de Janeiro, UFRJ/IEI, 1983. 201 f. num. Tese (M) - Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- 40 - RAMOS, Lauro R.A. Cenários de demanda de derivados de petróleo. Rio de Janeiro, IPEA/INPES, 1983. 88 p. (Textos para discussão. Grupo de Energia, 16).
- 41 - SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. Cimento no Brasil. Rio de Janeiro, 1968. 120 p.

- 42 - SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. Cimento - 47 anos de indústria, 20 anos de sindicato. Rio de Janeiro, 1976. 155 p.
- 43 - SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. Relatório 1971/1980. Rio de Janeiro, 1981. 47 p.
- 44 - SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. Relatório 1980/1981. Rio de Janeiro, 1982. 52 p.
- 45 - SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. Dados de mercado. Rio de Janeiro, 1983.
- 46 - SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. 1953-1983; 30 anos. Rio de Janeiro, 1983. 63 p.
- 47 - TIGGESBAUMKER, P., KREFT, W. and BEYER, R. Coal fired systems and their effect on energy expenditure in cement burning. Polysius Review, Beckum, W. Germany, June 1982.
- 48 - WAISBERG, Benani. Utilização do carvão vegetal na indústria de cimento; a experiência da SOEICOM. In: PRODUÇÃO e utilização de carvão vegetal. Belo Horizonte, CETEC, 1982. p. 267-277 (CETEC. Série de publicações técnicas, 8).

TEXTOS PARA DISCUSSÃO DO GRUPO DE ENERGIA (TDE)

- Nº I - "Uma Avaliação dos Impactos Ambientais e Socio-Econômicos Locais Decorrentes da Industrialização do Xisto", Sérgio Margulis e Ricardo Paes de Barros, Dezembro 1981, 30 p.
- Nº II - "Recursos Nacionais de Xistos Oleíferos: Um Levantamento com Vistas ao Planejamento Estratégico do Setor". Lauro R. A. Ramos e Ricardo Paes de Barros, Dezembro 1981, 76p.
- Nº III- "Agricultura e Produção de Energia: Avaliação do Custo da Matéria-Prima para Produção de Alcool", Equipe IPEA/IPT, Janeiro 1982, 64 p.
- Nº IV - "Um Modelo de Crescimento para a Indústria do Xisto", Ricardo Paes de Barros e Lauro R. A. Ramos, Fevereiro 1982, 57 p.
- Nº V - "Um Modelo de Planejamento de Oferta de Energia Elétrica", Octávio A. F. Tourinho, Março 1982, 12 p.
- Nº VI - "A Economia do Carvão Mineral", Eduardo M. Modiano e Octávio A. F. Tourinho, Março 1982, 48 p.
- Nº VII- "Um Modelo Econométrico para a Demanda de Gasolina pelos Automóveis de Passeio", Ricardo Paes de Barros e Silvério Soares Ferreira, Maio 1982, 135 p.
- NºVIII- "A Critical Look at the Theories of Household Demand for Energy", Ali Shamsavari, Junho 1982, 32 p.
- Nº IX - "Análise do Consumo Energético no Setor Industrial da Região Central do País", Flávio Freitas Faria e Luiz Carlos Guimarães Costa, Junho 1982, 30 p.

- Nº X - "Vinhoto: Poluição Hídrica, Perspectivas de Aproveitamento e Interação com o Modelo Matemático de Biomassa", Sérgio Margulis, Julho 1982, 108 p.
- Nº XI - "Um Modelo de Análise da Produção de Energia pela Agricultura", Fernando Curi Peres, Jose R. Mendonça de Barros, Léo da Rocha Ferreira e Luiz Moricochi, Agosto 1982, 24 p.
- Nº XII- "Xistos Oleíferos: Natureza, Formas de Aproveitamento e Principais Produtos", Lauro R. A. Ramos e Ricardo Paes de Barros, Fevereiro 1983, 55 p.
- Nº XIII- "Consumo de Energia para Cocção - Análise das Informações Disponíveis", Ricardo Paes de Barros e Luis Carlos P. J. Boluda, Março 1983, 113 p.
- Nº XIV- "Consumo de Energia no Meio Rural", Milton da Mata, Março 1983, 41 p.
- Nº XV - "Usina Industrial de Xisto", Lauro R. A. Ramos e Ricardo Paes de Barros, Abril 1983, 87 p.
- Nº XVI- "Cenários de Demanda de Derivados de Petróleo", Lauro R. A. Ramos, Dezembro 1983, 88 p.
- Nº XVII- "Sobre a Dieselização da Frota Brasileira de Caminhões", Armando M. Castelar Pinheiro, Dezembro 1983, 87 p.
- Nº XVIII- "Impactos Ambientais Decorrentes da Produção do Carvão Mineral: Uma Abordagem Quantificada", Sérgio Margulis, Dezembro 1983, 114 p.

O INPES edita ainda as seguintes publicações: Pesquisa e Planejamento Econômico (quadrimestral), desde 1971; Literatura Econômica (bimestral), desde 1977; Brazilian Economic Studies (semestral), desde 1975; Coleção Relatório de Pesquisa; Série de Textos para Discussão Interna (TDI); Série Monográfica; e Série PNPE.