

POSSIBILIDADES DA HIDROPIRÓLISE  
PARA A CARBOQUÍMICA NACIONAL

Mario O. Cencig  
Carlos A. Luengo

Laboratório de Combustíveis Alternativos (LCA)  
Instituto de Física "Gleb Wataghin" (IFGW)  
Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

RESUMO

A hidropirólise rápida (HPR), aplicada ao carvão de Candiota, tem o potencial de viabilizar a produção de insumos químicos básicos - como etileno, benzeno, tolueno, metanol ou uréia - a partir de carvões não coqueificáveis.

Isso é possível pela utilização do conceito de "projetos integrados", nos quais se busca o aproveitamento de todos os produtos líquidos, gasosos e sólidos.

A estimativa tecno-econômica é positiva inclusive para escalas de processamento relativamente pequenas, o que é interpretado como devido ao fato da simplicidade desta técnica e ao baixo custo do carvão, único insumo comercial deste processo integrado.

ABSTRACT

Energy and or chemical feedstocks (ethylene, BTX, methanol, etc.) may be obtained from Candiota coal using Flash Hydroprolysis (FHP), a novel processing technique recently developed at Unicamp.

The integrated processo concept, involving the utilization of all liquid, gas and solid products produced by the FHP, is used to study the economic feasibility.

Returns are positive, even for comparatively small scales, due to the low cost of the coal, the only feedstock and the relative simplicity of the FHP.

## 1. INTRODUÇÃO

Não é novidade que o carvão mineral tenha um duplo papel como fonte energética e como fonte de insumos químicos. Foi no bojo da Revolução Industrial que o carvão mineral substituiu a madeira, chegando a ser, no fim do século XIX, o principal energético nas máquinas a vapor e no aquecimento, fornecendo o "gás de rua" para a iluminação, o agente redutor nas indústrias metalúrgicas, e a fonte de vários insumos para a indústria química da época (amônia, corantes).

O escopo da carboquímica foi ampliado no início deste século com a obtenção de acetileno e o processamento dos alcatrões, tal como está ilustrado na Figura 1.

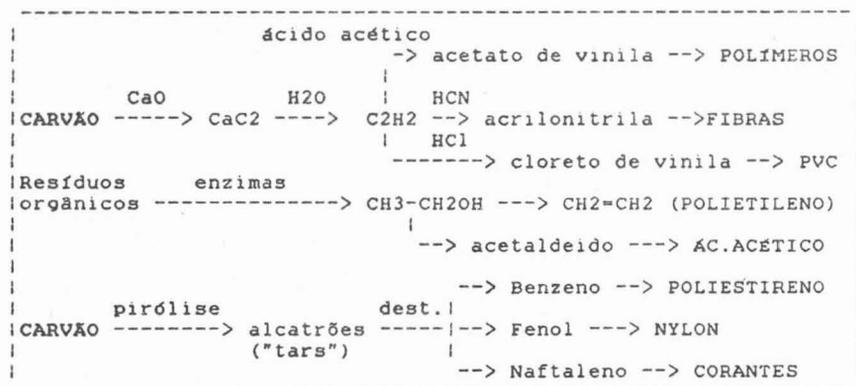


Figura 1: Carboquímica antes da II Guerra Mundial.

A indústria química, em decorrência de mudanças na sua base material nesta segunda metade do século, transformou-se no setor da indústria de crescimento mais rápido; assim, o carvão mineral, as matérias alimentícias e vegetais cederam o lugar para o petróleo e o gás natural como fontes dos produtos químicos

(1) (2) (3). No caso particular dos compostos orgânicos, as rotas tradicionais de obtenção eram, antes da II Guerra Mundial, as que estão indicadas na Figura 1, na qual foi colocado em destaque o carvão mineral, e depois da II GM, "o petróleo toma conta de tudo"; é interessante observar que, hoje, entre as 50 principais empresas transnacionais, 16 são da indústria petrolífera, 11 são da indústria automobilística e 5 da indústria química, onde só as do petróleo concentraram quase 50 % das vendas em 1986 (4). Pode-se dizer que o petróleo tem um papel fundamental como fonte de insumos para a moderna indústria petroquímica, e como energético, em forma análoga ao papel do carvão mineral e da biomassa no século passado.

Os insumos orgânicos (ou "petroquímicos") mais importantes são, pela ordem: etileno, propileno, benzeno, tolueno, xilenos, butadieno e metano, que no final da década passada ocuparam, respectivamente, os lugares 5, 13, 14, 17, 22 e 31 entre os 50 mais vendidos no mundo.

## 2. O CARVÃO NO BRASIL

Na questão energética, o Brasil é dependente das importações de vários dos energéticos (o item "combustíveis" constituiu 53 % das importações em 1985), sendo os responsáveis por essa dependência o petróleo e o carvão metalúrgico.

Referente à indústria química no Brasil, ela está fortemente baseada no petróleo (e no gás natural), em forma semelhante à situação mundial; o petróleo é fonte das olefinas e de hidrocarbonetos aromáticos (fundamentalmente benzeno, tolueno e xilenos, a denominada fração BTX), enquanto que o gás natural fornece

olefinas, metanol e amônia (via metano); a segunda fonte dos insumos químicos é a fabricação de coque mineral, via carboquímica, a partir do carvão importado e do carvão catarinense. Os produtos petroquímicos básicos são: etileno, propeno, butadieno, benzeno, tolueno, xilenos, metanol e amônia, que abastecem um bom número de indústrias de ponta (em 1985 eram 513 empresas (5) no setor "indústria química e farmacêutica"): laminados, pneus, detergentes, resinas, embalagens, tintas, remédios, fibras sintéticas etc. É interessante, também, notar as possibilidades do álcool no Brasil além do seu uso energético; enquanto nos EUA e na Europa o etileno (o principal insumo petroquímico) e seus derivados são obtidos pelo craqueamento catalítico da nafta ou do gás natural, sendo o etanol produzido a partir dele, no Brasil o etanol produzido a partir de biomassa renovável (cana-de-açúcar) pode fornecer, inversamente, os caminhos da alcoolquímica.

No caso do Brasil, o carvão mineral constitui mais de 60 % das reservas energéticas do país e contribui com menos de 6 % na oferta interna de energia (6). O quadro das reservas brasileiras geológicas "in situ" de carvão mineral, em dezembro de 1986, era o seguinte:

	milhões t
reservas medidas e indicadas	10.241
" inferidas e estimadas	22.206
	-----
	32.447

das quais 26.555 milhões de t corresponderiam ao carvão vapor e 5.892 milhões de t ao carvão metalúrgico.

A Tabela 1 ilustra a situação global do setor carvão mineral para o ano de 1986 (6).

Tabela 1: Balanço do carvão mineral como energia primária (1986)

	C.VAPOR		C.METALURGICO		COQUE
	(mil t)	(mil tEP)	(mil t)	(mil tEP)	(mil tEP)
Produção	6.061	2.441	1.330	838	-
Importação	-	-	8.442	6.188	63
Consumo total	7.067	2.931(1)	9.682	6.955(2)	4.847(3)
Eletricidade		1.252(4)	-	-	-
Industrial		1.672(5)	-	-	4.847(6)
Transportes		7(7)	-	-	-

- (1) correspondente a 1,7 % do consumo total de fontes primárias;
- (2) correspondente a 3,9 % do consumo total de fontes primárias, tendo sido consumido nas coquearias;
- (3) correspondente a 4.948 mil tEP produzidas nas coquearias;
- (4) inclui 1 mil tEP consumidas em usinas de gaseificação;
- (5) assim distribuídos:
- 1.142 cimento (39 % do total)
  - 169 química ( 5,8 %)
  - 127 papel e celulose (4,3 %)
  - 107 alimentos e bebidas (3,7 %)
  - 32 ferro gusa e aço
  - 29 mineração/pelotização
  - 29 cerâmica
  - 5 têxtil
  - 32 outros usos industriais.
- (6) assim distribuídos:
- 4.716 ferro gusa e aço (97,3 %)
  - 30 mineração/pelotização
  - 12 não ferrosos
  - 89 outros usos industriais.
- (7) ferroviário.

É interessante lembrar que, no início dos anos 80 era prevista uma escala de produção de 27 milhões de toneladas de carvão mineral em 1985, meta que a Versão II do Modelo Energético Brasileiro do ano 1981 (MEB 81/Versão II) abaixou para 16,8 milhões de t de carvão vapor e 2,9 milhões de t de carvão metalúrgico. No caso do carvão metalúrgico, fica clara a dependência da importação (aproximadamente 87 % do consumido em 1986 teve essa origem).

Observa-se que na questão da utilização dos carvões, a do carvão vapor se dá através da sua queima (a quantidade gaseificada é desprezível), seja na geração termoelétrica, seja na geração de calor (substituindo o óleo combustível) para a indústria cimenteira ou em geral, enquanto que na fabricação do coque metalúrgico há recuperação de produtos químicos (alcatrão, benzol etc.) a partir dos voláteis formados no processo de carbonização.

As razões deste quadro de situação são de diversas ordens: econômicas, tecnológicas, financeiras, políticas, sócio-culturais, sendo variável a importância que cada uma tem no conjunto da política energética no país.

No aspecto tecnológico e científico é claro que o fato do alto conteúdo de minério aliado ao baixo poder coqueificante da maioria dos carvões nacionais colocou um condicionante muito forte à sua utilização, desde que as tecnologias de uso foram importadas na sua maioria, o que quer dizer que foram desenvolvidas e otimizadas para materiais diferentes e para operar em outros contextos.

Essas tecnologias e o seu uso no Brasil têm sido periodicamente analisados ao longo desses últimos 20-25 anos, estando disponível uma revisão atualizada excelente (7); as mesmas consistem, basicamente, em:

- combustão: em forma pulverizada e em grelha (fixa ou móvel), sendo as duas comerciais, e em leito fluidizado, encontrando-se esta última em estágio de desenvolvimento tecnológico;
- carbonização: em leito fixo e em forma semi contínua, com recuperação de voláteis, já operando em grande escala;
- gaseificação em leito fixo (comercial) ou fluidizado, estando

esta última em passagem para o estágio de planta piloto;

- liquefação (o termo inclui todas as formas de "hidrogenação" dos carvões): pesquisas em escala de laboratório.

### 3. CONVERSÃO A PRODUTOS LÍQUIDOS E GASOSOS POR HPR

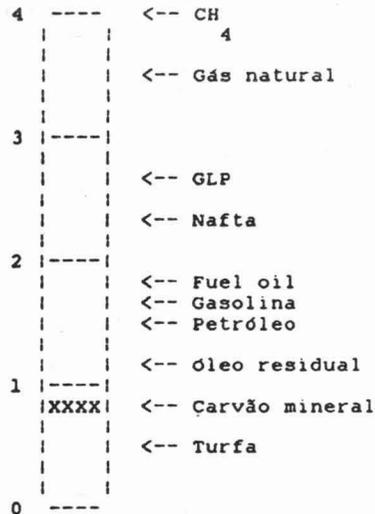
Os diferentes processos de conversão de carvões minerais, assim como de outras biomassas sólidas, se baseiam na destruição das complexas estruturas macromoleculares desses materiais a fim de obter moléculas orgânicas mais simples; em forma rigorosa, a combustão não poderia ser considerada um processo de "conversão" desde que a destruição da matéria orgânica (produzindo água e anidrido carbônico) tem por objetivo o aproveitamento direto da energia térmica resultante da reação de oxidação e não a formação de novos materiais energéticos.

A característica mais importante, e que é comum a todos os processos (exceto a combustão), é a necessidade de aumentar a relação atômica H/C nos compostos líquidos e/ou gasosos procurados, com referência à relação atômica H/C no material original, tal como pode ser apreciado do gráfico ilustrativo da Figura 2.

O LCA vem trabalhando há mais de 10 anos (8)(9)(10) no estudo das propriedades de carvões minerais e materiais de biomassas, assim como em processos de combustão fluidizada, pirólise e hidrogenação. Em particular, foi desenvolvida, com o carvão mineral de Candiota, a técnica da "hidropirólise rápida" (HPR), isto é a pirólise em atmosfera de hidrogênio pressurizado e em condições de altas velocidades de aquecimento e curtos tempos de residência (11)(12)(13). Trata-se de um reator de fluxo descendente, em escala de bancada (~ 1 kg de carvão/hora), que opera

até 900 oC e 100 atm de pressão de hidrogênio, com separação dos produtos e análise cromatográfica em linha dos mesmos.

**Figura 2:**  
Relação atômica H/C para diferentes combustíveis.



#### 4. SUGESTÕES PARA O APROVEITAMENTO DOS CARVÕES "NON-COKING"

Adotando critérios abrangentes, envolvendo os aspectos econômicos, tecnológicos, sócio-culturais e ecológicos, a idéia básica de um processo integrado é a de obter uma(s) configuração(ões) tecnológica(s) que permita(m) o aproveitamento de todos os produtos e "sub-produtos" do processo ("tecnologia sem rejeitos"), eliminando assim os resíduos e a agressão ao ecossistema, tornando economicamente viável a utilização de uma dada matéria prima e/ou a satisfação de uma determinada necessidade social.

A partir do fato que o resíduo da HPR é um material carbonáceo - por ser uma pirólise não há destruição total da matéria

orgânica - com um poder calorífico razoável e um alto conteúdo de cinzas, que pode ser queimado em forma semelhante ao carvão original, foi proposto (14) acrescentar uma etapa intermediária nos processos correntes no país de utilização dos carvões energéticos a fim de retirar deles uma série de produtos interessantes para a indústria química (uma espécie de "retirada do creme") antes da sua queima, o que está ilustrado na Figura 4 para uma condição de operação do reator de 750 °C e 80 atm de hidrogênio.

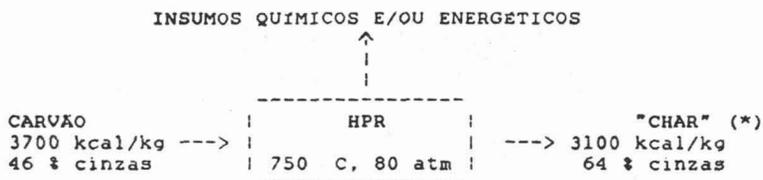


Figura 4: Idéia básica de utilização da HPR.

Tomando como referência uma escala de processo de 10 t/h de carvão, o perfil de compostos obtidos com a HPR, nessas condições de temperatura e pressão, seria o indicado pelo balanço de massa da Tabela 1.

Vários caminhos alternativos poderiam ser adotados a partir dessa composição: a) os hidrocarbonetos gasosos poderiam ser aproveitados como "gás natural sintético" (GNS), e fabricar o hidrogênio necessário a partir da reação de deslocamento do CO com vapor de água; ou b) poder-se-ia fabricar o hidrogênio a partir da reforma catalítica do metano com vapor de água; ou c) com o excesso de H<sub>2</sub> (produzido por qualquer um dos dois métodos

(\*) Resíduos de características similares são amplamente utilizados pela indústria do cimento na Bélgica.

indicados) poder-se-ia fazer uma síntese catalítica com o CO para produzir metanol ou hidrocarbonetos mais complexos (gasolina etc.) através da síntese de Fischer-Tropsch; ou d) esse excesso de H<sub>2</sub> poderia ser usado para produzir amônia; ou e) a amônia poderia ser usada junto com o CO<sub>2</sub> para fabricar uréia, que é um importante fertilizante; ou f) poderia ser realizado um craqueamento catalítico do etano para dar etileno (+ hidrogênio), que é um insumo importante na indústria de polímeros etc.

Tabela 1: Balanço de massa.  
(escala: 10 t/h)

INSUMOS	MASSA (kg/h)
Carvão	10.000
Hidrogênio	280
	-----
	10.280
PRODUTOS	MASSA (kg/h)
Resíduo	7.159
CH <sub>4</sub>	972
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	313
BTX	292
Óleos	32
CO	756
CO <sub>2</sub>	432
H <sub>2</sub> O	324
	-----
	10.280

A título de exemplo são apresentados dois casos diferentes de aplicação, usando o balanço de massa da Tabela 1.

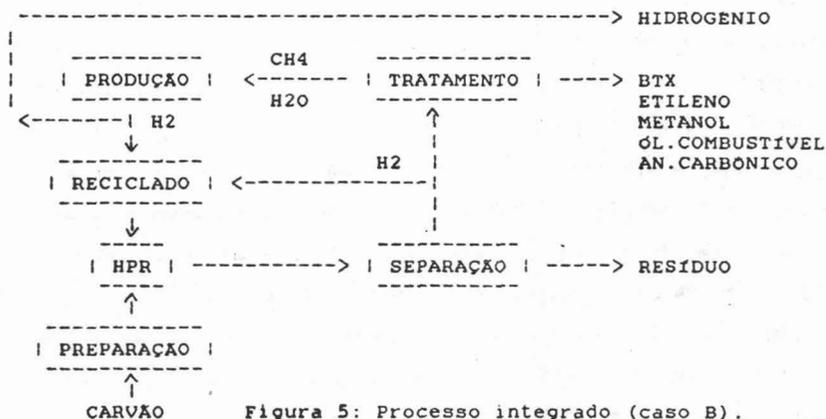
#### CASO A (14)

Neste caso, junto com o resíduo carbonáceo (devolatilizado e "limpo"), são obtidos: a fração BTX (benzeno, tolueno, xilenos), assim como o C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> obtido por craqueamento catalítico do etano; o H<sub>2</sub> é produzido pela reforma catalítica do metano com vapor de

água, sendo uma parte consumida para repor o que foi gasto na hidropirólise e o restante vai para uma planta de síntese de amônia, que a seguir é reagida com parte do CO<sub>2</sub> para fabricar uréia, e com o restante do anidrido carbônico tendo usos industriais diversos (fabricação de soda, gelo seco etc.); o oxigênio proveniente da separação do ar (realizada para obter o nitrogênio necessário à fabricação de amônia) tem amplos usos na indústria (metalurgia, gaseificação, soldagem etc.); o óleo combustível serve como energético e os finos de carvão podem ser queimados em forma pulverizada ou misturados com o óleo combustível, tecnologias já disponíveis.

## CASO B

Neste caso o processo é mais simples; junto com o resíduo carbonáceo são obtidos: a fração BTX, etileno, metanol (por síntese catalítica a partir do CO), óleo combustível e gelo seco, além da "sobra" de hidrogênio. A Figura 5 ilustra o diagrama de fluxo correspondente.



A Tabela 2 apresenta o perfil de produtos finais para ambas alternativas, considerando uma escala de 10 t de carvão/h.

Tabela 2: Perfil de produtos.  
(escala: 10 t/h)

PRODUTOS	MASSA (kg/h)	
	Caso A	Caso B
Etileno	292,1	292,1
BTX	292	292
Óleo combustível	32	32
Uréia	561,7	-
Oxigênio	327,7	-
Metanol	-	864
Hidrogênio	-	118,9
Gelo seco	20,1	432
Resíduo	7.159	7.159

Como no processo de hidropirólise (HPR) há um consumo de hidrogênio da ordem de 2-5 kg/100 kg de carvão processado, é importante ressaltar que com relação à produção de hidrogênio há atualmente, a nível mundial, vários métodos: a) por recuperação do mesmo a partir dos gases gerados nas coquearias (assim como pela recuperação dos excedentes em outras indústrias), é a denominada "limpeza do gás sujo" e o método mais antigo, usado no Brasil em grande escala; b) por gaseificação de carvão mineral, também é um método tradicional nos EUA e na Europa, estando em franco desenvolvimento na CIENTEC (15); c) por eletrólise da água, em que é consumida eletricidade no processo, é um método usado em escalas pequenas e a UNICAMP tem desenvolvido esta tecnologia (16); d) por reforma catalítica do metano ou de gasolina com vapor de água, é o método mais moderno e que está se difundindo rapidamente no mundo devido ao baixo preço do gás natural. Nestes exemplos foi utilizada a reforma de metano com vapor de água como fonte de hidrogênio.

## 5. ESTIMATIVA TECNO-ECONOMICA

O caminho percorrido desde "a idéia" até a sua utilização prática passa por diferentes estágios de P&D e industriais, os que incluem as seguintes etapas: as pesquisas básicas em laboratório; o desenvolvimento tecnológico em escala de bancada ou protótipo; o projeto conceitual e a unidade de desenvolvimento do processo; a planta piloto ou de demonstração; e a operação comercial, sendo que o avanço nesta sequência depende de uma série de fatores científico-tecnológicos, econômico-financeiros, políticos, sócio-culturais, não sempre constantes e às vezes conflitantes.

O processo de HPR aplicado a carvões minerais e biomassas, cujo desenvolvimento tem sido financiado pela FINEP, encontra-se hoje, do ponto de vista do "hardware", no estágio de desenvolvimento em escala de bancada, na qual as pesquisas realizadas têm demonstrado a viabilidade técnica do mesmo, isto é, que há conhecimentos e há tecnologia que podem ser aplicados às matérias primas nacionais, e do ponto de vista do "software", já foi apresentado um projeto conceitual que avança para o estágio seguinte na escala indicada precedentemente.

Para que esta tecnologia seja aplicável no país é necessário, porém, que ela seja economicamente viável além da viabilidade tecnológica, o que coloca a questão de uma análise sócio-econômica da mesma.

Para tal fim, o procedimento mais adequado é o de realizar uma estimativa preliminar - que inclua a escala correspondente à unidade de desenvolvimento - para logo operar o processo em uma escala piloto (ou de demonstração) e, assim, com base em dados

reais tirados da experiência, poder fazer um balanço econômico realístico que permita uma análise correta da provável viabilidade a escala comercial.

O método utilizado para esta estimativa foi o de calcular, a partir do balanço de massa expresso em kg/h resultante das experiências, a receita e a despesa (em US\$/h) correspondentes à venda dos produtos e à compra dos insumos a preços de mercado, acrescentando o custo operacional e a depreciação do investimento na coluna das despesas, obtendo assim o custo de produção (= insumos + custo operacional + depreciação), e o lucro bruto como a diferença entre a receita e o custo de produção, estimando o lucro líquido (após impostos, taxas etc.) em 50 % do bruto, valor com o qual é calculada finalmente a taxa de retorno anual do investimento.

Os custos de instalação para estes processos foram estimados com base em dados e metodologia da literatura (15) (17) (18) (19) (20) (21), sendo dessa forma possível estimar os investimentos necessários e as correspondentes escalas de processo. Assim, os valores calculados para os investimentos encontram-se na faixa de US\$ 34,9 milhões para o caso A e US\$ 24,9 milhões para o caso B, considerando para ambos uma escala de 10 t de carvão/h.

Em função disso, e adotando uma depreciação anual de 7 % (período de 15 anos), as taxas de retorno anual do investimento calculadas são, respectivamente, de 4,3 % aa e 11,7 % aa. Inversamente, se se pretende uma taxa de retorno de 20 % aa para ambos casos, seriam necessários os seguintes valores: escala de 157 t/h e investimento de US\$ 182 milhões para o caso A, e 30 t/h e US\$ 48 milhões para o caso B.

Se as estimativas são feitas para uma escala de processamento de 3 milhões de t de carvão/ano (aproximadamente a metade da produção de carvão vapor em 1986), as taxas de retorno são 28,6 % aa e 59 % aa, respectivamente para os casos A e B.

## 6. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

A HPR - processo desenvolvido na UNICAMP e aplicável a carvões minerais de baixo rango - assim como a outros materiais de biomassa, é apresentada como o elemento central de um processo integrado no qual, a partir do carvão de Candiota como exemplo, são obtidos diversos produtos químicos básicos com mercado já estabelecido no país. Trata-se, assim, de um aproveitamento adicional dos carvões minerais nacionais além dos tradicionais que operam no mercado, com possibilidades de ser viabilizado pelos insumos químicos e/ou energéticos obtidos nesse processamento prévio dos carvões brutos.

Devido, principalmente ao baixo custo do insumo e à simplicidade técnica, a economia do processo resulta atrativa inclusive para empreendimentos de porte relativamente pequeno. É interessante constatar que na Europa tem sido apresentada como uma tecnologia alternativa às já clássicas de liquefação e gaseificação (22)

A curto e meio prazo se prevê a aplicação da HPR a outros carvões minerais, visando melhorar a aplicação deste conceito. Incluem-se aqui os outros carvões de RS, assim como biomassas e resíduos orgânicos em geral.

## 7. REFERÊNCIAS

- (1) B.G.REUBEN - M.L.BURSTALL. The chemical economy, Longman, London, 1973.

- (2) P.BELOV, Fundamentals of petroleum chemicals technology, Mir Publishers, Moscow, 1970.
- (3) P.WISEMAN, An introduction to industrial organic chemistry, Applied Science Publishers Ltd., Great Britain, 1972.
- (4) Guia do Terceiro Mundo 1986, Tricontinental Editora, Lisboa.
- (5) Quem é quem na economia brasileira. 20 anos, Revista Visão, ano XXXV, No. 35A, 31 de agosto de 1986.
- (6) Balanço Energético Nacional - BEN 1987, Ministério das Minas e Energia (MME), Brasília, 1987.
- (7) M.P.FERNANDEZ ROSA - D.T.CHAZAN, Avaliação do setor carvão fóssil, Relatório CNPq 216, fevereiro 1985.
- (8) C.A.LUENGO, Coal research in Campinas, Brazil, Proceedings of a Conference "Scientific Problems of coal utilization", Morgantown, West Virginia, 1978, p.363.
- (9) J.S.V.DIAZ - R.B.PEEL - C.A.LUENGO, Liquefaction of high ash Brazilian coals, Anais do I Congresso Brasileiro de Energia, Vol.A (1978)199-205.
- (10) J.G.HERNANDEZ - I.H.CALDERÓN - C.A.LUENGO, Modelo estrutural e propriedades elétricas dos carvões brasileiros naturais e tratados termicamente, Rev.Bras.Física 11 (1982)121-143.
- (11) M.O.CENCIG - E.G.SCHUSTERMAN - U.F.SCHUCHARDT - C.A.LUENGO, Insumos químicos a partir da hidropirólise rápida de carvões, Energia 24 (1983)24-42.
- (12) M.O.CENCIG - J.R.GOMES - C.A.LUENGO, Insumos aromáticos a partir do carvão de Candiota: resultados da hidropirólise rápida, Anais do III Congresso Brasileiro de Energia, 1(1984)273-280.
- (13) M.O.CENCIG - G.J.S.CIAMPI - C.A.LUENGO, Flash hydroxyrolysis of a high ash Brazilian coal, Fuel Process. Technology 15(1987)83-7.
- (14) M.O.CENCIG - G.J.S.CIAMPI - C.A.LUENGO, Aplicações da hidropirólise rápida à conversão de carvões e biomassas, Anais do IV Congresso Brasileiro de Energia (1987)29-40.
- (15) E.M.CANEPA et alii, UNITEC-Unidade integrada de tecnologia de carvão, Anais do III Congresso Brasileiro de Energia, RJ(1984)371-379.
- (16) O Programa Hidrogênio Eletrolítico da CESP, Energia 35(1984)14-18.
- (17) M.S.SUNDARAM - M.STEINBERG - P.T.FALLON, Flash hydroxyrolysis of coal for conversion to liquids and gaseous fuels.

Summary Report BNL-51537, NY, May 1982.

- (18) Liquefação do carvão: Estado da arte, Relatório preparado para a FINEP pela SCIENTIA Engenharia de Sistemas, Desenvolvimento de Protótipos e Processos Ltda., RJ, Fevereiro de 1984.
- (19) G.BRUNNER - J.CAMARGO - R.HOFFMANN, Liquid fuels from oil shale by high-pressure hydrogen-retorting, Anais do III Congresso Brasileiro de Energia, RJ(1984)302-311.
- (20) H.BRUECKNER - W.WEHR - J.V.JARDIM DE CAMARGO, Combustão de carvão mineral em unidade de leito fluidizado, Anais do III Congresso Brasileiro de Energia, RJ(1984)243-253.
- (21) R.H.PERRY - C.H.CHILTON, Manual de Engenharia Química, Editora Guanabara Dois, Rio de Janeiro, 1980 (5a. edição).
- (22) R.CYPRES - S.FURFARI - M.GOHDSI, Hydropyrolysis - Third way for coal conversion, Erdol und Kohle 36, 10(1983)471-7.

