

IPEA/INPES
Serv. de
Documentação

TEXTOS PARA DISCUSSÃO

GRUPO DE ENERGIA

Nº XXVIII

"Análise do Consumo Energé-
tico no Setor Industrial da
Região Central do País".

Flávio Freitas Faria
Luiz Carlos Guimarães Costa

Fevereiro de 1985

Análise do consumo energético no
setor industrial da região



RJF0177/85

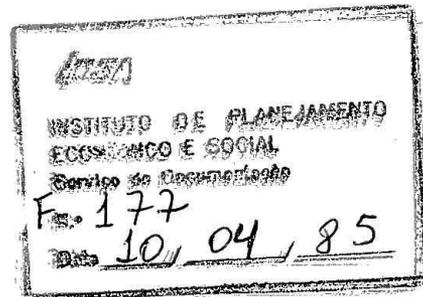
IPEA - RJ

IPEA
05-85

Tiragem: 100 exemplares

Trabalho elaborado em: Setembro de 1984

Instituto de Pesquisas do IPEA
Instituto de Planejamento Econômico e Social
Avenida Presidente Antonio Carlos, 51 - 13/17º andar
20020 Rio de Janeiro RJ
Tel.: (021) 210-2423



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

SUMÁRIO

Pág.

1-	INTRODUÇÃO	1
2-	METODOLOGIA	2
3-	FORMULAÇÃO DO MODELO DE OTIMIZAÇÃO	4
4-	BASE DE DADOS	7
	4.1- Demanda de energéticos	7
	4.2- Oferta de energéticos	10
	4.3- Custos de produção e transporte	12
5-	DEFINIÇÃO DOS CENÁRIOS	15
6-	RESULTADOS	22
7-	CONCLUSÕES	36

LISTA DE TABELAS

Tabela	1- Estimativas de demanda de energia por indústria .	9
Tabela	2- Estimativas de demanda de carvão vegetal no setor siderúrgico de Minas Gerais	10
Tabela	3- Estimativas de oferta de carvão vegetal por região	11
Tabela	4- Estimativas de custo de produção de carvão vegetal a partir de floresta plantada	14
Tabela	5- Distâncias (Km) rodoviárias aproximadas entre pólos de consumo e fontes de oferta de óleo combustível, carvão mineral e vegetal	16
Tabela	6- Custo total de produção (sem taxa de remuneração para reflorestamento) estimado de fornecimento de óleo combustível, carvão mineral e carvão vegetal das diversas origens para os pólos de consumo . . .	17
Tabela	7- Custo total de produção e transporte (sem taxa de remuneração para reflorestamento) estimado de fornecimento de óleo combustível, carvão mineral e carvão vegetal das diversas origens para os pólos de consumo	18
Tabela	8- Custos de produção e transporte do carvão vegetal proveniente de floresta plantada (US\$/t)	19
Tabela	9- Custos de produção e transporte do carvão vegetal proveniente de floresta plantada (US\$/Gcal) . . .	20
Tabela	10- Resumo dos principais parâmetros dos cenários propostos	22
Tabela	11- Consumo total dos energéticos para os cenários estudados - 1982	23
Tabela	12- Consumo total dos energéticos para os cenários estudados - 1985	34

ANÁLISE DO CONSUMO ENERGÉTICO NO SETOR
INDUSTRIAL DA REGIÃO CENTRAL DO PAÍS * (1)

Flávio Freitas Faria **

Luiz Carlos Guimarães Costa **

1 - INTRODUÇÃO

O presente estudo trata da análise do consumo de óleo combustível, carvão mineral e carvão vegetal no setor industrial de uma região compreendendo os Estados do Espírito Santo, Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso do Sul. Grande parte deste consumo é realizado nas indústrias cimenteiras, que por este motivo foram tomadas como principais geradoras de demanda para aplicação inicial do modelo proposto. Estas indústrias têm sido tradicionais consumidoras de óleo combustível e, com o estímulo e as vantagens concedidas pelo Governo Federal, algumas passaram recentemente a consumir carvão mineral. Em consequência de tal disponibilidade de carvão mineral subsidiado, as indústrias pouco têm utilizado o carvão vegetal existente na própria região.

Este estudo tem por escopo determinar a alocação ótima de consumo dos três energéticos (óleo combustível, carvão mineral e carvão vegetal) na região indicada, de forma a minimizar os custos envolvidos na produção e distribuição dos mesmos, e em

* Para a realização deste trabalho foi essencial a ajuda inestimável no tocante à coleta de dados dos seguintes órgãos: IBDF, GEIPOT, PETROBRÁS, CAEEB e CNP. Os autores agradecem a Roberto Garcia (PETROBRÁS) e Ronald Castello Branco (IBDF) pelas sugestões recebidas e a Ricardo Santiago (IPEA) e Octávio Tourinho (IPEA) pela coordenação conjunta. Agradecimentos especiais devem ser feitos ao auxiliar de pesquisa Ernesto Cordeiro Marujo (ITA) e a Maria do Carmo Zago (ASCON - São José dos Campos) pela eficiência na diagramação e datilografia do original deste trabalho.

** Do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) de São José dos Campos, São Paulo.

(1) Este trabalho é uma versão atualizada do TDE nº 9 de junho de 1982.

seguida realizar uma análise de sensibilidade da solução obtida em relação aos principais parâmetros do problema.

Na seção seguinte é feita uma abordagem mais precisa do problema, sendo explicitadas as principais hipóteses consideradas na formulação do modelo correspondente. É então apresentada a formulação do modelo de otimização por programação linear que servirá à determinação de quantidades ótimas de consumo de cada energético, em cada pólo de consumo, em cada período considerado.

Nas Seções 4, 5 e 6 desenvolve-se a aplicação do modelo ao caso em estudo: na Seção 4 é apresentada a base de dados utilizada, na Seção 5 são definidos os cenários de aplicação do modelo e na Seção 6 são relacionados os resultados desta aplicação e efetuada a análise dos mesmos.

2 - METODOLOGIA

O problema de otimização do consumo de energéticos numa dada região deve ser tratado em duas etapas. Na primeira são determinadas as quantidades de cada energético que deveriam ser consumidas em cada pólo e a partir de que fonte de oferta deveria ser feito este abastecimento. A solução assim obtida tem caráter exclusivamente normativo, não coincidindo necessariamente com as decisões que os diversos agentes econômicos tomariam diante do quadro de preços e de disponibilidade dos diferentes energéticos. Numa segunda etapa deveriam ser então analisados os mecanismos disponíveis que poderiam levar os consumidores a adotarem solução próxima à indicada pelo modelo de otimização. Dentre estes mecanismos, os mais importantes são: a política de preços relativos dos energéticos, as vantagens creditícias e fiscais para adoção de um dado energético e o compromisso governo-indústria de empreendimento de substituição. O presente trabalho refere-se à primeira das etapas citadas.

No desenvolvimento desta primeira etapa será implicitamente feita a hipótese de que a otimização do perfil de consumo da região que foi estudada não virá prejudicar o perfil de uma outra por ora não considerada. Isto de fato ocorrerá se houver excesso de oferta dos energéticos provenientes destas outras regiões.

Outra hipótese inicial importante no tratamento dado ao problema é a de perfeita substituibilidade entre energéticos nas indústrias consumidoras. Uma restrição de composição de consumo é proposta no modelo de otimização de forma a permitir limitar esta característica. Ainda assim, pela forma de definição do modelo, consumidores cativos de um energético deverão ser preferencialmente estudados fora do mesmo, sendo também subtraídas da oferta total suas respectivas demandas. Como o modelo tem caráter estático, sendo analisado um período de tempo por vez, deve ser admitida a possibilidade de reversão do consumo de um para outro energético, embora esta não deva ocorrer em termos radicais se não forem efetuadas mudanças bruscas nos custos e disponibilidades dos energéticos, ou nas demandas de energia.

Cabe ainda observar o tratamento discretizado adotado não somente com relação ao tempo, o que implica admitir custos e demais condições constantes no período, mas também em relação aos consumidores e às unidades produtoras ou distribuidoras dos energéticos. O tratamento discretizado destes agentes supõe a possibilidade de identificá-los a nível microeconômico ou, ao agregá-los sob a mesma denominação, ter assegurada a sua homogeneidade com relação aos parâmetros relevantes do problema. No caso estudado foram consideradas exclusivamente: as indústrias cimenteiras, que, por sua importância individual e número relativamente pequeno, foram incluídas como consumidores isolados; e as indústrias de ferro gusa, que, por estarem geograficamente próximas e apresentarem demanda cativa de carvão vegetal, tiveram tratamento agregado.

Do ponto de vista das fontes de oferta, a discretização é verdadeira no que concerne ao óleo combustível e ao carvão mine

ral, sendo apenas uma aproximação, contudo, para o carvão vegetal, cuja produção é muitas vezes espalhada dentro da região, embora considerada no modelo como centrada em um ponto.

3 - FORMULAÇÃO DO MODELO DE OTIMIZAÇÃO

O modelo de otimização do consumo dos energéticos tem uma ótica social, objetivando assegurar a minimização dos custos envolvidos na produção e distribuição dos mesmos. Como a atual política de preços dos energéticos considerados não reflete integralmente a correspondente estrutura de custos, a otimização do ponto de vista social não coincide necessariamente com as decisões tomadas em caráter privado, por cada indústria, de forma a maximizar seus próprios lucros.

Dentro deste tipo de abordagem, as variáveis de decisão, em cada ano, com as respectivas unidades indicadas entre parênteses, são:

q_{ijk} (t) - quantidade do energético i a ser fornecida ao pólo de consumo j , a partir da fonte de oferta k .

Os valores a serem obtidos como solução representam um ideal macroeconômico e não podem ser entendidos como quantidades que as empresas autonomamente decidiram consumir.

Para a determinação destas quantidades, deve ser minimizado um somatório composto por parcelas de custos de produção e de custos de transporte calculadas a partir dos custos unitários:

CP_{ik} (\$/t) - custo unitário de produção do energético i posto na fonte k ; e

CT_{ijk} (\$/t) - custo unitário de transporte do energético i , a partir da fonte k , para o pólo de consumo j .

Esta minimização está sujeita a restrições dadas em função dos seguintes parâmetros:

- D_j (Gcal) - demanda anual de energia no pólo de consumo j ;
- P_{ij} - participação máxima (em Gcal) do energético i no atendimento da demanda do pólo de consumo j ;
- R_i (Gcal/t) - coeficiente de rendimento do energético i , englobando o poder calorífico e eficiência na queima do mesmo; e
- S_{ik} (t) - capacidade anual de oferta do energético i pela fonte k .

O modelo de otimização inclui as seguintes restrições:

- atendimento de demanda

$$\sum_i R_i \sum_k q_{ijk} = D_j \quad j$$

- composição do consumo

$$\sum_k q_{ijk} \leq P_{ij} \sum_i \sum_k q_{ijk} \quad i, j$$

- limitação de oferta

$$\sum_j q_{ijk} \leq S_{ik} \quad i, k$$

A função objetivo do modelo, por sua vez, é expressa pela minimização do custo anual total:

$$Z = \sum_i \sum_j \sum_k (CP_{ik} + CT_{ijk}) q_{ijk}$$

O modelo acima formulado tem caráter estático, por fugir ao escopo deste estudo a análise detalhada de aspectos de transição, tais como prazos de conversão de demanda e de maturação da oferta de energéticos, vinculação do perfil de consumo aos perfis de períodos anteriores, etc. Admite-se ainda que cada pólo poderá consumir num mesmo ano energéticos diferentes, respeitadas as restrições de composição de consumo.

Do ponto de vista da operacionalidade do modelo, energéticos transportados por rotas diferentes, ainda que provenientes de uma mesma fonte, são considerados como oriundos de fontes diferentes.

Alguns aspectos relevantes do problema, que não puderam ser incluídos na aplicação do modelo descrita a seguir, foram tratados exogenamente. Em aplicações futuras, o modelo deverá ser estendido de forma a traduzir explicitamente tais aspectos, dentre os quais podem ser destacados:

a) limitação na capacidade de transporte em dada rota, que seria expressa por restrição do tipo:

$$q_{ijk} \leq MT_{ijk}$$

onde MT_{ijk} (t) seria a capacidade máxima anual de transporte do energético i , originário da fonte k , para o pólo de consumo j ;

b) limitação no consumo de diesel para o transporte dos energéticos para os pólos de consumo, expressa por:

$$\sum_i \sum_k DC_{ijk} \cdot q_{ijk} \leq G_j$$

onde G_j (m^3) seria o limite em questão e DC_{ijk} (m^3/t) seria o consumo unitário de óleo diesel para o transporte do energético i da fonte k ao pólo de consumo j e retorno do veículo vazio;

c) limitação no número de energéticos diferentes a serem usados em um mesmo pólo de consumo, que exigiria a utilização de variáveis lógicas binárias da seguinte maneira:

$$\left. \begin{array}{l} b_{ij} = 1 \quad i / \sum_k q_{ijk} > 0 \\ \sum_i b_{ij} \leq N_j \end{array} \right\} j$$

onde b_{ij} seria a variável binária indicando a ocorrência (= 1), ou não (= 0), de consumo do energético i no pólo j e N_j seria o limitante em questão para cada pólo; e

d) inclusão de custos de aquisição e de conversão de equipamentos para consumo de um energético atualmente não utilizado, com base nas mesmas variáveis binárias acima descritas, acrescentando-se à função objetivo o termo:

$$\sum_j CK_{ij} b_{ij}$$

onde CK_{ij} (\$) seria o custo anualizado de conversão de equipamentos do pólo de consumo j para utilização do energético i (que seria nulo para os energéticos já consumidos).

A introdução destas extensões no modelo, principalmente quando envolvendo variáveis binárias, torna mais trabalhosa a sua aplicação e significativamente mais lento o processamento em computador. O tratamento exógeno das mesmas pode, em muitos casos, ser preferível, ainda que isto possa redundar numa alteração da solução ótima indicada pelo modelo.

4 - BASE DE DADOS

Procurou-se aqui apresentar em detalhe a base de dados utilizada neste estudo, as principais hipóteses e cálculos intermediários empregados na sua elaboração e os parâmetros efetivamente utilizados. Isto foi feito objetivando permitir realimentações posteriores em qualquer das etapas citadas.

4.1 - Demanda de Energéticos

Os rendimentos energéticos dos combustíveis foram estimados a partir de seus respectivos poderes caloríficos, com a inclusão de algumas hipóteses no tocante a perdas usuais quando de sua utilização.

Os poderes caloríficos utilizados foram: 10,8 Gcal/t para o óleo combustível, 4,9 Gcal/t para o carvão mineral e 6,8 Gcal/t para o carvão vegetal, admitindo-se um rendimento médio no equipamento de queima de 80% para o óleo combustível, 70% para o carvão mineral e 75% para o carvão vegetal. Assim os rendimentos energéticos utilizados como dados para o modelo foram expressos através dos seguintes coeficientes: 8,64 Gcal/t para o óleo combustível, 3,43 Gcal/t para o carvão mineral e 5,10 Gcal/t para o carvão vegetal.

As indústrias cimenteiras selecionadas como pólos de consumo, uma no Espírito Santo, duas em Goiás, no Distrito Federal e no Mato Grosso do Sul, e 11 em Minas Gerais, são apresentadas na Tabela 1, com suas respectivas estimativas de demanda de energia (em Gcal) para os anos de 1982 e 1985. Estas estimativas tiveram como base a previsão de produção de cimento para aquelas indústrias fornecida pelo Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC), admitindo-se, para o processo de via seca, consumos energéticos de 734 Gcal/kg de cimento ou 0,085 t de óleo combustível/t de cimento e, para o processo de via úmida, respectivamente, 1.296 Gcal/kg ou 0,150 t de óleo combustível/t. Para as indústrias que possuem fornos de ambos os processos, o consumo energético foi estimado por média ponderada em relação ao número de fornos de cada tipo. Para as indústrias sobre as quais não se obteve informação quanto ao processo de produção, foi adotada uma ponderação dos índices de via seca e de via úmida, com pesos de 71,5% para o primeiro processo e de 28,5% para o segundo, resultando taxas médias de 868 Gcal/kg ou 0,1005 t de óleo combustível/t de cimento.

Em acréscimo ao consumo energético das indústrias cimenteiras, foi também considerada, dado o seu volume significativo, a demanda de carvão vegetal do setor siderúrgico, compreendendo as indústrias integradas e os guseiros independentes. A demanda nas siderúrgicas foi estimada à razão de 0,55 t de carvão vegetal/t de aço, de acordo com índices contidos em estudo da FINEP. Pa

TABELA 1

ESTIMATIVAS DE DEMANDA DE ENERGIA POR INDÚSTRIA

UF	INDÚSTRIA CIMENTEIRA	TIPO	CIDADE	ESTIMATIVAS			
				1982		1985	
				Produção de Cimento (10 ³ t)	Demanda de Energia (10 ³ Gcal)	Produção de Cimento (10 ³ t)	Demanda de Energia (10 ³ Gcal)
ES	01 - Itabira	VS	Cachoeiro do Itapemirim	970	890	970	890
MG	02 - Barroso	VU	Barroso	1.250	1.806	1.250	1.806
MG	03 - Tupi	VS	Carandaí	500	459	500	459
MG	04 - Itaú	VU	Contagem	460	745	460	745
MG	05 - Cauês	VS	Pedro Leopoldo	530	487	530	487
MG	06 - Ciminás	VS	Pedro Leopoldo	1.000	918	2.000	1.836
MG	07 - Soeicom	VS	Lagoa Santa	1.000	918	1.000	918
MG	08 - Comincim	VU	Matosinho	1.000	1.269	1.000	1.269
MG	09 - Matsulfur	VS	Montes Claros	1.060	973	1.060	973
MG	10 - Itaú	VU	Pratópolis	700	888	900	1.142
MG	11 - Ponte Alta	VS	Uberaba	150	138	150	138
MG	12 - Pains	VU	Arcos	130	211	130	211
DF	13 - Ciplan	*	Brasília	270	302	270	302
DF	14 - Tocantins	*	Brasília	400	447	400	447
GO	15 - Rio Branco	*	Corumbá de Goiás	280	313	280	313
GO	16 - Goiás	*	Palmeira de Goiás	650	727	650	727
MS	17 - Corumbá	*	Corumbá	300	335	300	335
MS	18 - Itaú	*	Três Lagoas	600	671	600	671
TOTAL				11.250	12.497	12.450	13.669

VS = via seca
 VU = via úmida
 * = sem informação.

ra os guseiros, o coeficiente técnico correspondente é de 0,92 t de carvão vegetal/t de gusa, segundo publicação do STI/MIC. Adotando tais coeficientes para níveis de produção previstos, com valores conservadores em relação às estatísticas oficiais, têm-se as estimativas de demanda dadas na Tabela 2 abaixo.

TABELA 2

ESTIMATIVAS DE DEMANDA DE CARVÃO VEGETAL NO
SETOR SIDERÚRGICO DE MINAS GERAIS (10³ t)

	1982	1983	1984	1985
Siderúrgicas Integradas	2.118	2.274	2.366	2.433
Guseiros Independentes	2.200	2.300	2.400	2.600
TOTAL	4.318	4.574	4.766	5.033

Foram consideradas ainda as metas do protocolo MIC/CONSIDER de substituição em 1985 de no mínimo 50% do carvão vegetal originário de floresta nativa por carvão vegetal originário de floresta plantada.

4.2 - Oferta de energéticos

A oferta de óleo combustível foi considerada ilimitada dentro do horizonte deste estudo. A oferta de carvão mineral foi admitida como sendo de $3,9 \times 10^6$ t/ano, sendo 1/3 proveniente do Rio Grande do Sul e 2/3 de Capivari (Santa Catarina). Na Tabela 3 são apresentadas as fontes de produção de carvão vegetal consideradas com suas respectivas capacidades de oferta em 1982 e em 1985, sendo seis em Minas Gerais (correspondendo às regiões de planejamento do Estado, ou a agregações das mesmas), uma em Goiás, uma em Mato Grosso do Sul e uma na Bahia, provenientes de

TABELA 3

ESTIMATIVAS DE OFERTA DE CARVÃO VEGETAL POR REGIÃO

UF	REGIÃO	CENTRO	TOPOGRAFIA	ORIGEM DO CARVÃO VEGETAL	OFERTA ESTIMADA (10 ³ t)	
					1982	1985
MG	V1 - Metalúrgica	João Monlevade	Acidentada	Plantado	338,3	444,7
MG	V2 - Triângulo Mineiro	Uberaba	Plana	Plantado	596,4	782,8
MG	V3 - Alto São Francisco	Curvelo	Plana	Plantado	176,4	231,5
MG	V4 - Noroeste	Januária	Plana	Plantado	489,6	639,7
MG	V5 - Jequitinhonha	Itaobim	Plana	Plantado	452,5	594,0
MG	V6 - Mata e Rio Doce	Governador Valadares	Acidentada	Plantado	234,4	307,6
BA	V7 - Bahia	Cocos	Acidentada	Plantado	0,0	42,9
GO	V8 - Goiás	Cristalina	Plana	Plantado	24,5	62,1
MS	V9 - Mato Grosso do Sul	Ribas do Rio Pardo	Plana	Plantado	124,3	260,0
MG	VN - Noroeste	Januária		Nativo	2.000,0	0,0
				Nativo	2.000,0	0,0
TOTAIS				Plantado	2.436,9	3.365,3

florestas plantadas, e apenas uma, em Minas Gerais, oriunda de floresta nativa.

As estimativas de oferta de carvão vegetal relativas a Minas Gerais foram obtidas a partir do valor total para o Estado, apresentado em estudo desenvolvido pelo Instituto de Desenvolvimento Industrial (INDI) daquele Estado, rateando-se a produção proporcionalmente à área plantada. Em virtude da redução de plantio do ano de 1979 para o de 1980, foi considerada uma diminuição de cerca de 40% na disponibilidade prevista de carvão vegetal de floresta plantada para o Estado em 1985.

As demais estimativas de oferta de carvão vegetal foram construídas a partir de dados fornecidos pelo IBDF referentes a projetos de reflorestamento previstos para os Estados em questão. A transformação dos dados originais, obtidos em hectares de floresta plantada, para toneladas de carvão vegetal foi feita adotando-se as seguintes hipóteses: densidade do carvão vegetal = $0,25 \text{ t/m}^3$, corte de árvores ao final do sexto ano após plantadas, com média de 90 estéreos/ha plantados e proporção de $2,2 \text{ estéreos/m}^3$ de carvão vegetal. Em função de dúvidas existentes quanto à real dimensão dos projetos de reflorestamento efetivamente implantados, foi feita a hipótese de realização efetiva de apenas 40% dos mesmos. Os valores utilizados poderão ser oportunamente revistos quando estiverem disponíveis os resultados do levantamento do IBDF, ora em curso.

Foram considerados como fontes de produção de óleo combustível os postos de abastecimento da PETROBRÁS localizados em Betim (Minas Gerais) e Paulínia (São Paulo) e de carvão mineral os entrepostos da CAEEB localizados em Sorocaba (São Paulo) e Matosinho (Minas Gerais).

4.3 - Custos de produção e transporte

O custo de produção do óleo combustível foi estimado para 1982 em US\$ 190/t, média de preços do mercado internacional,

já computadas as flutuações sazonais que normalmente ocorrem e incluindo parcela de remuneração do capital. Este valor, obtido junto à PETROBRÁS, foi considerado idêntico para os dois postos de abastecimento (CIF-refinaria), devido às informações fornecidas pela empresa relativas à pequena magnitude do custo de transporte interno do petróleo por oleoduto. Para o ano de 1985 foi estimado um custo de US\$ 202/t, obtido por projeção de elevação anual de 2%, em termos reais, sobre o valor de 1982.

O custo de transporte do óleo combustível foi estimado através de tabela de fretes fornecida pela PETROBRÁS, considerando-se, sempre que existente a possibilidade, o transporte ferroviário, de menor custo, complementado onde necessário pelo rodoviário.

Para o carvão mineral, do tipo CV-35, consumido pela indústria de cimento e produzido pelas minas dos Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, seus custos de produção incluindo remuneração do capital foram estimados através dos preços pagos ao produtor à saída da mina, estipulados por portaria do Conselho Nacional do Petróleo (CNP). Foram adotados os valores de US\$ 43,8/t para o carvão mineral originário do Rio Grande do Sul e de US\$ 46,3/t para o carvão originário de Capivari (Santa Catarina).

Os custos de transporte do carvão mineral dos dois entrepostos da CAEEB até as indústrias de cimento dos Estados de Minas Gerais e do Espírito Santo foram obtidos junto à FINEP e ao IPEA. Tais valores foram estimados, quando utilizado o transporte rodoviário, com a aplicação de índices idênticos aos de transporte de carvão vegetal, obtidos em tabela de fretes fornecida pela Associação Brasileira de Carvão Vegetal (ABRACAVE).

Os custos de produção do carvão vegetal foram obtidos de estudo recente da PETROBRÁS, estratificados pela topografia das regiões, tendo sido consideradas diversas taxas de remuneração, conforme Tabela 4, a seguir.

TABELA 4

ESTIMATIVAS DE CUSTO DE PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL A PARTIR DE FLORESTA PLANTADA

TAXA INTERNA DE RETORNO	TOPOGRAFIA/REGIÃO					
	Acidentada (Vale do Rio Doce)		Plana (Bom Despacho)		Plana (Carbonita)	
	Cr\$/m ³	US\$/t	Cr\$/m ³	US\$/t	Cr\$/m ³	US\$/t
0	3.666,62	141,02	2.738,34	105,32	2.584,45	99,40
5	4.175,78	160,61	3.145,09	120,97	2.911,03	111,96
10	4.894,88	188,26	3.661,23	140,82	3.324,36	127,86
15	5.853,41	225,13	4.290,51	165,02	3.827,63	147,22
20	7.080,30	272,32	5.034,35	193,63	4.422,54	170,10

Data ref.: set./81

Para as estimativas dos custos de transporte do carvão vegetal foi construída inicialmente a matriz de distâncias, constantes na Tabela 5, entre as fontes de produção e os pólos de consumo, com dados obtidos junto ao DNER, não sendo consideradas as distâncias acima de 1.000 quilômetros, quando existentes diversas outras possibilidades mais próximas de oferta do mesmo energético para o pólo de consumo em questão.

A partir das distâncias citadas, com a utilização da tabela de fretes por faixas de distâncias fornecida pela ABRACAVE para transporte rodoviário, foram estimados os custos de transporte para o carvão vegetal.

Na Tabela 6 são apresentados os custos totais, de produção (com remuneração de 0% ao capital empregado em plantio de floresta para obtenção de carvão vegetal) mais transporte, das fontes de produção aos pólos de consumo, em US\$/t para os energéticos considerados. Na Tabela 7, estes mesmos custos são dados em US\$/Gcal, com as respectivas eficiências na queima já computadas nesta conversão. As Tabelas 8 e 9 apresentam os custos totais para o carvão vegetal com remuneração de 8% e de 15% ao capital aplicado em reflorestamento.

Todos os custos de produção e transporte apresentados referem-se a janeiro de 1982, exceto quando explicitamente indicados. Para 1985 foi admitida a manutenção da mesma estrutura de preços relativos, com exceção da elevação real anual de 2% prevista para o custo do óleo combustível. Para as conversões necessárias foram adotadas as seguintes taxas cambiais médias: US\$1,00 = Cr\$ 104,00 (setembro de 1981), US\$ 1,00 = Cr\$ 115,00 (outubro de 1981), US\$ 1,00 = Cr\$ 132,00 (janeiro de 1982), US\$ 1,00 = Cr\$ 145,00 (março de 1982), US\$ 1,00 = Cr\$ 154,00 (abril de 1982).

5 - DEFINIÇÃO DOS CENÁRIOS

A aplicação do modelo apresentado na Seção 3 ao problema em questão foi realizada através do processamento de seis cenários.

TABELA 5

DISTÂNCIAS (Km) RODOVIÁRIAS APROXIMADAS ENTRE PÓLOS DE CONSUMO E FONTES DE OFERTA DE ÓLEO COMBUSTÍVEL, CARVÃO MINERAL E VEGETAL

FONTES DE OFERTA	PÓLOS DE CONSUMO																
	01 - Cachoeiro do Itapemirim (ES)	02 - Barroso (MG)	03 - Carandaí (MG)	04 - Contagem (MG)	05 - Pedro Leopoldo (MG)	06 - Lagoa Santa (MG)	07 - Matosinho (MG)	08 - Montes Claros (MG)	09 - Patópolis (MG)	10 - Uberaba (MG)	11 - Arcos (MG)	12 - Brasília (DF)	13 - Corumbá de Goiás (GO)	14 - Palmeira de Goiás (GO)	15 - Corumbá (MS)	16 - Três Lagoas (MG)	17 - João Monlevade
C1 - Betim (MG)	502	246	177	40	106	106	114	446	379	460	184	754	928	960	-	-	-
C2 - Paulínia (SP)	858	492	569	566	633	633	641	998	356	393	496	932	923	915	1.431	705	-
M1 - Sorocaba (SP)	858	575	652	649	716	716	724	-	429	577	569	1.006	997	989	1.431	705	-
M2 - Matosinho (MG)	523	271	194	80	8	44	0	373	468	549	273	682	829	970	-	-	-
V1 - João Monlevade (MG)	341	338	261	152	174	174	182	539	540	621	345	847	-	-	-	-	0
V2 - Uberaba (MG)	962	705	628	549	541	541	549	906	200	0	334	536	657	649	1.294	518	701
V3 - Curvelo (MG)	635	367	290	182	137	173	129	244	580	661	385	653	800	941	-	-	294
V4 - Januária (MG)	-	795	718	600	554	590	546	172	997	887	805	885	-	-	-	-	712
V5 - Itaobim (MG)	-	836	759	645	672	672	680	-	-	-	843	-	-	-	-	-	487
V6 - Governador Valadares (MG)	370	535	458	344	371	371	379	736	737	818	542	-	-	-	-	-	196
V7 - Cocos (BA)	-	-	-	927	877	907	869	495	-	-	-	662	825	966	-	-	1.039
V8 - Cristalina (GO)	-	798	721	607	557	587	549	580	603	403	673	133	280	421	-	921	719
V9 - Ribas do Rio Pardo (MS)	-	-	-	990	-	-	-	-	781	768	-	-	-	-	526	250	-

TABELA 6

CUSTO TOTAL DE PRODUÇÃO E TRANSPORTE (SEM TAXA DE REMUNERAÇÃO PARA REFLORESTAMENTO) ESTIMADO DE FORNECIMENTO DE ÓLEO COMBUSTÍVEL, CARVÃO MINERAL E CARVÃO VEGETAL DAS DIVERSAS ORIGENS PARA OS PÓLOS DE CONSUMO (US\$/t)

FONTES DE OFERTA	PÓLOS DE CONSUMO																
	01 - Cachoeiro do Itapemirim (ES)	02 - Barroso (MG)	03 - Carandaí (MG)	04 - Contagem (MG)	05 - Pedro Leopoldo (MG)	06 - Lagoa Santa (MG)	07 - Matosinho (MG)	08 - Montes Claros (MG)	09 - Pratápolis (MG)	10 - Uberaba	11 - Arcos (MG)	12 - Brasília (DF)	13 - Corumbá de Goiás (GO)	14 - Palmeira de Goiás (GO)	15 - Corumbá (MS)	16 - Três Lagoas (MG)	17 - João Monlevade
C1 - Betim (MG)	209,0	199,3	196,7	191,5	195,8	195,8	195,9	208,8	204,4	212,7	203,6	233,5	255,8	269,5	-	-	-
C2 - Paulínia (SP)	-	-	-	-	-	-	-	-	198,1	198,9	-	-	-	-	240,8	215,0	-
M1 - Sorocaba (SP)	-	-	-	-	-	-	-	-	89,8	90,9	-	-	-	-	128,6	100,9	-
M2 - Matosinho (MG)	83,9	83,0	83,0	94,1	91,9	91,9	91,9	105,0	108,7	110,1	100,8	126,2	132,4	137,0	-	-	-
V1 - João Monlevade (MG)	168,9	168,9	166,7	164,6	164,6	164,6	164,6	176,0	176,0	179,6	168,9	187,6	-	-	-	-	152,0
V2 - Uberaba (MG)	151,4	142,3	139,0	135,4	135,4	135,4	135,4	151,4	124,0	111,4	128,3	135,4	140,9	139,0	158,7	135,4	140,9
V3 - Curvelo (MG)	139,0	130,3	126,1	124,0	121,2	124,0	121,2	125,2	137,2	140,9	130,3	140,9	144,1	151,4	-	-	128,3
V4 - Januária (MG)	-	132,1	130,3	125,2	125,2	125,2	123,4	112,0	139,4	135,0	135,0	135,0	-	-	-	-	130,3
V5 - Itaobim (MG)	-	135,0	132,1	127,0	128,9	128,9	128,9	-	-	-	135,0	-	-	-	-	-	123,4
V6 - Governador Valadares (MG)	170,9	176,0	174,6	168,9	170,9	170,9	170,9	182,9	182,9	187,6	176,0	-	-	-	-	-	165,9
V7 - Cocos (BA)	-	-	-	192,0	187,6	192,0	177,8	174,6	-	-	-	181,5	187,6	192,0	-	-	184,7
V8 - Cristalina (GO)	-	132,1	130,3	127,0	125,2	125,2	123,4	125,2	127,0	120,0	130,3	109,2	114,1	130,0	-	139,4	130,3
V9 - Ribas do Rio Pardo (MS)	-	-	-	139,4	-	-	-	-	132,1	132,1	-	-	-	-	123,4	113,2	-
VN - Januária (MG)	-	76,5	74,7	69,6	69,6	69,6	67,8	56,4	83,8	79,4	79,4	79,4	-	-	-	-	74,7

TABELA 7

CUSTO TOTAL DE PRODUÇÃO E TRANSPORTE (SEM TAXA DE REMUNERAÇÃO PARA REFLORESTAMENTO) ESTIMADO DE FORNECIMENTO DE
ÓLEO COMBUSTÍVEL, CARVÃO MINERAL E CARVÃO VEGETAL DAS DIVERSAS ORIGENS PARA OS PÓLOS DE CONSUMO (US\$/Gcal)

FONTES DE OFERTA	PÓLOS DE CONSUMO																
	01 - Cachoeiro do Itapemirim	02 - Barroso (MG)	03 - Carandaí (MG)	04 - Contagem (MG)	05 - Pedro Leopoldo (MG)	06 - Lagoa Santa (MG)	07 - Matosinho (MG)	08 - Montes Claros (MG)	09 - Prataópolis	10 - Uberaba	11 - Arcos (MG)	12 - Brasília (DF)	13 - Corumbá de Goiás (GO)	14 - Palmeira de Goiás (GO)	15 - Corumbá (MS)	16 - Três Lagoas (MG)	17 - João Monlevade
C1 - Betim (MG)	24,2	23,1	22,8	22,2	22,7	22,7	22,7	24,2	23,7	24,6	23,6	27,0	29,0	31,2	-	-	-
C2 - Paulínia (SP)	-	-	-	-	-	-	-	-	22,9	23,0	-	-	-	-	27,9	24,9	-
M1 - Sorocaba (SP)	-	-	-	-	-	-	-	-	26,2	26,5	-	-	-	-	37,5	29,4	-
M2 - Matosinho (MG)	24,5	24,2	24,2	27,4	26,8	26,8	26,8	30,6	31,7	32,1	29,4	36,8	38,6	39,9	-	-	-
V1 - João Monlevade (MG)	33,1	33,1	32,7	32,3	32,3	32,3	32,3	34,5	34,5	35,2	33,1	36,8	-	-	-	-	29,8
V2 - Uberaba (MG)	29,7	27,9	27,3	26,6	26,6	26,6	26,6	29,7	24,3	21,8	25,2	26,6	27,6	27,3	31,1	26,6	27,6
V3 - Curvelo (MG)	27,3	25,6	24,7	24,3	23,8	24,3	23,8	24,6	26,9	27,6	25,6	27,6	28,3	29,7	-	-	25,2
V4 - Januária (MG)	-	25,9	25,6	24,6	24,6	24,6	24,2	22,0	27,3	26,5	26,5	25,5	-	-	-	-	25,6
V5 - Itaobim (MG)	-	26,5	25,9	24,9	25,3	25,3	25,3	-	-	-	26,5	-	-	-	-	-	24,2
V6 - Governador Valadares (MG)	33,5	34,5	34,2	33,1	33,5	33,5	33,5	35,9	35,9	36,8	34,5	-	-	-	-	-	32,5
V7 - Cocos (BA)	-	-	-	37,7	36,8	37,7	34,9	34,2	-	-	-	35,6	36,8	37,7	-	-	36,2
V8 - Cristalina (GO)	-	25,9	25,6	24,9	24,6	24,6	24,2	24,6	24,9	23,5	25,6	21,4	22,4	25,5	-	27,3	25,6
V9 - Ribas do Rio Pardo (MS)	-	-	-	27,3	-	-	-	-	25,9	25,9	-	-	-	-	24,2	22,2	-
VN - Januária (MG)	-	15,0	14,7	13,7	13,7	13,7	13,3	11,1	16,4	15,6	15,6	15,6	-	-	-	-	14,7

TABELA 8

CUSTOS DE PRODUÇÃO E TRANSPORTE DO CARVÃO VEGETAL PROVENIENTE DE FLORESTA PLANTADA (US\$/t)

FONTES DE OFERTA	PÓLOS DE CONSUMO																	
	01 - Cachoeiro do Itaipemirim (ES)	02 - Barroso (MG)	03 - Carandaí (MG)	04 - Contagem (MG)	05 e 06 - Pedro Leopoldo (MG)	07 - Lagoa Santa (MG)	08 - Matosinho (MG)	09 - Montes Claros (MG)	10 - Pratápolis (MG)	11 - Uberaba (MG)	12 - Arcos (MG)	13 e 14 - Brasília (DF)	15 - Corumbá de Goiás (GO)	16 - Palmeira de Goiás (GO)	17 - Corumbá (MS)	18 - Três Lagoas (MG)	GU - João Monlevade	
Taxa Interna de Retorno = 8%	V1 - João Monlevade (MG)	194,3	193,3	192,1	190,0	190,0	190,0	190,0	201,4	201,4	205,0	194,3	213,0	-	-	-	-	177,4
	V2 - Uberaba (MG)	170,1	161,0	157,7	154,1	154,1	154,1	154,1	170,1	142,7	130,1	147,0	154,1	159,6	157,7	177,4	154,1	159,6
	V3 - Curvelo (MG)	157,7	149,0	144,8	142,7	139,9	142,7	139,9	143,0	155,9	159,6	149,0	159,6	162,8	170,1	-	-	147,0
	V4 - Januária (MG)	-	148,6	146,8	141,7	141,7	141,7	139,9	128,5	155,9	51,5	151,5	151,5	-	-	-	-	146,8
	V5 - Itaobim (MG)	-	151,5	148,6	143,5	145,4	145,4	-	-	-	151,5	-	-	-	-	-	-	139,9
	V6 - Governador Valadares (MG)	196,3	201,4	200,0	194,3	196,3	196,3	196,3	208,3	208,3	213,0	201,4	-	-	-	-	-	191,2
	V7 - Cocos (BA)	-	-	-	217,4	213,0	217,4	203,2	200,0	-	-	206,9	213,0	217,4	-	-	-	210,1
	V8 - Cristalina (GO)	-	148,6	146,8	143,5	141,7	141,7	139,9	141,7	143,5	136,5	245,4	125,7	130,6	136,5	-	155,9	146,8
	V9 - Ribás do Rio Pardo (MS)	-	-	-	155,9	-	-	-	-	148,6	148,6	-	-	-	-	139,9	129,7	-
Taxa Interna de Retorno = 15%	V1 - João Monlevade (MG)	242,1	242,1	239,9	237,8	237,8	237,8	237,8	249,2	249,2	252,8	242,1	206,8	-	-	-	-	225,2
	V2 - Uberaba (MG)	205,2	196,1	192,8	189,2	189,2	189,2	189,2	200,2	177,8	165,2	182,1	189,2	194,7	192,8	212,5	189,2	194,7
	V3 - Curvelo (MG)	192,8	184,1	179,9	177,8	175,0	177,8	175,0	179,0	191,0	194,7	184,1	194,7	197,9	205,2	-	-	182,1
	V4 - Januária (MG)	-	179,9	178,1	173,0	173,0	173,0	171,2	159,8	177,2	182,8	182,8	-	-	-	-	-	178,1
	V5 - Itaobim (MG)	-	182,8	179,9	174,8	176,7	176,7	176,7	-	-	182,8	-	-	-	-	-	-	171,2
	V6 - Governador Valadares (MG)	244,1	249,2	247,8	242,1	244,1	244,1	244,1	256,1	256,1	260,8	249,2	-	-	-	-	-	239,0
	V7 - Cocos (BA)	-	-	-	265,2	260,8	265,2	251,0	247,8	-	-	-	254,7	260,8	267,2	-	-	257,9
	V8 - Cristalina (GO)	-	159,9	178,1	174,8	173,0	173,0	171,2	173,0	174,8	167,8	176,7	157,0	161,9	167,8	-	187,2	178,1
	V9 - Ribás do Rio Pardo (MS)	-	-	-	187,2	-	-	-	-	179,9	179,9	-	-	-	-	171,2	161,0	-

TABELA 9

CUSTOS DE PRODUÇÃO E TRANSPORTE DO CARVÃO VEGETAL PROVENIENTE DE FLORESTA PLANTADA (US\$/Gcal)

FONTES DE OFERTA	PÓLOS DE CONSUMO																	
	01 - Cachoeiro do Itaipemirim (ES)	02 - Barroso (MG)	03 - Carandá (MG)	04 - Contagem (MG)	05 - Pedro Leopoldo (MG)	06 - Lagoa Santa (MG)	07 - Matosinho (MG)	08 - Montes Claros (MG)	09 - Pratápolis (MG)	10 - Uberaba (MG)	11 - Arcos (MG)	12 - Brasília (DF)	13 - Corumbá de Goiás (GO)	14 - Palmeira de Goiás (GO)	15 - Corumbá (MS)	16 - Três Lagoas (MS)	17 - João Monlevade	
Taxa Interna de Retorno = 8%	V1 - João Monlevade (MG)	38,1	37,9	37,7	37,3	37,3	37,3	37,3	39,5	39,5	40,2	38,1	41,8	-	-	-	-	34,8
	V2 - Uberaba (MG)	33,4	31,6	30,9	30,2	30,2	30,2	30,2	33,4	28,0	25,5	28,8	30,2	31,3	30,9	34,8	30,2	31,3
	V3 - Curvelo (MG)	30,9	29,2	28,4	28,0	27,4	28,0	27,4	28,2	30,6	31,3	29,2	31,3	31,9	33,4	-	-	28,8
	V4 - Januária (MG)	-	29,1	28,8	27,8	27,8	27,8	27,4	25,2	30,6	29,7	29,7	29,7	-	-	-	-	28,8
	V5 - Itaobim (MG)	-	29,7	29,1	28,1	28,5	28,5	28,5	-	-	-	29,7	-	-	-	-	-	27,4
	V6 - Governador Valadares (MG)	38,5	39,5	39,2	38,1	38,5	38,5	38,5	40,8	41,8	41,8	39,5	-	-	-	-	-	37,5
	V7 - Cocos (BA)	-	-	-	42,6	41,8	42,6	39,8	39,2	-	-	-	40,6	41,8	42,6	-	-	41,2
	V8 - Cristalina (GO)	-	29,1	28,8	28,1	27,8	27,8	27,4	27,8	28,1	26,8	28,5	24,7	25,6	26,8	-	30,6	28,8
	V9 - Ribas do Rio Pardo (MS)	-	-	-	30,6	-	-	-	-	29,1	29,1	-	-	-	-	27,4	25,4	-
Taxa Interna de Retorno = 15%	V1 - João Monlevade (MG)	47,5	47,5	47,0	46,6	46,6	46,6	46,6	48,5	48,5	49,6	47,5	51,1	-	-	-	-	44,2
	V2 - Uberaba (MG)	40,2	38,5	37,8	37,1	37,1	37,1	37,1	40,2	34,9	32,4	35,7	37,1	38,2	37,8	41,7	37,1	38,2
	V3 - Curvelo (MG)	37,8	36,1	35,2	34,9	34,3	34,9	34,3	35,1	37,5	38,2	36,1	38,2	38,8	40,2	-	-	35,7
	V4 - Januária (MG)	-	35,2	34,9	33,9	33,9	33,9	33,6	31,3	36,7	35,8	35,8	35,8	-	-	-	-	34,9
	V5 - Itaobim (MG)	-	35,8	35,2	34,3	34,7	34,7	34,7	-	-	-	35,8	-	-	-	-	-	33,6
	V6 - Governador Valadares (MG)	47,9	48,9	48,6	47,5	47,9	47,9	47,9	50,2	50,2	51,1	48,9	-	-	-	-	-	46,9
	V7 - Cocos (BA)	-	-	-	52,0	51,1	52,0	49,2	48,6	-	-	-	49,9	51,1	52,0	-	-	50,6
	V8 - Cristalina (GO)	-	35,2	34,9	34,3	33,9	33,9	33,6	33,9	34,3	32,9	34,7	30,8	31,8	32,9	-	36,7	34,9
	V9 - Ribas do Rio Pardo (MS)	-	-	-	36,7	-	-	-	-	35,2	35,2	-	-	-	-	33,6	31,6	-

Em todos os cenários testados é admitida a existência de disponibilidade de $2,0 \times 10^6$ t de carvão vegetal originário de floresta nativa para utilização nas cimenteiras, em 1982, e a inexistência desta oferta em 1985. Além disto, supõe-se que apenas neste segundo horizonte as indústrias produtoras de ferro gusa e as siderúrgicas integradas passam a consumir carvão vegetal proveniente de floresta plantada, na proporção de 50% de suas demandas. Esta restrição de demanda foi incorporada ao modelo, diretamente em toneladas.

O cenário 1, ou caso-base, foi desenvolvido com taxa de remuneração de 8% para os investimentos em reflorestamento e custos de US\$ 190 e US\$ 202 por tonelada de óleo combustível em 1982 e em 1985, respectivamente.

Para o cenário 2, admitiu-se a variação dos custos de produção de óleo combustível, em relação ao caso-base, para os níveis de US\$ 220 e US\$ 234 por tonelada, em 1982 e 1985. Esta alternativa justifica-se por duas razões: a incerteza quanto ao custo de derivados de petróleo, cujo preço internacional é sujeito a grandes flutuações, e a possibilidade de incorporação implícita de um preço-sombra de obtenção de um dólar por meio de exportação.

O cenário 3, repete o cenário 1, com a taxa de remuneração de investimentos em reflorestamento elevada de 8 para 15%, o que corresponde a uma elevação dos respectivos custos de produção da ordem de 27%. Também para o cenário 4 esta taxa foi utilizada, com os custos de óleo combustível iguais aos do cenário 2.

Para os cenários 5 e 6 foi aplicada a taxa de remuneração nula dos investimentos em reflorestamento, o que corresponde a uma redução de 14% nos custos de produção de carvão vegetal. Esta hipótese é justificada se for verdadeira a existência de razoáveis áreas de floresta plantada sem utilização alternativa prevista. Para tais florestas passaria a contar apenas o custo marginal de retirada de madeira e de produção e transporte do carvão, igualando-as praticamente à floresta nativa. Ambos os cenários

rios foram processados apenas para o ano de 1985, com o óleo combustível a US\$ 202/t no cenário 5 e a US\$ 234/t no cenário 6. O resumo dos cenários pode ser observado na Tabela 10, a seguir.

TABELA 10

RESUMO DOS PRINCIPAIS PARÂMETROS DOS CENÁRIOS PROPOSTOS

PARÂMETROS	CENÁRIO 1	CENÁRIO 2	CENÁRIO 3	CENÁRIO 4	CENÁRIO 5	CENÁRIO 6
Taxa de retorno em reflorestamento	8%	8%	15%	15%	0%	0%
Custo - refinaria de óleo combustível (1982)	US\$ 190/t	US\$ 220/t	US\$ 190/t	US\$ 220/t	-	-
Custo - refinaria de óleo combustível (1985)	US\$ 202/t	US\$ 234/t	US\$ 202/t	US\$ 234/t	US\$ 202/t	US\$ 234/t

Além destes cenários, foram processados outros tantos em que foi suposta a existência de restrição quanto ao nível máximo possível de substituição do óleo combustível por carvão, sem exigência de investimento substancial por parte da indústria consumidora. Este nível foi fixado em 30% para todas as indústrias que ainda não alcançaram tal índice de substituição, sendo respeitados os níveis já verificados nas que o ultrapassaram. Os resultados deste outro conjunto de cenários não são explicitamente apresentados, por serem óbvios, mas são de importância os "preços-sombra" de tais restrições, comentados na próxima seção.

6 - RESULTADOS

Os resultados de aplicação do modelo aos cenários descritos na seção anterior foram obtidos por processamento em computador Bourroughs B-6.800, do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE/CNPq), utilizando o software de programação matemática TEMPO.

Os principais resultados são apresentados esquematicamente nas Figuras 1 a 10, a seguir, onde estão relacionadas ao centro as indústrias cimenteiras, identificadas por círculos onde estão inscritos o nome de cada indústria cimenteira e a cidade onde cada uma se localiza. O círculo da primeira coluna representa a indústria de ferro gusa.

Na segunda coluna estão relacionadas as regiões produtoras de carvão vegetal, associadas às cidades supostas como centros de produção e distribuição. À direita, na última coluna, são identificadas as duas refinarias da PETROBRÁS a partir das quais o óleo combustível é distribuído para as indústrias e os dois entrepostos de carvão mineral da CAEEB na região estudada.

Os valores colocados sobre as linhas indicam as quantidades do energético (em 10^3 t) fornecidas aos pólos de consumo respectivos, a partir de cada origem. O quadro no canto inferior direito resume as características de definição de cada cenário. Em cada caso é ainda assinalado no canto superior direito o valor de custo total mínimo, em US\$ 10^3 .

Uma visão agregada dos consumos dos energéticos determinados para os diversos cenários é apresentada nas Tabelas 11 e 12, a seguir.

TABELA 11

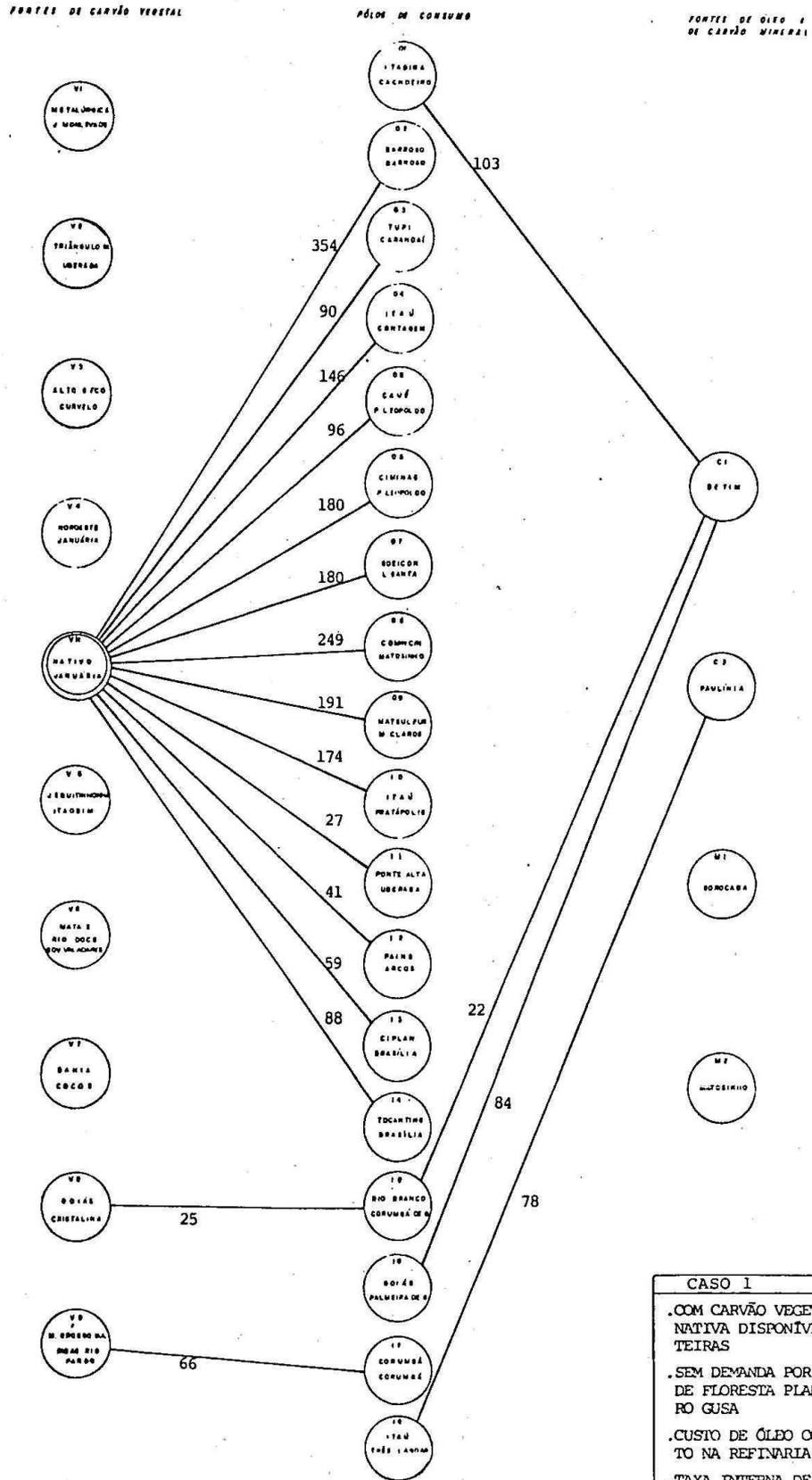
CONSUMO TOTAL DOS ENERGÉTICOS (10^3 t)
PARA OS CENÁRIOS ESTUDADOS - 1982

ENERGÉTICO	CASOS			
	1 OC: US\$190 TIR: 8%	2 OC: US\$220 TIR: 8%	3 OC: US\$190 TIR: 15%	4 OC: US\$220 TIR: 15%
Óleo combustível	287	43	340	223
Carvão mineral	-	260	-	260
Carvão vegetal (plantado)	91	330	-	25
Carvão vegetal (nativo)	1 875	1 875	1 875	1 875

Figura 1

ESQUEMA REPRESENTATIVO DA SOLUÇÃO PARA O CASO 1/1982

$Z = \$213.355 \times 10^3$

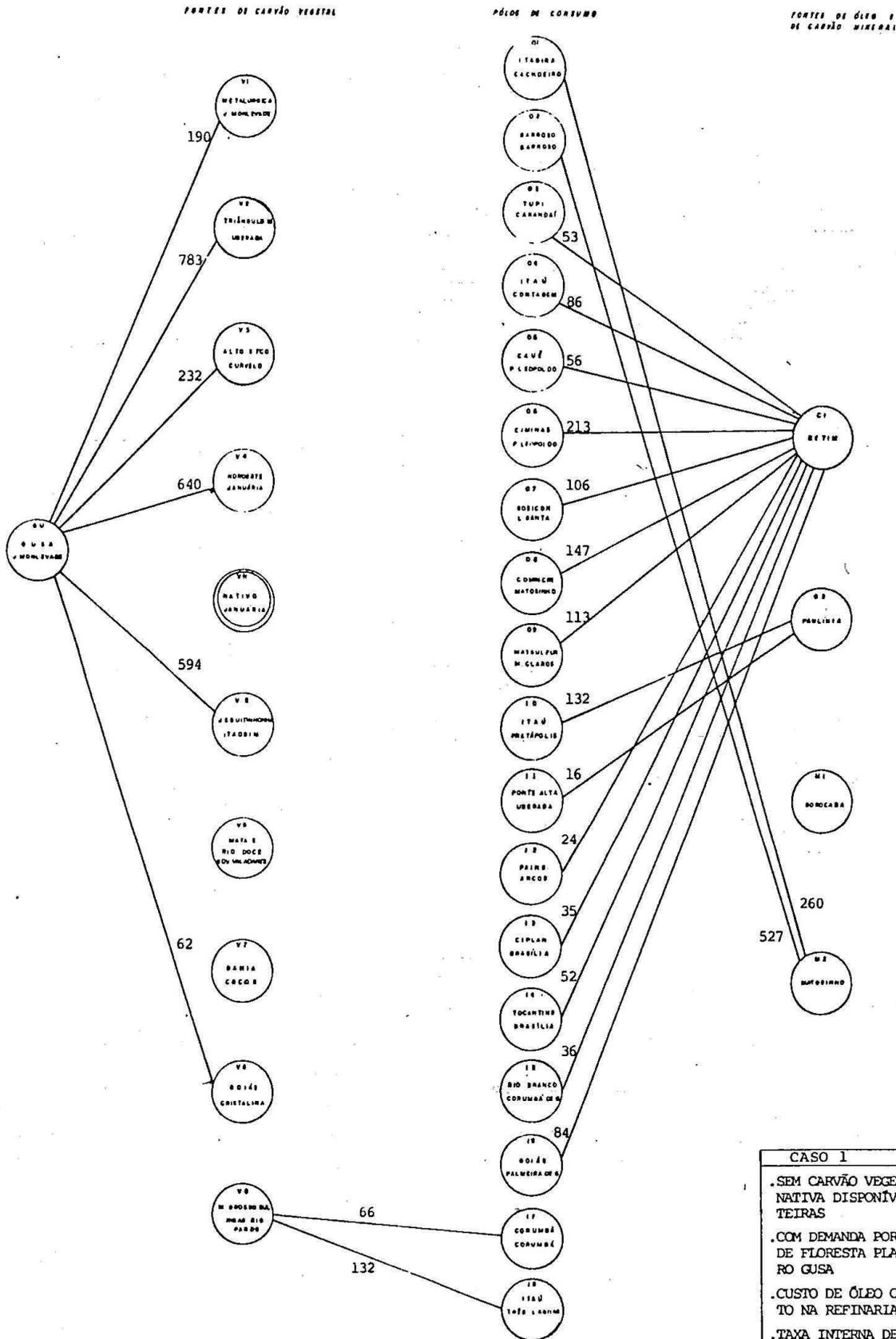


CASO 1	ANO: 1982
.COM CARVÃO VEGETAL DE FLORESTA NATIVA DISPONÍVEL PARA CIMEN TEIRAS	
.SEM DEMANDA POR CARVÃO VEGETAL DE FLORESTA PLANTADA PARA FER RO GUSA	
.CUSTO DE ÓLEO COMEUSTÍVEL POS TO NA REFINARIA: US\$190	
.TAXA INTERNA DE RETORNO DO IN VESTIMENTO EM REFLORRESTAMENTO: 8%	

Figura 2

ESQUEMA REPRESENTATIVO DA SOLUÇÃO PARA O CASO 1/1985

Z = \$723.072x10³

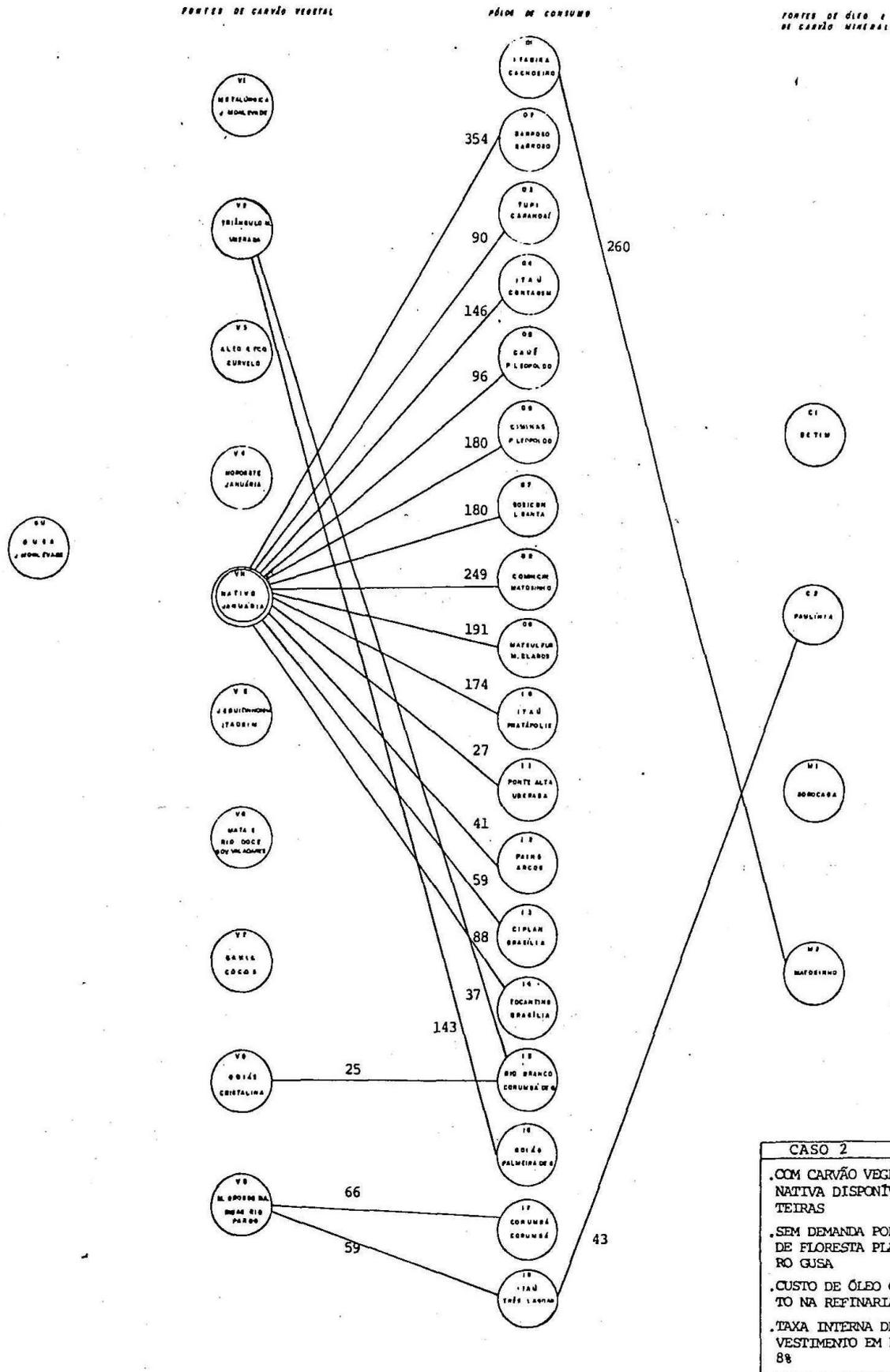


CASO 1	ANO: 1985
.SEM CARVÃO VEGETAL DE FLORESTA NATIVA DISPONÍVEL PARA CIMEN TEIRAS	
.COM DEMANDA POR CARVÃO VEGETAL DE FLORESTA PLANTADA PARA FER RO GUSA	
.CUSTO DE ÓLEO COMBUSTÍVEL POS TO NA REFINARIA: US\$202	
.TAXA INTERNA DE RETORNO DO IN VESTIMENTO EM REFLORRESTAMENTO: 8%	

Figura 3

ESQUEMA REPRESENTATIVO DA SOLUÇÃO PARA O CASO 2/1982

Z = \$215.677 x 10³

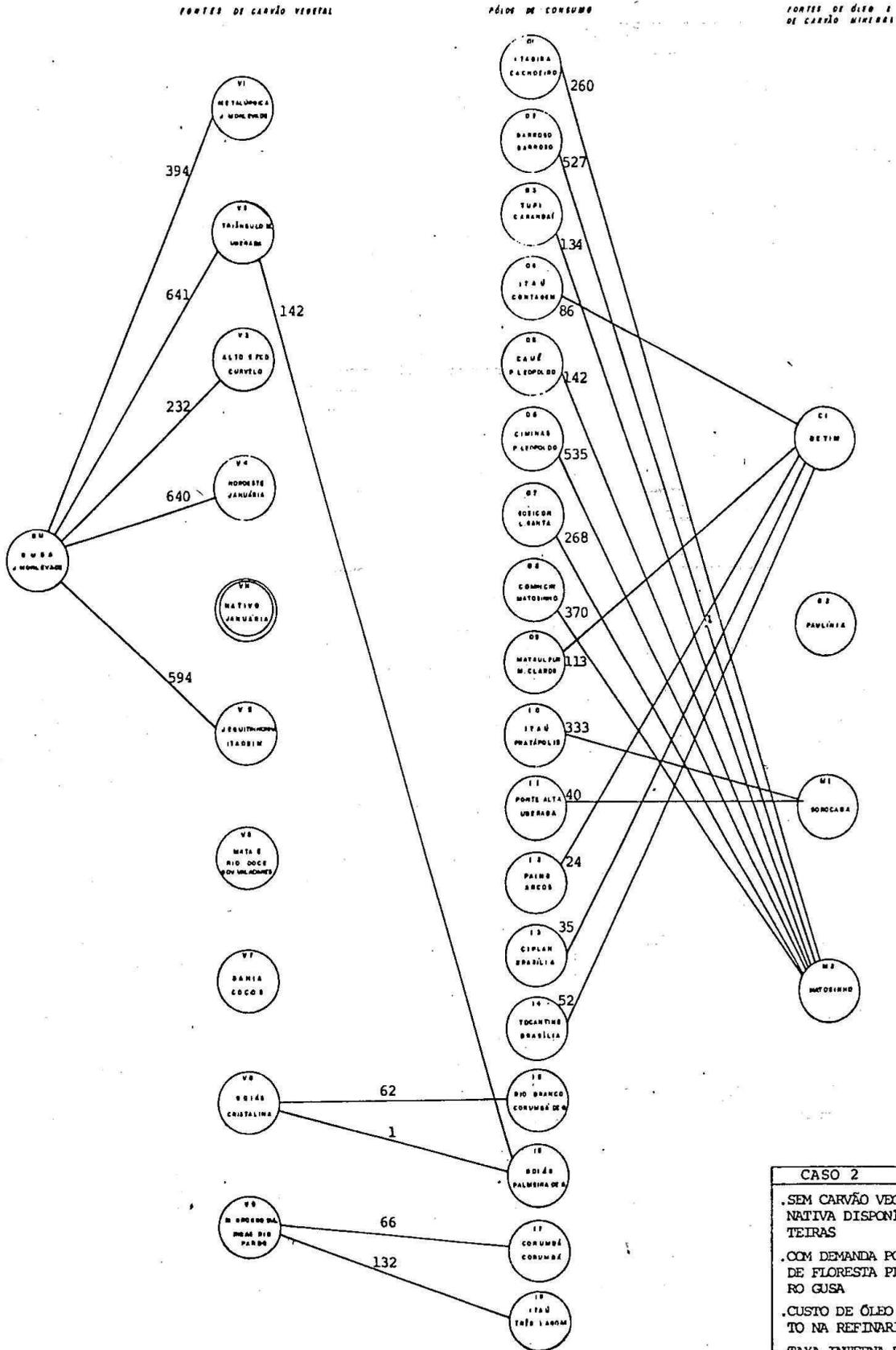


CASO 2	ANO: 1982
.COM CARVÃO VEGETAL DE FLORESTA NATIVA DISPONÍVEL PARA CIMEN TEIRAS	
.SEM DEMANDA POR CARVÃO VEGETAL DE FLORESTA PLANTADA PARA FER RO GUSA	
.CUSTO DE ÓLEO COMBUSTÍVEL POS TO NA REFINARIA: US\$220	
.TAXA INTERNA DE RETORNO DO IN VESTIMENTO EM REFLORESTAMENTO: 8%	

Figura 4

ESQUEMA REPRESENTATIVO DA SOLUÇÃO PARA O CASO 2/1985

Z = \$749.790x10³



CASO 2 ANO: 1985	
SEM CARVÃO VEGETAL DE FLORESTA NATIVA DISPONÍVEL PARA CIMEN TEIRAS	
COM DEMANDA POR CARVÃO VEGETAL DE FLORESTA PLANTADA PARA FER RO GUSA	
CUSTO DE ÓLEO COMBUSTÍVEL POS TO NA REFINARIA: US\$234	
TAXA INTERNA DE RETORNO DO IN VESTIMENTO EM REFORESTAMENTO: 88	

Figura 5

ESQUEMA REPRESENTATIVO DA SOLUÇÃO PARA O CASO 3/1982

Z = \$213.999x10³

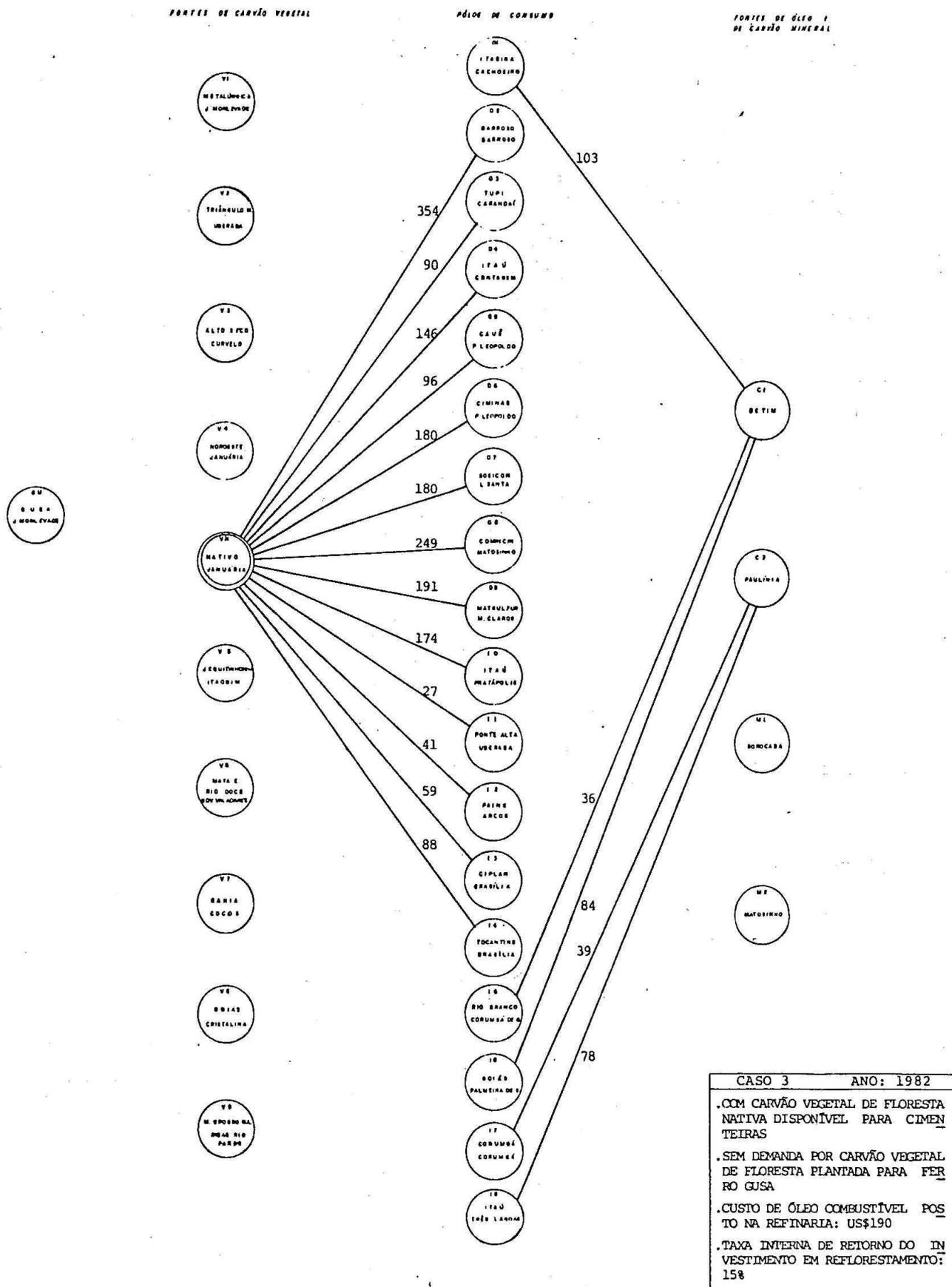
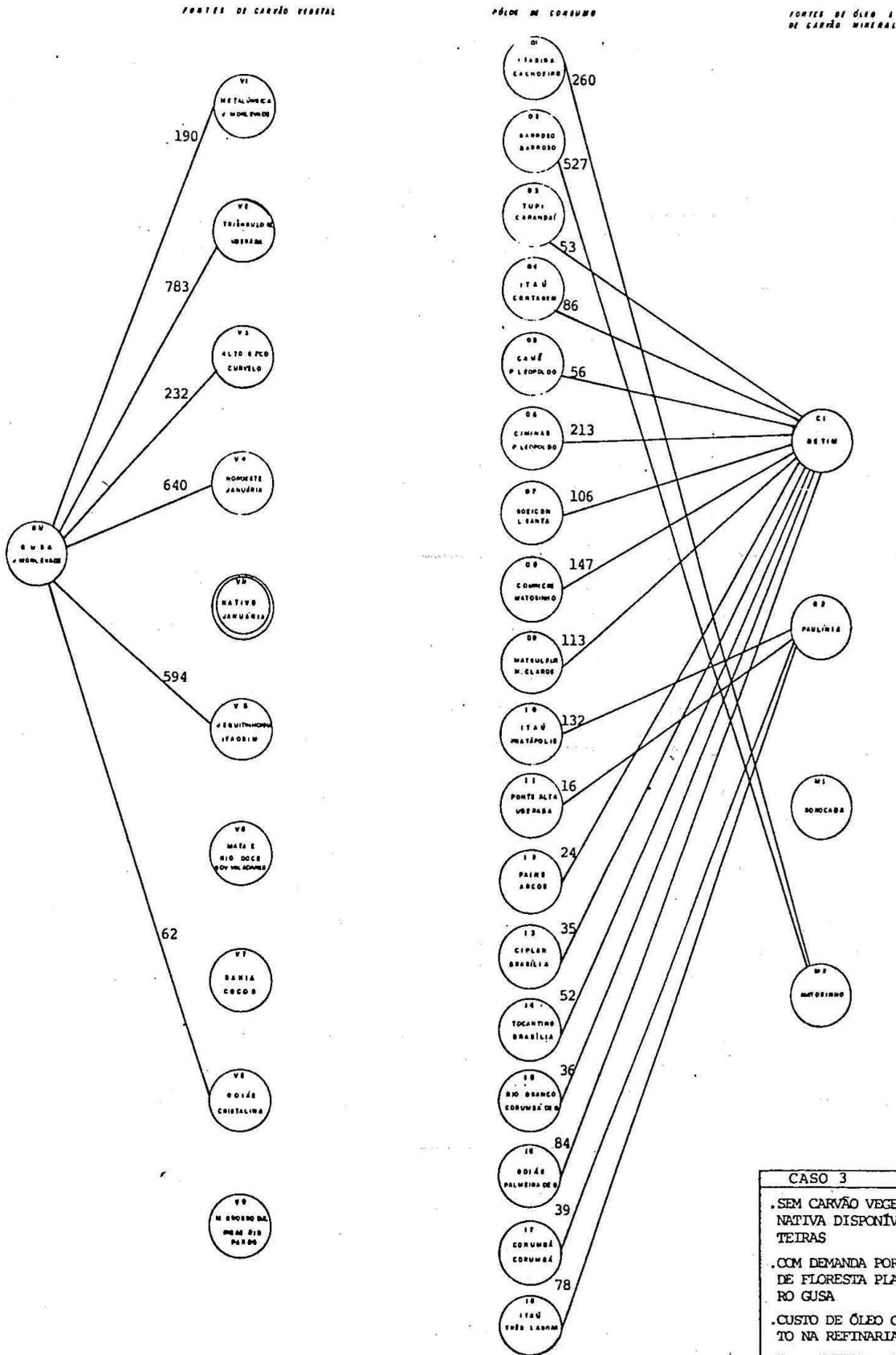


Figura 6

ESQUEMA REPRESENTATIVO DA SOLUÇÃO PARA O CASO 3/1985

Z = \$809473x10³

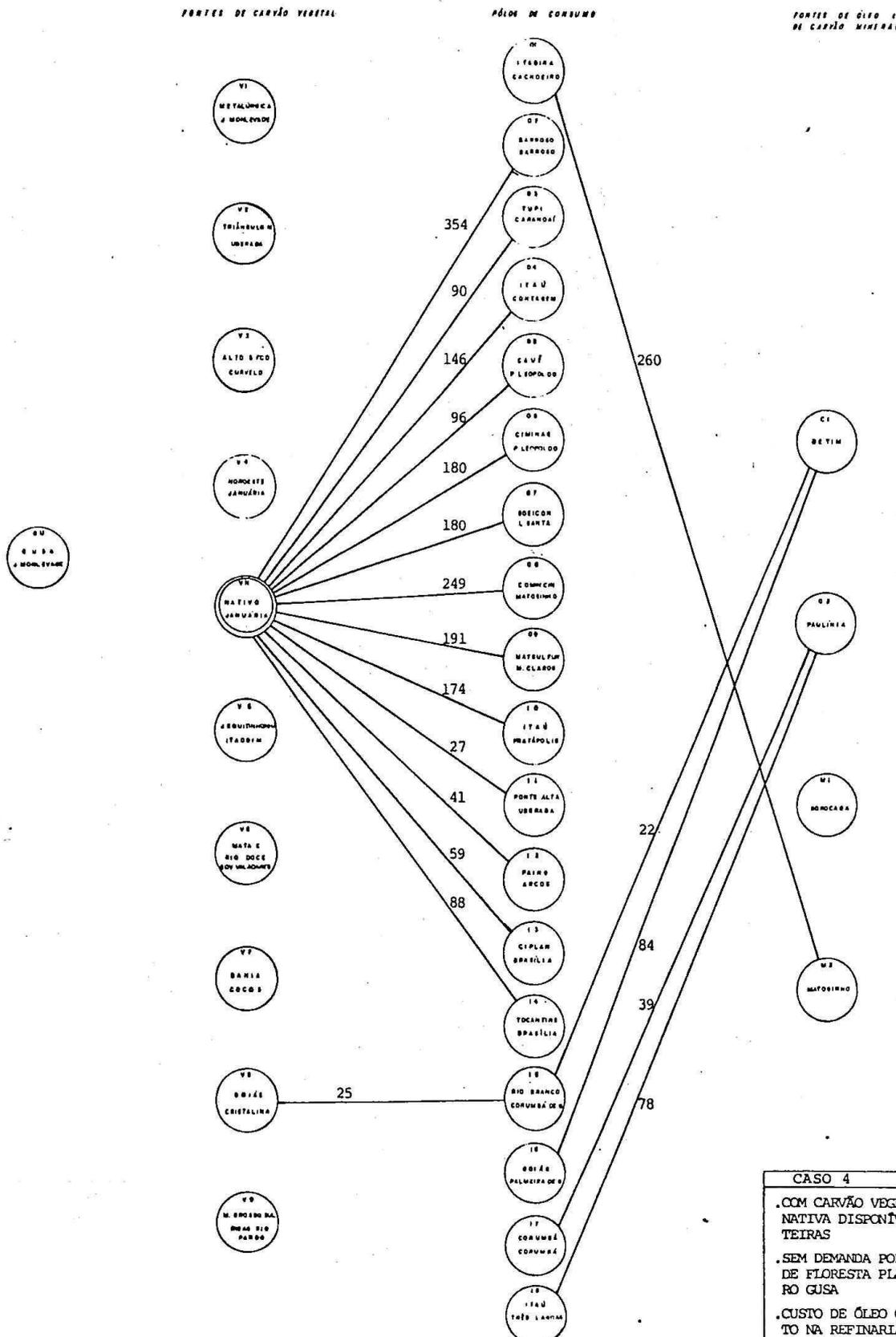


CASO 3	ANO: 1985
.SEM CARVÃO VEGETAL DE FLORESTA NATIVA DISPONÍVEL PARA CIMEN TEIRAS	
.COM DEMANDA POR CARVÃO VEGETAL DE FLORESTA PLANTADA PARA FER RO GUSA	
.CUSTO DE ÓLEO COMBUSTÍVEL POS TO NA REFINARIA: US\$202	
.TAXA INTERNA DE RETORNO DO IN VESTIMENTO EM REFLORESTAMENTO: 15%	

Figura 7

ESQUEMA REPRESENTATIVO DA SOLUÇÃO PARA O CASO 4/1982

Z = \$221.178x10³



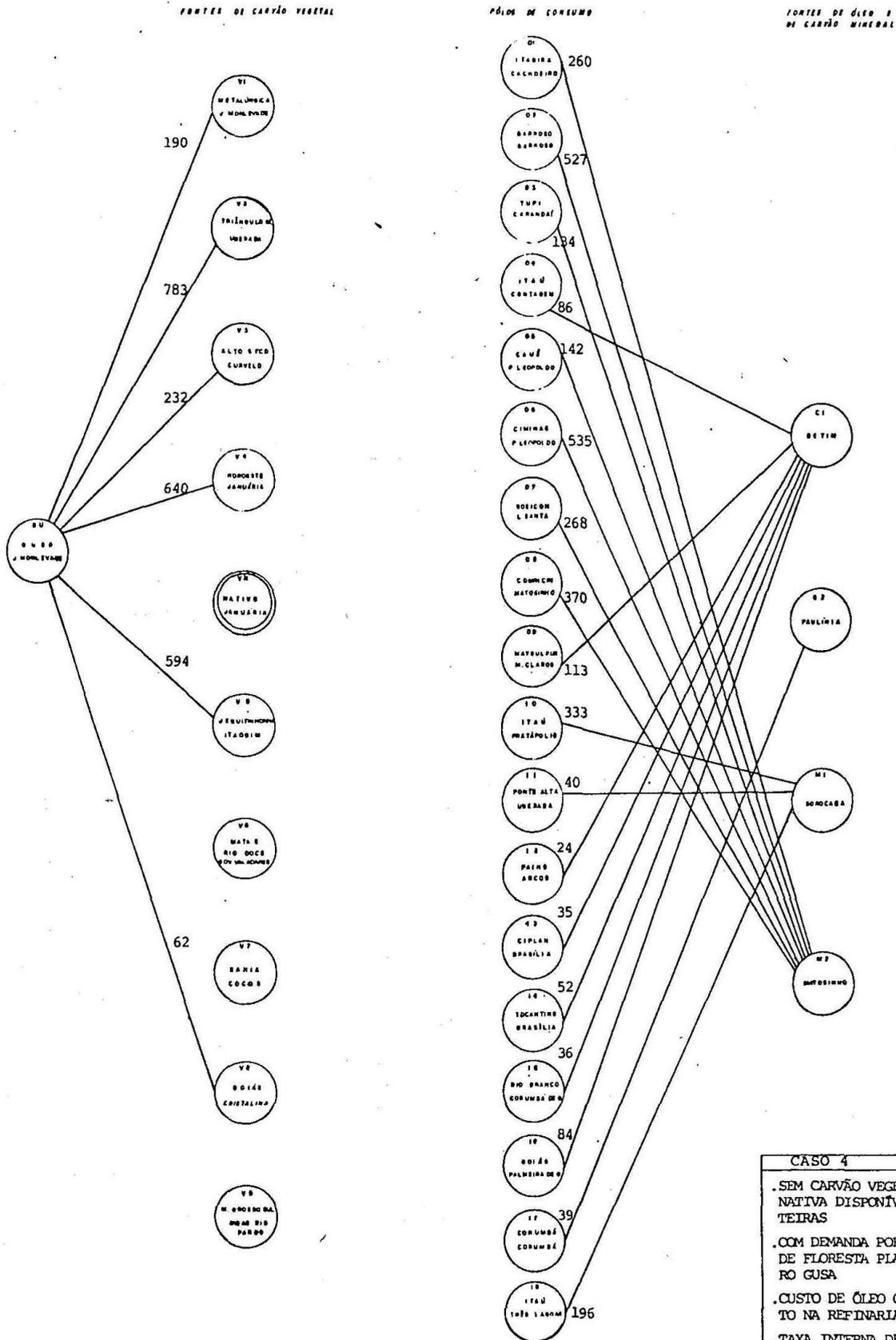
CASO 4 ANO: 1982

- COM CARVÃO VEGETAL DE FLORESTA NATIVA DISPONÍVEL PARA CIMEN TEIRAS
- SEM DEMANDA POR CARVÃO VEGETAL DE FLORESTA PLANTADA PARA FER RO GUSA
- CUSTO DE ÓLEO COMBUSTÍVEL POSTO NA REFINARIA: US\$220
- TAXA INTERNA DE RETORNO DO INVESTIMENTO EM REFLORESTAMENTO: 15%

Figura 8

ESQUEMA REPRESENTATIVO DA SOLUÇÃO PARA O CASO 4/1985

Z = \$841.382x10³



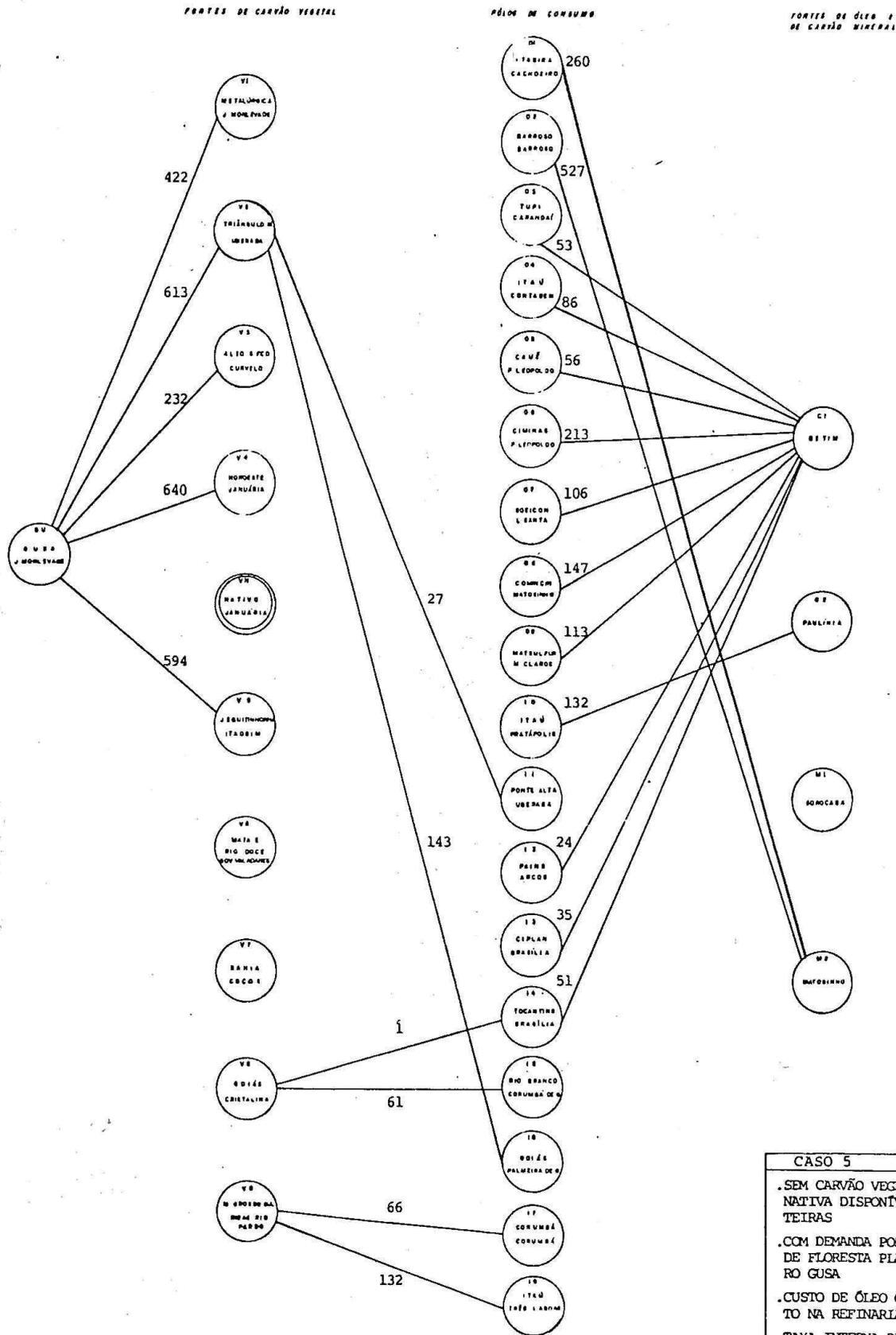
CASO 4 ANO: 1985

- .SEM CARVÃO VEGETAL DE FLORESTA NATIVA DISPONÍVEL PARA CIMEN TEIRAS
- .COM DEMANDA POR CARVÃO VEGETAL DE FLORESTA PLANTADA PARA FER RO GUSA
- .CUSTO DE ÓLEO COMBUSTÍVEL POS TO NA REFINARIA: US\$234
- .TAXA INTERNA DE RETORNO DO IN VESTIMENTO EM REFLORESTAMENTO: 15%

Figura 9

ESQUEMA REPRESENTATIVO DA SOLUÇÃO PARA O CASO 5/1985

Z = \$671.472x10³



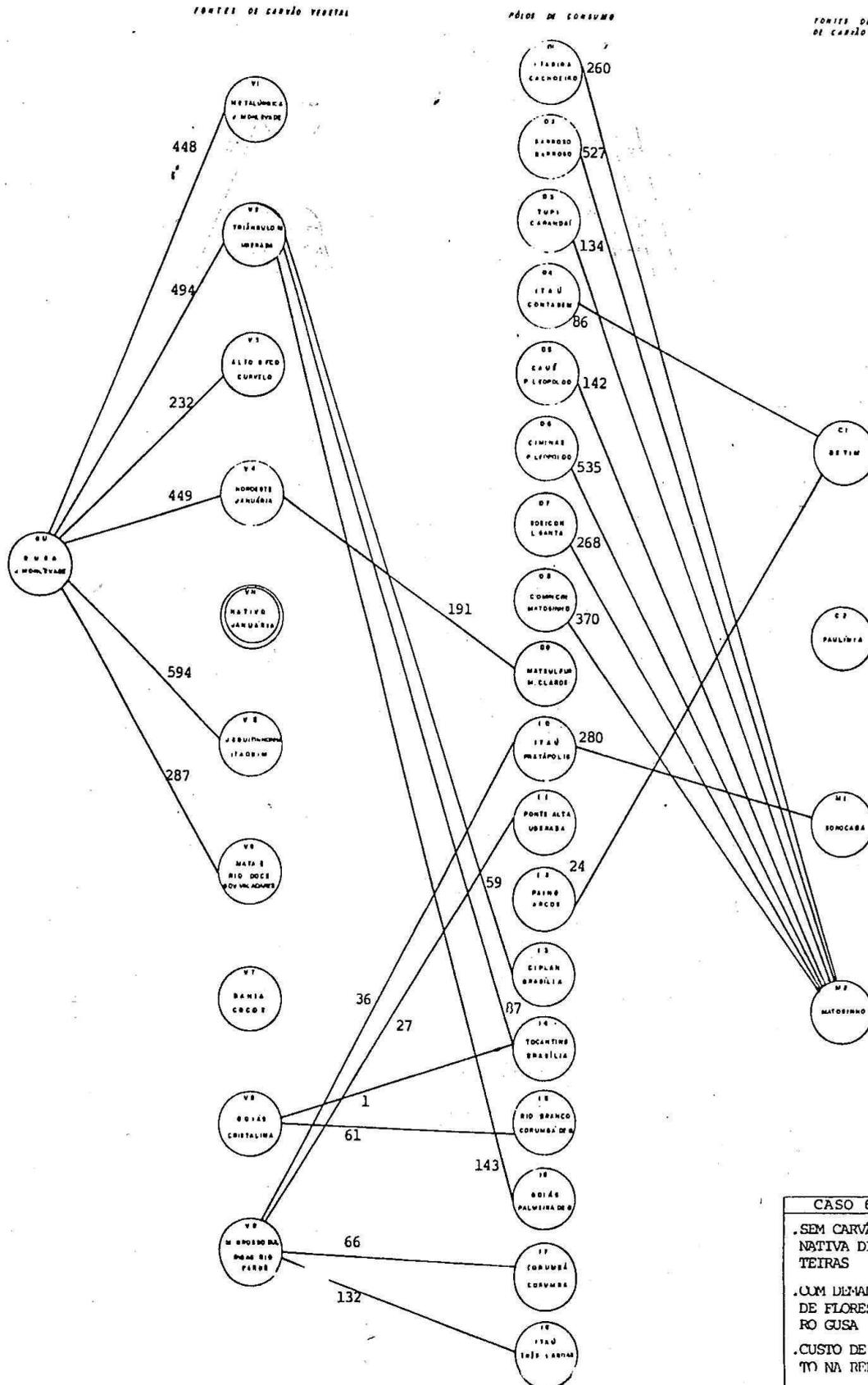
CASO 5 ANO: 1985

- .SEM CARVÃO VEGETAL DE FLORESTA NATIVA DISPONÍVEL PARA CIMEN TEIRAS
- .COM DEMANDA POR CARVÃO VEGETAL DE FLORESTA PLANTADA PARA FER RO GUSA
- .CUSTO DE ÓLEO COMBUSTÍVEL POS TO NA REFINARIA: US\$202
- .TAXA INTERNA DE RETORNO DO IN VESTIMENTO EM REFLORESTAMENTO: 0%

Figura 10

ESQUEMA REPRESENTATIVO DA SOLUÇÃO PARA O CASO 6/1985

Z = 694.554x10³



CASO 6 ANO: 1985

- .SEM CARVÃO VEGETAL DE FLORESTA NATIVA DISPONÍVEL PARA CIMEN TEIRAS
- .COM DEMANDA POR CARVÃO VEGETAL DE FLORESTA PLANTADA PARA FER RO GUSA
- .CUSTO DE ÓLEO COMBUSTÍVEL POS TO NA REPTNARIA: US\$234
- .TAXA INTERNA DE RETORNO DO IN VESTIMENTO EM REFLORRESTAMENTO: 0%

TABELA 12

CONSUMO TOTAL DOS ENERGÉTICOS (10³ t)
PARA OS CENÁRIOS ESTUDADOS - 1985

ENERGÉTICO	CASOS					
	1 OC: US\$202 TIR: 8%	2 OC: US\$234 TIR: 8%	3 OC: US\$202 TIR: 15%	4 OC: US\$234 TIR: 15%	5 OC: US\$202 TIR: 0%	6 OC: US\$234 TIR: 0%
Óleo Combustível	1.153	310	1.270	238	1.016	110
Carvão mineral	787	2.236	787	2.805	787	2.516
Carvão vegetal plantado(cimento)	198	403	-	-	430	803
Carvão vegetal plantado(gusa)	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500

Observadas as hipóteses apresentadas na descrição dos cenários, a análise comparativa dos resultados dos seis casos estudados revela que:

- a oferta do carvão vegetal proveniente de floresta nativa para 1982 é toda consumida nas indústrias cimenteiras do Estado de Minas Gerais e do Distrito Federal, sob quaisquer condições de custo de óleo combustível e taxa de retorno do reflorestamento;

- O carvão vegetal oriundo de floresta plantada, considerando-se uma taxa interna de retorno de 15% ao ano para o investimento (casos 3 e 4), não concorre, no horizonte deste estudo, nem com o carvão mineral nem com o óleo combustível;

- o carvão vegetal de floresta plantada, considerando-se uma taxa de retorno de 8% ao ano para o investimento (caso 1), em 1982, substituiria o óleo combustível em Corumbá (Mato Grosso do Sul), e, em 1985, também em Três Lagoas (Mato Grosso do Sul);

Sul); na hipótese da elevação do custo de produção do óleo combustível (caso 2), já em 1982 o carvão vegetal de floresta planta da substituiria integralmente o óleo combustível nos Estados de Goiás e Mato Grosso do Sul;

- sob a hipótese do aproveitamento, em 1985, das florestas plantadas já existentes, sem taxa de remuneração para o capital (caso 5), o carvão vegetal desta forma obtido seria aproveitado nos Estados de Goiás e Mato Grosso do Sul, na cidade de Uberaba e, parcialmente, no Distrito Federal; se o óleo combustível tiver seu custo de produção elevado (caso 6), este carvão vegetal, além de abastecer integralmente Brasília, seria ainda aproveitado em Pratápolis e Montes Claros;

- em geral, o carvão mineral é substituto do óleo combustível em áreas onde o carvão vegetal obtido por reflorestamento não tem condições de concorrência; a única região de concorrência entre estes dois tipos de carvão engloba as cimenteiras de Uberaba e Pratápolis;

- em 1982, o carvão mineral só substituiria com vantagem o óleo combustível em Cachoeiro do Itapemerim e apenas na hipótese de elevação do custo de produção deste;

- em 1985, sob a hipótese de baixo custo de produção do óleo combustível, o carvão mineral já o substituiria em Cachoeiro do Itapemerim e Barroso; sob a hipótese alternativa da elevação daquele custo, a substituição dar-se-ia em maior escala, com o entreposto da CAEEB em Matosinho abastecendo as cimenteiras próximas de Belo Horizonte, à exceção de Contagem, e com o entreposto de Sorocaba atendendo as cimenteiras de Uberaba e Pratápolis; e

- é possível avaliar o valor marginal da substituição de uma Gcal obtida através de carvão observando os "preços-sombra" obtidos quando todos os cenários anteriormente descritos foram reprocessados com restrição adicional quanto ao nível máximo de substituição; estes "preços-sombra" indicam quanto seria possível eco

nomizar no custo total (valor da função objetivo) se a restrição de nível máximo de substituição fosse relaxada em uma Gcal, isto é, permitindo que mais 115,74 kg necessários para gerar uma Gcal útil fossem substituídos pela quantidade de carvão suficiente para o mesmo propósito; os resultados obtidos indicaram valores de até US\$ 12,00 por Gcal substituída, em 1982, por carvão vegetal de origem nativa e de até US\$ 8,00 por Gcal substituída, em 1985, por carvão vegetal obtido a partir de floresta plantada, sem remuneração para o capital.

7 - CONCLUSÕES

Ao examinar conjuntamente todos os cenários processados, conclui-se que o carvão vegetal de origem nativa é, em geral, a fonte energética de mínimo custo, em 1982, complementada pelos demais energéticos em proporções diversas, dependendo da localização e de variações relativas nos custos. No entanto, dada a hipótese de indisponibilidade de carvão vegetal de origem nativa em 1985, nenhuma política consistente para o consumo energético do setor poderia ser estruturada sobre estes resultados.

Num horizonte de médio prazo (1985), quando se supõem esgotadas as possibilidades de aproveitamento de carvão vegetal de origem nativa, o quadro de consumo ótimo apresenta importantes modificações e grande sensibilidade ao custo do óleo combustível.

Sob a hipótese de crescimento moderado (2% ao ano) deste custo, atingindo US\$ 202/t em 1985, o óleo combustível domina o consumo estudado; a presença de carvão mineral verifica-se em apenas duas cimenteiras, em função de suas localizações, não chegando a atingir 20% da demanda industrial total da região em Gcal. Neste mesmo caso a presença de carvão vegetal de floresta plantada é nula sob a hipótese de taxa de retorno alta (15%) e limitada à região de Mato Grosso do Sul, responsável por 7% da demanda em Gcal, no caso de taxa de retorno baixa (8%). No caso de exploração sem taxa de retorno (caso 5), acrescentam-se à região de Mato

Grosso do Sul as regiões de reflorestamento de Goiás e do Triângulo Mineiro como potenciais fornecedoras de carvão vegetal. Assim, em resumo, a substituição do óleo combustível pode ser vista como desejável apenas em caráter local, para aquelas indústrias distantes de refinarias e situadas na área de influência de uma região de reflorestamento (carvão vegetal) ou do porto de Vitória (carvão mineral).

Sob a hipótese de elevação do custo do óleo combustível para US\$ 234/t, o carvão mineral passa a ser o energético dominante. O óleo combustível neste caso continua sendo sempre preferível apenas para duas indústrias cimenteiras de Minas Gerais localizadas em Contagem e Arcos (7% da demanda em Gcal). As cimenteiras de Brasília e dos Estados de Goiás e Mato Grosso do Sul são consumidoras potenciais de carvão vegetal de floresta plantada quando a taxa interna de retorno dos investimentos em reflorestamento é feita nula. Quando esta taxa é tomada no valor de 15%, a melhor opção para estas indústrias é permanecerem consumindo óleo combustível. No caso intermediário, com taxas supostas de 8%, a demanda destas regiões é repartida, com as cimenteiras de Brasília permanecendo consumidoras de óleo combustível e as de Mato Grosso do Sul e Goiás adotando o carvão vegetal. Assim, neste caso, a substituição do óleo combustível é desejável para a maior parte das cimenteiras mineiras, utilizando-se carvão mineral, e, em caráter local, para as indústrias de Mato Grosso do Sul e de Goiás, situadas em áreas de influência de regiões de reflorestamento.

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, 30p.
- Nº II - "Recursos Nacionais de Xistos Oleíferos: Um Levantamento com Vistas ao Planejamento Estratégico do Setor", Lauro Ramos e Ricardo Paes de Barros, Dezembro 1981, 76 p.
- 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, Fev. 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, 12 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, José R. Mendonça de Barros, Léo da Rocha Ferreira e Luiz Moricochi, Agosto 1982, 24p.
- Nº XII- "Xistos Oleíferos: Natureza, Formas de Aproveitamento e Principais Produtos", Lauro R.A Ramos e Ricardo Paes de Barros, Fevereiro 1983, 55p.
- NºXIII- "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, 41p.
- 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 Petrôleo", Lauro R.A. Ramos, Dezembro 1983, 88p.
- NºXVII- "Sobre a Dieselização da Frota Brasileira de Caminhões ", Armando M. Castelar Pinheiro, Dezembro 1983, 87p.
- NºXVIII- "Impactos Ambientais Decorrentes da Produção do Carvão Mineral: Uma Abordagem Quantificada", Sérgio Margulis, Dezembro 1983, 114 p.
- Nº XIX- "Uma Análise dos Processos de Conservação de Energia e Substituição do Óleo Combustível na Indústria do Cimento", Armando M. Castelar Pinheiro, Março 1984, 102p.
- Nº XX - "Energia na Indústria de Vidro", José Cesário Cecchi, Março 1984, 92 p.
- Nº XXI- "Análise da Demanda por Insumos das Empresas Profissionais de Transporte Rodoviário de Cargas", Antonio Edmundo de Rezende, Setembro 1984, 119p.
- Nº XXII- "Tecnologia, Custos, Capacidade de Carga e Consumo Energético de Veículos no Transporte Rodoviário de Bens", Newton de Castro, Novembro 1984, 40 p.
- NºXXIII- "Impactos Ambientais Decorrentes do Consumo de Carvão Mineral", Sérgio Margulis, Dezembro 1984, 63 p.
- Nº XXIV- "Energia na Indústria Cerâmica", Luciane Pierri de Mendonça Janeiro 1985, 109 p.
- Nº XXV - "Energia na Indústria de Papel e Celulose", Maria de Fátima Salles Abreu Passos, Janeiro 1985, 110 p.
- Nº XXVI- "Modelo do Setor Petrôleo (MOSPET): Oferta e Demanda de Derivados e Balanço de Divisas", Lauro R.A. Ramos, Fevereiro 1985, 65 p.
- NºXXVII- "Notas sobre Energia na Indústria de Barrilha", José Cesário Cecchi, Fevereiro de 1985, 46p.

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.