

ANÁLISE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DE CARVÃO VEGETAL PELA INDÚSTRIA DE
FERRO-LIGAS NO BRASIL

Rubens Corrêa da Silveira
Eng. de Minas, Civil e Metalurgista
Professor Doutor da Universidade Federal de Minas Gerais
Consultor Técnico da Companhia de Cimento Portland Maringá

Wandick Francisco do Carmo
Eng. Metalurgista e M. Sc.
Divisão de Siderurgia da Cia de Cimento Portland Maringá

Manoel Vicente Braga Neto
Administrador de Empresas e Técnico Metalurgista
Divisão de Siderurgia da Companhia de Cimento Portland Maringá

RESUMO

Apresenta-se aspectos atuais da indústria de ferro-ligas no Brasil com ênfase para a utilização do carvão vegetal.

Analisa-se as características físicas, químicas, mecânicas, metalúrgicas e elétricas do carvão vegetal.

Compara-se as características do carvão vegetal com aquelas de outros redutores.

Apresenta-se os números característicos da produção de ferro-ligas com a utilização de 100% de carvão vegetal.

Analisa-se as vantagens do carvão vegetal sobre outros redutores, particularmente a pureza, a alta reatividade e a elevada resistividade elétrica e o seu baixo preço.

Concluiu-se pela possibilidade de obtenção de performances ótimas dos fornos na produção de ferro-ligas no Brasil com a utilização de 100% do carvão vegetal como agente de redução.

Cia de Cimento Portland Maringá
Bairro do Taquari, s/ nº
18400 - Itapeva, SP

UTILIZATION OF CHARCOAL BY THE FERRO ALLOY INDUSTRY IN BRAZIL.

TECHNICAL ANALYSIS

- . Rubens Correa da Silveira
- . Wandick Francisco do Carmo
- . Manoel Vicente Braga Neto

Cia de Cimento Portland Maringá
Bairro do Taquari, s/ nº
18400 - Itapeva, SP

ABSTRACT

Current aspects of the ferro alloy industry in Brazil, emphasizing the charcoal utilization in its technology are presented.

The charcoal characteristics are analysed involving its physical, chemical, mechanical, metallurgical and electric properties.

The characteristics of charcoal are compared with the ones of the other reducing agents.

Typical data of ferro-alloys produced with 100% charcoal are presented.

The advantages of charcoal utilization with respect to the other reducing agents, particularly referring to its purity, high reactivity, high electrical resistivity and low price are analysed.

It is concluded by the possibility of excellent and high performances for ferro alloy producing furnaces in Brazil, with the use of 100% charcoal as a reducing agent.

1. INTRODUÇÃO

O extraordinário desenvolvimento da indústria siderúrgica a carvão vegetal no Brasil deve-se principalmente aos seguintes fatos:

- . Os recursos do País em carvão metalúrgico de boa qualidade são escassos;
- . O País possui vastas reservas de florestas naturais;
- . O preço de comercialização do carvão vegetal na faixa de US\$55 a US\$65/t apresenta vantagens em relação aos preços de comercialização de coque metalúrgico na faixa de US\$110 a US\$130/t ou de carvão mineral na faixa de US\$65/t (baixa porcentagem de carbono fixo) a US\$100/t.

O carvão vegetal, por estas e outras razões, tem sido a opção natural como termo-redutor, nos processos de fusão redutora, desenvolvidos por grande parte da indústria siderúrgica nacional.

Atualmente o carvão vegetal produzido no Brasil, é oriundo de duas fontes:

- . Matas nativas;
- . Florestas de eucaliptos.

E o curto investimento para terra, reflorestamento e fornos é mais baixo que para uma mina de carvão e uma coqueria.

A Figura 1 mostra a evolução do consumo de carvão vegetal no Brasil, bem como, a quantidade proveniente de reflorestamentos, cerca de 17%, que deverá atingir ao final da década, cerca de 50%.

O Brasil tem exportado parte de sua produção de carvão vegetal, conforme mostrado na Tabela I, porém, não há indicações que estas vendas venham a se avolumar a curto ou médio prazo.

Como fator positivo ao lado das operações de reflorestamento e fabricação do carvão, está o grande número de empregos gerados, seja direta ou indiretamente, conforme mostra a Tabela II, o que confere a este tipo de atividade, um caráter social muito importante, particularmente quanto às populações rurais.

Particularmente no que diz respeito à indústria de ferro-ligas, a tabela III mostra a evolução da sua produção total no Brasil, nos últimos anos, com um crescimento de 212% em 10 anos.

A exportação do mesmo período é mostrada na Tabela IV, a qual quantifica as toneladas e o preço FOB em US\$. Observa-se que ocorreu uma evolução de 56% nas exportações brasileiras de ferro-ligas nos últimos 10 anos.

As cifras das Tabelas III e IV mostram o estágio e a força atual da indústria de ferro-ligas no Brasil, as quais, quase totalidade, cerca de 98%, são produzidas utilizando carvão vegetal como termo redutor, conforme mostrado na figura 2.

A Tabela V mostra a evolução do consumo de carvão vegetal na produção de ferro-ligas no Brasil, mostrando ser este setor responsável pelo consumo anual em torno de 2.200.000 m³ de carvão vegetal, o que representa cerca de 7,5% do total nacional.

A figura 3 mostra o índice de evolução do preço do carvão comparativamente aos índices econômicos no período de 80-84, e permite inferir que o preço do carvão vegetal, apresentou dentro de certos limites uma evolução similar ou paralela à evolução do valor do dólar ou inflação no mesmo período. Tal fato equivale dizer que o seu preço real, apesar da diversidade de fatores que o afetam, inclusive

o aumento da demanda no período, manteve-se estável. A elevação neste caso representando unicamente a desvalorização da moeda decorrente do índice de inflação.

Após esta breve introdução, a presente contribuição técnica analisará as principais características do carvão vegetal e suas possíveis influências na marcha dos fornos elétricos de redução, bem como sobre os resultados operacionais obtidos pela indústria de ferro-ligas no Brasil.

2. CARACTERÍSTICAS DO CARVÃO VEGETAL

Características Físicas:

A Tabela VI mostra exemplos das distribuições granulométricas daqueles dois tipos de carvão, conforme recebidos nas usinas.

Este carvão normalmente deveria passar por um beneficiamento, englobando peneiramento para a faixa adequada ao processo, por exemplo 10 - 30 mm, 10 - 50 mm, 10 - 70 mm ou mesmo 6 - 100 mm, o "over-size" sendo enquadrado dentro da faixa, através do processamento em britador de rolos e o "under-size" aqui chamado simplesmente "finos", sendo removido para sua ulterior utilização, por exemplo, nas instalações de sinterização ou na injeção no cadinho do forno, via eletrodo ôco.

Com relação ainda às características físicas, dois aspectos referentes ao fator forma devem aqui ser salientados:

- . a classificação do carvão vegetal, particularmente das frações maiores, é dificultada pela predominância de uma dimensão do material, devido a sua forma alongada;
- . a remoção de frações abaixo de 10mm ou 6mm, se deve à forma de lamelar tomada pelas partículas abaixo daquela malha, dependendo da natureza da madeira.

Como consequência da sua forma alongada, ensaios de beneficiamento mostram que o escalpe do carvão bruto recebido deve ser feito em 2", para assegurar-se que a maior dimensão do passante será

menor que 100 mm. Nesta hipótese, o "over-size" é então passado no britador de rolo.

A utilização de malhas de 3" ou 4" no escalpe, daria origem à passantes acima de 200 mm.

O carvão de eucalipto apresenta-se bem mais homogêneo que o carvão de mata nativa, constatando-se raramente em seus lotes, a presença de fragmentos não carbonizados.

A densidade aparente, "bulk density", material granulado - seco, encontra-se na faixa de 230-270 kg/m³ saindo desta faixa somente em casos especiais.

A porosidade do carvão vegetal está na faixa de 70-75%. O carvão vegetal, pelo menos teoricamente, poderia ser colocado em qualquer faixa granulométrica, porém, há limitações econômicas com relação à geração maior de "finos", quando estes não podem ser utilizados no processo ou comercializados a preços atrativos. Contudo, frações de 0 - 6 mm ou mesmo 6 - 10 mm, particularmente quando altas produtividades são desejadas, devem ser eliminadas da carga, tendo em vista o aspecto negativo de sua influência sobre as condições do fluxo gasoso, durante o processo, conforme se pode depreender da Figura 4.

Características Mecânicas:

O carvão vegetal apresenta uma resistência ao emagamento na faixa de 30 - 50 kg/cm², medida ra-

dialmente, valor este muitas vezes superior ao valor da pressão da coluna de carga, cerca de 0,16 a 0,22 kg/cm², em seu ponto mais crítico.

O "tumbler test" é considerado o mais importante ensaio para avaliação da resistência mecânica do carvão, pois, dentro de certos limites, indica sua friabilidade.

O índice de friabilidade f é expressado:

$$f = 100 \left(1 - \frac{\text{tamanho médio após o ensaio}}{\text{tamanho médio antes do ensaio}} \right)$$

Para os carvões de boa qualidade, no "tumbler test", este índice deve situar-se:

- . Carvão vegetal + 31,75 mm - 60% máx.
- . Carvão vegetal 6,35 a 31,75 mm - 40% máx.

O "shatter test" permite também avaliar a resistência mecânica do carvão vegetal, através do índice de friabilidade.

Para os carvões de boa qualidade, no "shatter test", este índice deve situar-se:

- . Carvão vegetal + 31,75 mm - 15% máx.
- . Carvão vegetal 6,35 a 31,75 mm - 4% máx.

Características Químicas:

A composição química do carvão vegetal depende das condições de carbonização da madeira e de sua origem, porém, os valores médios atuais encontrados para carvões de boa qualidade através de sua análise imediata devem situar-se nas faixas (base seca):

- . Carbono fixo : 75 - 80%
- . Cinzas : 2 - 4%
- . Matéria Volátil: 20 - 25%

A análise típica da matéria volátil em volume seria:

$\%CO_2$	$\%CO$	$\%H_2$	$CnHm$
9,0	20,0	64,0	7,0

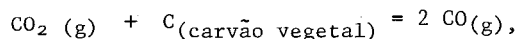
A análise média das cinzas, carvão da região de Minas Gerais, mostra:

$\% SiO_2$	$\% Al_2O_3$	$\% CaO$	$\% MgO$	$\% Fe_2O_3$
12-25	2 - 4	25-35	6-7	3 - 5

$\% Mn$	$\% K_2O$	$\% Na_2O$	$\% P$	$\% S$
0,5	10-15	1 - 2	1 - 3	0,05-0,06

O carvão vegetal é altamente higroscópico, apresentando, em média, normalmente 8 a 10 % de umidade.

O carvão vegetal possui alta reatividade e para este reductor a reação:



tem início a cerca de 800°C, o que é de grande importância, na medida que o perfil térmico do forno e sua performance são por ela afetados.

A temperatura de ignição do carvão vegetal situa-se de 240°C a 250°C e muitas vezes, sua medida é usada como um índice de reatividade.

O índice de reatividade do carvão vegetal a 950°C, medido pela reação com CO₂ é igual a 0,6 g/min.

Características Elétricas:

O carvão vegetal possui uma elevada resistividade elétrica, mesmo em níveis de temperatura mais elevados.

A resistividade elétrica do carvão vegetal granulado é influenciada pela faixa granulométrica ou tamanho médio para ele escolhido, conforme é mostrado na Figura 5.

Observa-se que faixas granulométricas com menor tamanho médio de grãos, sob mesma pressão, conferem à carga de redutor uma maior resistividade elétrica; no entanto, a diminuição do tamanho médio das partículas de carvão vegetal implica em uma necessária análise prévia das condições de escoamento gasoso, o qual seguramente seria prejudicado.

3. COMPARAÇÃO DO CARVÃO VEGETAL COM OUTROS REDUTORES

Sob o ponto de vista das características físicas pode-se dizer que o carvão vegetal apresenta desvantagens em termos de granulometria e fator de forma relativamente aos demais redutores, coque metalúrgico ou de gás, coque de petróleo, carvão mineral e antracito, os quais podem ser obtidos no mercado em forma praticamente esférica e em uma faixa granulométrica estreita, por exemplo 10-20 mm.

No que se refere à densidade aparente (Bulk density) o uso do coque e demais redutores, os quais possuem praticamente o dobro daquela do carvão vegetal, traz como conseqüências imediatas:

- . aumento da pressão na coluna de carga, Figuras 6 e 7, com reflexos negativos particularmente sobre a permeabilidade e resistividade elétrica da carga;
- . menor participação no volume total da carga, possibilitando o aumento do tempo de residência dos minérios na cuba do forno, com reflexos positivos sob as taxas de redução indireta, nos processos onde esta ocorre em maior extensão;
- . menor participação no volume total da carga, conduzindo à sua aglomeração ("pontes" ou "crostas"), devido à maior possibilidade de contato entre si das partículas de minérios.

Provavelmente devido ao fator forma, as condições de escoamento gasoso, seriam mais favoráveis no caso de

A temperatura de carbonização da madeira exerce uma grande influência sobre os valores das resistividades elétricas dos carvões produzidos à baixas temperaturas. Esta influência porém é menor, ou praticamente nula, em regiões de altas temperaturas, onde a carbonização é completada e os valores das resistividades tendem a igualar-se.

utilizar-se coque ou demais redutores quando admitindo-se estar o carvão vegetal, em uma mesma faixa granulométrica, Figuras 4, 8 e 9, esta última mostrando não haver vantagem alguma em carregar-se matéria acima de 30 mm ou 40 mm, pois neste caso não seria reduzido o valor da queda de pressão, porém diminuído o valor da "porosidade" do leito granulado, através do aumento da relação D/d onde:

- . D = diâmetro superior da faixa granulométrica do carvão vegetal;
- . d = Diâmetro inferior da faixa granulométrica do carvão vegetal.

Esta última figura permite inferir ser inadequado o carregamento de frações do carvão abaixo de 15 mm devido ao grande aumento do valor da queda de pressão a partir daquele tamanho de partícula.

Com relação às características mecânicas, o carvão vegetal apresenta desvantagens, pois, o efeito da abrasão sob a pressão nos leitos granulados de coque são menores que aquelas nos de carvão vegetal particularmente quando se considera-o misturado com os demais componentes da carga, com "dureza" maior.

Nas características químicas o carvão vegetal leva uma grande vantagem em relação ao coque de minérios pelas razões seguintes:

- . a baixa porcentagem de cinza e enxofre, com reflexos positivos na composição da liga final ou marcha do processo;
- . as matérias voláteis do carvão vegetal melhoram o balanço do forno elétrico que o utiliza.

A higroscopicidade do carvão vegetal é prejudicial pois, pode originar sobre condições de aquecimento e/ou altas temperaturas:

- . fragilização do carvão, durante a expansão do vapor d'água;
- . a reação de redução d'água pelo carbono formando CO e H₂, provavelmente com consumo extra de carbono e energia, por razões cinéticas.

A presença de uma pequena quantidade de alcalis é benéfica tal como ocorre na cinza do carvão vegetal, pois, aumenta a reatividade do redutor.

As características metalúrgicas dos redutores são mais complexas de serem analisadas e carecem de ensaios prévios, porém, a alta reatividade do redutor, tal como carvão vegetal, conduz às vantagens comprovadas. A reatividade depende, conforme pesquisas realizadas, da densidade do carvão vegetal, de sua porcentagem de carbono fixo, materiais voláteis e cinzas, bem como da temperatura em que ele foi carbonizado.

A Figura 10 mostra a variação da reatividade com a temperatura para diferentes tipos de redutores e permite inferir que a utilização de carvão vegetal praticamente conduz ao alcance do equilíbrio de Boudouard para o CO, CO₂ e C, o que se traduz em economia de carbono no processo.

A Figura 11 estabelecida com base nos dados de Collin, mostra comparativamente a reatividade de alguns agentes redutores, confirmando o carvão vegetal como aquele que possui um nível mais elevado.

A escala de reatividade dos redutores poderia ser resumida colocando-se em níveis próximos ao do carvão vegetal, portanto alta reatividade, o carvão de madeira e os carvões betuminosos. No nível de média reatividade, os linhetos e turfas, com seus respectivos coques. No nível de baixa reatividade o coque metalúrgico, o coque de petróleo verde e/ou calcinado e o antracito.

O carvão vegetal apresenta uma elevada resistividade elétrica quando comparada com a de outros redutores (Figuras 12 e 13), o que representa uma grande vantagem, a profundidade dos eletrodos na carga e/ou relação tensão/corrente, são marcadamente afetados por este parâmetro. O uso de carvão vegetal em substituição à outros redutores conduz à eletrodos mais profundos na carga, com elevadas relações tensão/corrente, com menores perdas térmicas e elétricas.

Conforme mostrado nas figuras 6 e 7 a pressão na coluna de carga dos fornos elétricos a carvão vegetal é inferior àquela dos fornos a coque e a pressão afeta sensivelmente a condutividade elétrica do redutor, influenciando portanto a performance do forno.

As Figuras 14 e 15 mostram a variação da resistividade elétrica com a temperatura, para diferentes pressões, nos casos particulares do carvão vegetal de 15 a 28 mm e coque de 15-25mm. As pressões utilizadas nas medições, correspondem àquelas calculadas para um mesmo forno, caso ele estivesse operando com carvão vegetal ou coque, levando-se em consideração as forças de fricção ou seja, portanto, as condições reais de operação.

4. NÚMEROS CARACTERÍSTICOS DA PRODUÇÃO DE FERRO LIGAS UTILIZANDO CARVÃO
VEGETAL COMO AGENTE REDUTOR

A Tabela VII mostra os números característicos típicos da produção de alguns ferro-ligas utilizando carvão vegetal como agente de redução.

Os números referem-se à fornos na faixa de 6,5 MVA e quando a "refusão é introduzida na carga e/ou sinter, os consumos específicos são baixados.

5. ANÁLISE DOS NÚMEROS CARACTERÍSTICOS DOS FORNOS ELÉTRICOS À CARVÃO
VEGETAL

Kelley(5) relata resultados de ensaios industriais conduzidos visando a comparação de performance do forno quando operado com redutores de reatividade diferente, durante longos períodos. Para um forno de 8MVA, na fabricação de FeSi 75% os resultados mostraram:

- . o uso de coque metalúrgico (baixa reatividade) em lugar de semi-coques (média reatividade) trazia como consequência a necessidade de se operar com tensões secundárias mais baixas;
- . a penetração dos eletrodos variava na faixa de 1,2 - 1,4 m para o semi-coque de grelha; 1,1 - 1,2 m para o semi-coque de retorna; 0,6 - 0,8 m para o coque metalúrgico.

Como consequência, a performance do forno era negativamente alterada quando o semi-coque de grelha era substituído pelo coque metalúrgico:

- . o consumo específico de energia era aumentado em 20%;
- . o consumo específico de pasta eletródica era aumentado em 35%;
- . o consumo específico de quartzo era aumentado em 25%, caracterizando elevadas perdas por volatilização ou escorificação.

A substituição do coque de gás (média para baixa reatividade) também na produção de ferro silício 75% em um forno de 10 MVA, indicou:

- . aumento no consumo específico de energia, cerca de 2%;
- . diminuição na taxa de recuperação do silício, cerca de 2%;
- . aumento no consumo específico de pasta, cerca de 5%.

A penetração do eletrodo era mais profunda e a tensão secundária mais alta, quando o coque era usado.

Com base nestas e outras informações de Kelley (5), fica patente que a reatividade tem uma sensível influência na marcha dos fornos, também por ele observada nos casos da produção de ferro-silício manganês e carbureto de cálcio. Estes fatos colocaram o carvão vegetal em posição privilegiada na escala dos redutores, pois, além de sua elevadíssima reatividade, possui alta pureza e elevada resistividade elétrica, mesmo em níveis mais altos de temperatura. Como consequência pode-se esperar performances técnicas ótimas dos fornos que utilizaram 100% de carvão vegetal como agente de redução, ao lado de boas performances econômicas devido à seus baixos preços, na faixa de US\$55.00 a US\$65.00, quando comparados com aqueles de outros redutores.

CONCLUSÃO

A indústria brasileira de ferro-ligas, em sua contínua expansão e desenvolvimento tecnológico, tem à sua disposição, a baixo preço, um agente de redução da melhor qualidade, o carvão vegetal o qual possui todas as características necessárias para a obtenção de performances técnicas ótimas dos fornos:

- . alta reatividade;
- . alto grau de pureza;
- . elevada resistividade elétrica, quando comparado com outros tipos de redutores, atualmente utilizados por indústrias similares.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Diretoria da Companhia de Cimento Portland Maringá, o apoio recebido para publicação deste trabalho.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- ABRACAVE - Associação Brasileira de Carvão Vegetal - Anuário Estatístico/85, publicação da ABRACAVE, Belo Horizonte - 1985.
- 2.- Silveira, Rubens C et Alii - Metalurgia dos Ferro-Ligas - Curso da Escola de Engenharia da UFMG, Editor: Prof. José Martins de Godoy, volumes I e II, Belo Horizonte - abril de 1980.
- 3.- Silveira, Rubens C.- Contribuição ao Estudo Elétrico e Metalúrgico dos Fornos Elétricos de Redução, Tese de Livre Docência e Doutorado, Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte - 1974.
- 4.- Silveira, Rubens C.- Influência do redutor sobre o consumo específico de energia e produção na fabricação de gusa em fornos Elétricos de Redução-Metalurgia - ABM, Volume 25, número 138, páginas 389 - maio de 1969.
- 5.- Kelley, J. T. - Evaluation of carbonaceous Reducing Agents - I. Reactivity Technical Report nº V-63-23, Union Carbide Metals Company - May 1963.

TABELA I: EXPORTAÇÃO DE CARVÃO VEGETAL - BRASIL

ANOS	TONELADAS	US\$ FOB
1979	31.169	2.149.663
1980	25.428	1.539.867
1981	9.435	1.010.105
1982	3.169	500.466
1983	6.512	774.080
1984	10.980	1.214.639

Fonte: CACEX

TABELA II: MÃO DE OBRA EMPREGADA NOS SETORES DE
REFLORESTAMENTO E DE CARVÃO VEGETAL

Ano: 1984

DISCRIMINAÇÃO	Nº EMPREGOS GERADOS	ATIVIDADES
Reflorestamento	106.000	Implantação, manutenção e - exploração florestal. Fabricação e transporte de carvão vegetal.
Carvão de origem nativa	210.000	Colheita, fabricação e trans- porte de carvão vegetal.
Empregos Diretos	60.000	Produção de ferro-ligas, ferro gusa, aço e laminados.

Fonte: ABRACAVE

TABELA III: EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO TOTAL DE FERRO - LIGAS- BRASIL(1)

Unidade: t

ANOS	PRODUÇÃO DE FERRO-LIGAS
1974	218.673
1975	256.671
1976	312.765
1977	372.144
1978	410.497
1979	485.149
1980	552.672
1981	564.069
1982	563.897
1983	580.723
1984	681.453

Fonte: CONSIDER/ABRAFE/ABRACAVE

TABELA IV: EXPORTAÇÃO DE FERRO-LIGAS BRASIL(1)

ANOS	TONELADAS	10 ³ US\$ FOB
1974	43.868	19.415
1975	60.712	47.768
1976	86.768	78.081
1977	113.555	80.402
1978	147.199	124.750
1979	163.073	164.768
1980	164.206	176.131
1981	252.013	217.937
1982	224.909	167.210
1983	345.801	203.341
1984	291.573	226.156

Fonte: CONSIDER/ CACEX / ABRACAVE

TABELA V: EVOLUÇÃO DO CONSUMO DE CARVÃO VEGETAL NA PRODUÇÃO DE FERRO-LIGAS BRASIL(1)

Unidade: m³

ANOS	CONSUMO DE CARVÃO VEGETAL NA PRODUÇÃO DE FERRO-LIGAS
1974	438.287
1975	522.369
1976	626.038
1977	756.021
1978	827.511
1979	974.983
1980	1.108.527
1981	1.543.357
1982	1.412.397
1983	1.853.183
1984	2.170.424

Fonte: CONSIDER/ABRAFE/ABRACAVE

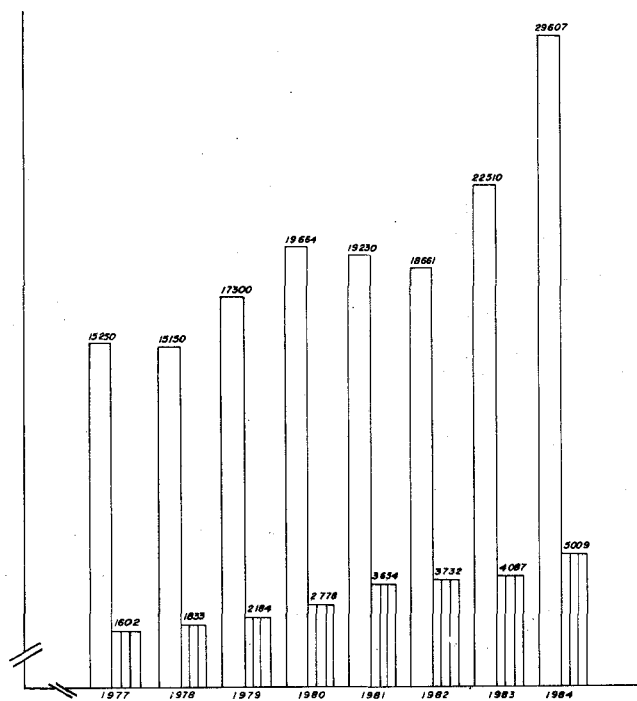
TABELA VI: EXEMPLO DE DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DE CARVÕES VEGETAIS DE MATA NATIVA E DE EUCALIPTO

FRAÇÃO		CARVÃO DE MATA		CARVÃO DE EUCALIPTO	
Polegadas	Milímetros	% Retida Simples	% Retida Acumulada	% Retida Simples	% Retida Acumulada
+4"	+101,0	6,51	6,51	1,38	1,38
-4" + 3"	-101,0 + 76,2	7,67	14,18	6,99	8,37
-3" + 2"	- 76,2 + 50,0	16,32	30,50	29,87	38,24
-2" + 1 1/2"	- 50,0 + 38,0	15,94	46,44	18,95	57,19
-1 1/2" + 7"	- 38,0 + 25,4	18,76	65,20	17,81	75,00
-1" + 1/2"	- 25,4 + 12,7	17,63	82,83	12,06	87,06
-1/2" + 3/8"	- 12,7 + 9,5	4,56	87,39	3,2	90,26
-3/8" + 1/4"	- 9,5 + 6,3	3,32	90,71	3,08	93,34
-1/4"	- 6,3	9,29	100,00	6,66	100,00

TABELA VII- NÚMEROS CARACTERÍSTICOS DA PRODUÇÃO DE DIFERENTES FERRO-LIGAS UTILIZANDO CARVÃO VEGETAL COMO REDUTOR

	U	FeSi 75%	SiMet	CaSi	FeMnAC	FeSiMn 16-20	FeCR	FeNi
Minério de Manganês:								
- A	Kg/t	-	-	-	840	350	-	-
- B	Kg/t	-	-	-	370	400	-	-
Sinter de Manganês	Kg/t	-	-	-	850	1060	-	-
Escória de FeMn	Kg/t	-	-	-	-	500	-	-
Misto	Kg/t	-	-	670	-	-	-	-
Refusão	Kg/t	30	-	-	-	-	-	-
Dolomita	Kg/t	-	-	-	210	-	-	-
Calcário	Kg/t	-	-	810	-	70	-	-
Minério de Ferro	Kg/t	285	-	-	-	30	-	-
Minério de Cromo	Kg/t	-	-	-	-	-	2400	-
Minério de Níquel	Kg/t	-	-	-	-	-	-	-
Quartzo	Kg/t	1860	2690	1350	-	172	120	-
Carvão Vegetal	Kg/t	1060	1150	1100	380	380	650	1150
Cavaco de Madeira	Kg/t	-	650	-	-	-	-	18500
Pasta Eletródica	Kg/t	40	120	150	-	-	20	78
Energia Elétrica	Kwh/t	7800	12500	9500-10500	2450-2600	3780	4300	13500
V/I	m.Ω	1,86-1,95	1,86	1,6-1,8	1,82	2,2	3,3	8,3

EVOLUÇÃO DO CONSUMO DE
CARVÃO VEGETAL — BRASIL
(10³ m³)

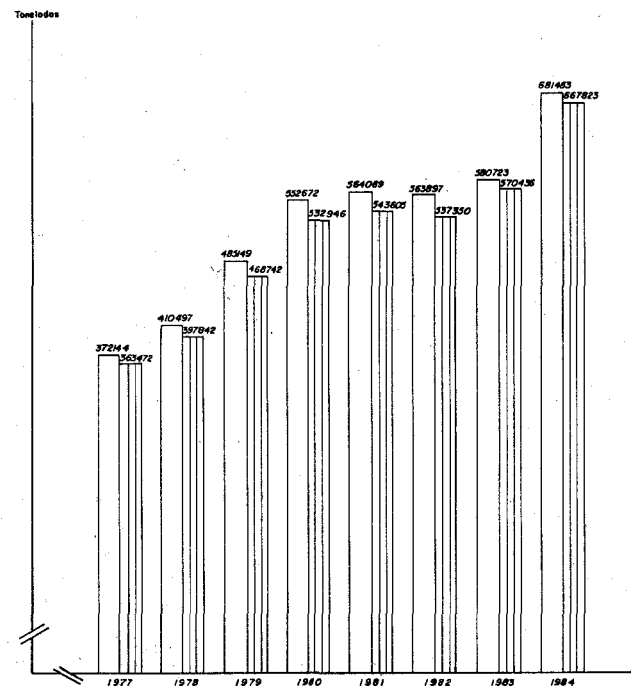


Carvão Vegetal Consumido
 Carvão Vegetal Originado de Reflorestamento

FONTE: ABRACAVE

FIGURA 1: EVOLUÇÃO DO CONSUMO DE CARVÃO VEGETAL NO BRASIL (1).

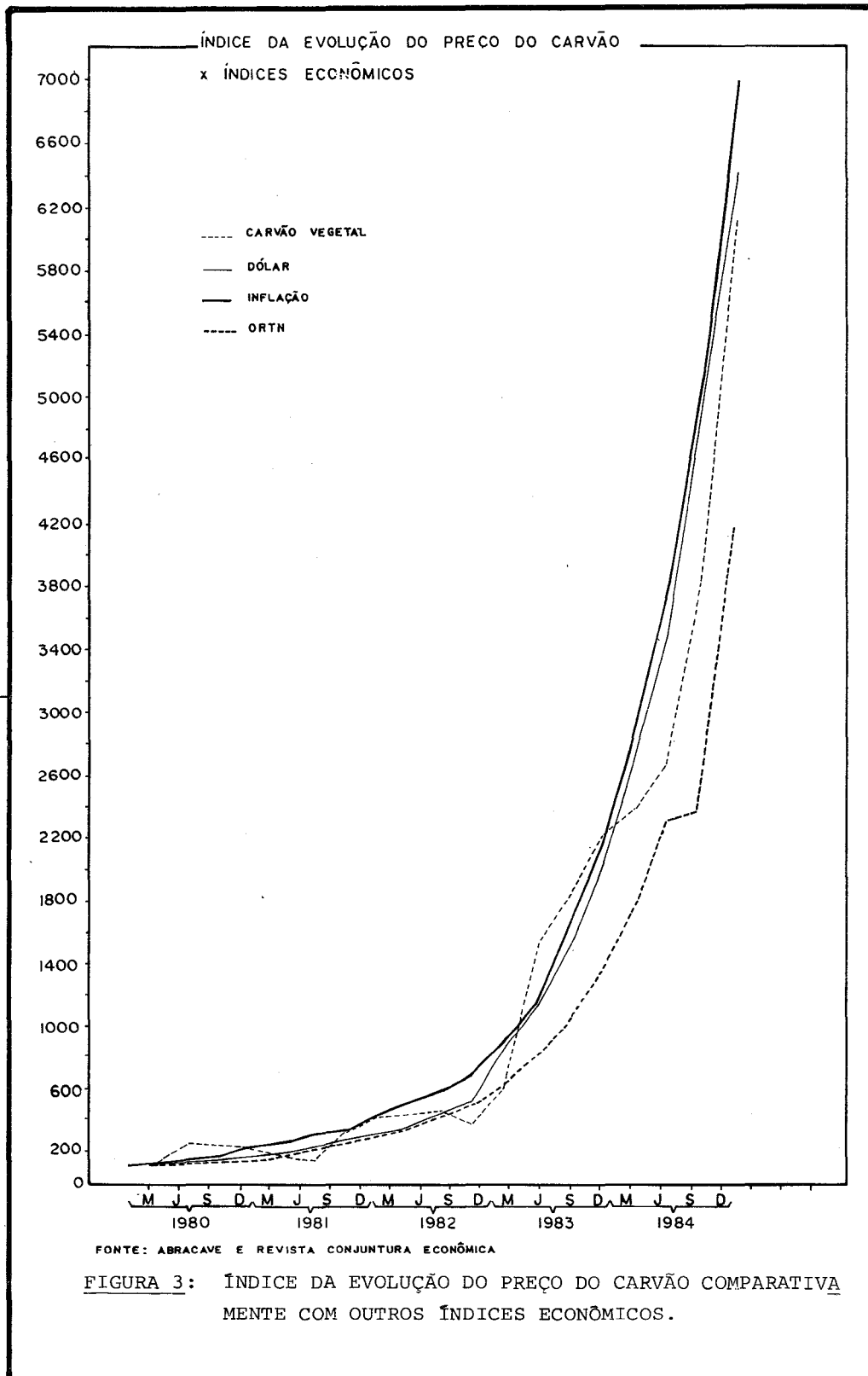
EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO DE
FERRO-LIGAS A CARVÃO VEGETAL — BRASIL



Ferro-Ligas Produzido no Brasil
 Ferro-Ligas Produzido a Carvão Vegetal

FONTE: ABRACAVE

FIGURA 2: EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO DE FERRO-LIGAS A CARVÃO VEGETAL NO BRASIL (1).



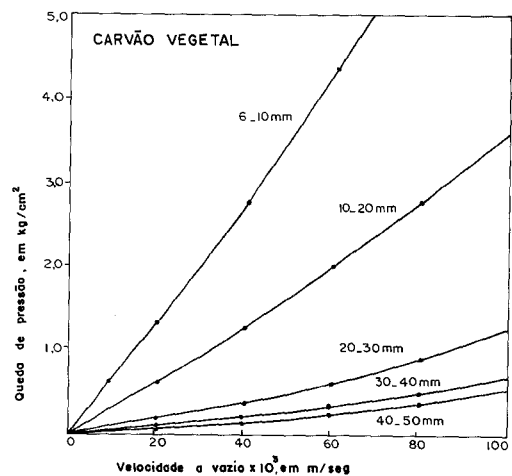


FIGURA 4: QUEDA DE PRESSÃO EM DEPENDÊNCIA COM A VELOCIDADE A VAZIO PARA DIFERENTES FAIXAS GRANULOMÉTRICAS DO CARVÃO VEGETAL, SEGUNDO SILVEIRA ET ALII (2).

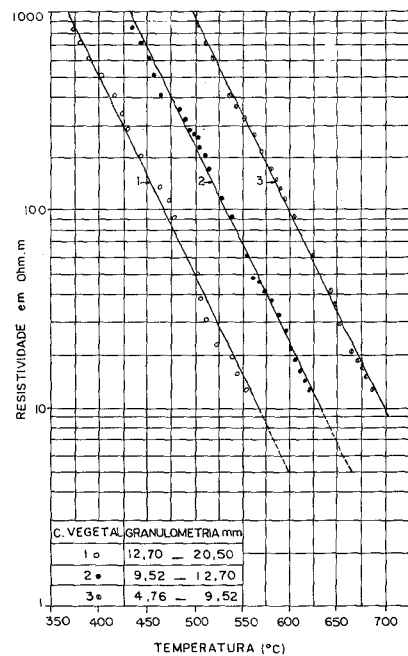


FIGURA 5: INFLUÊNCIA DA FAIXA GRANULOMÉTRICA SOBRE A RESISTIVIDADE ELÉTRICA DO CARVÃO VEGETAL, SEGUNDO ORIGINAL SILVEIRA (2).

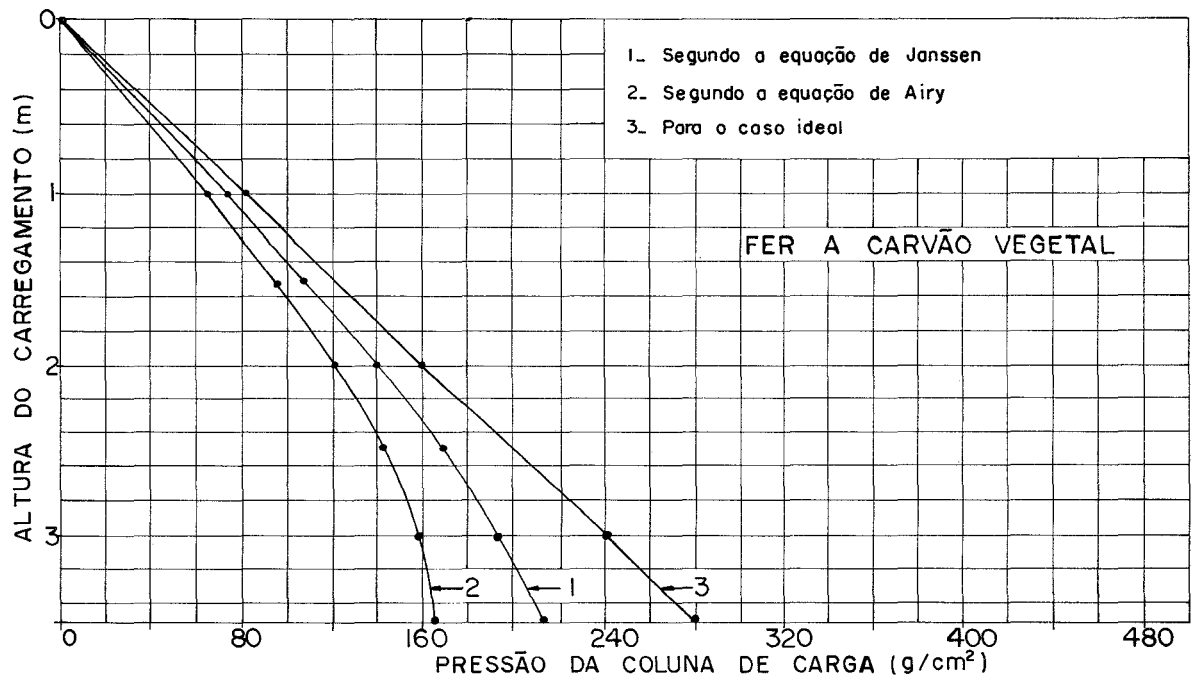


FIGURA 6: PRESSÃO DA COLUNA DE CARGA EM DEPENDÊNCIA COM A ALTURA DO CARREGAMENTO EM UM FORNO ELÉTRICO DE REDUÇÃO A CARVÃO VEGETAL.

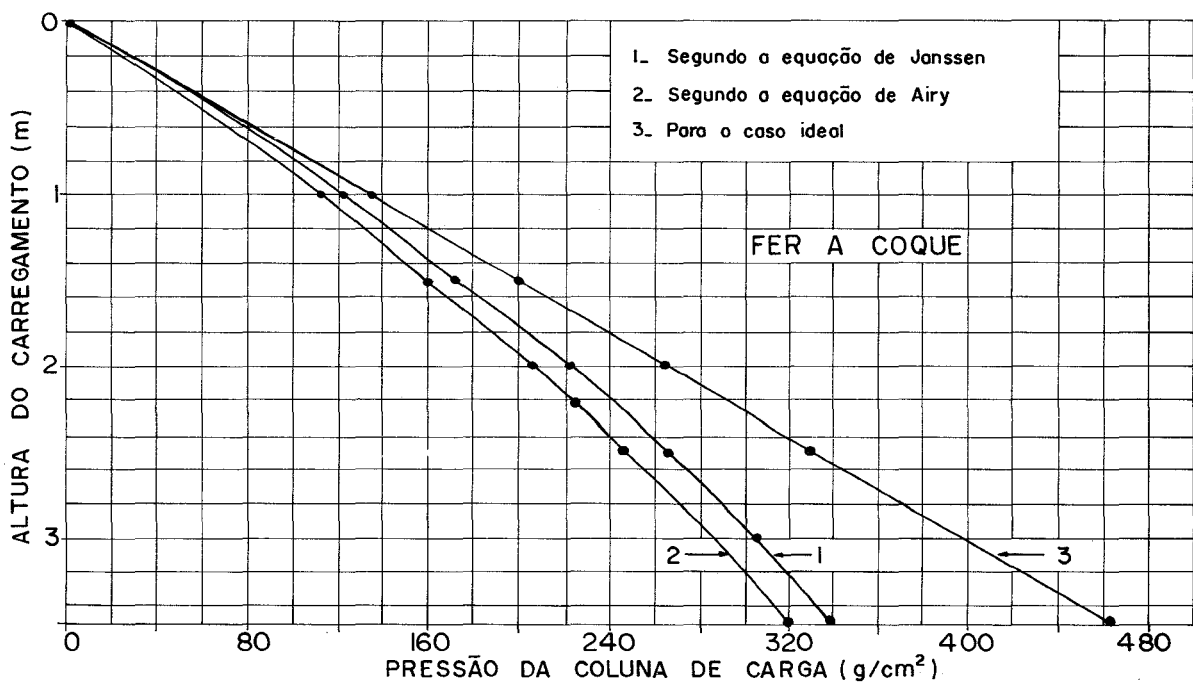


FIGURA 7: PRESSÃO DA COLUNA DE CARGA EM DEPENDÊNCIA COM A ALTURA DO CARREGAMENTO EM UM FORNO ELÉTRICO DE REDUÇÃO A COQUE,

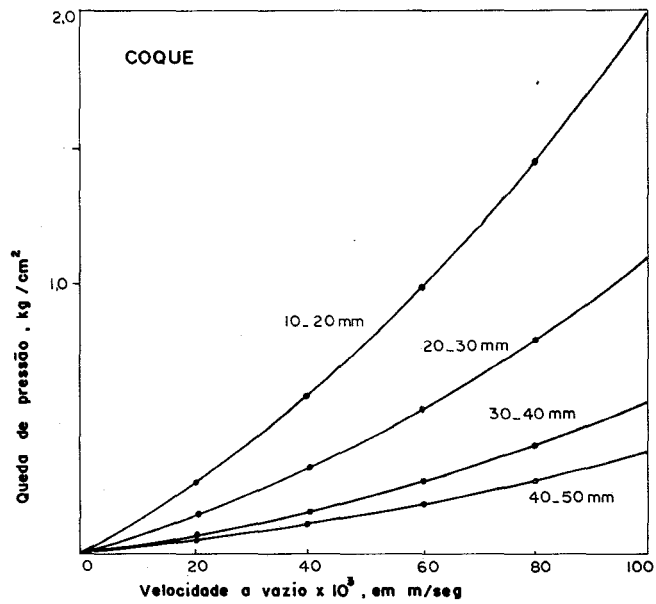


FIGURA 8: QUEDA DE PRESSÃO EM DEPENDÊNCIA COM A VELOCIDADE A VAZIO PARA DIFERENTES FAIXAS GRANULOMETRICAS DO COQUE, SEGUNDO SILVEIRA ET ALII (2).

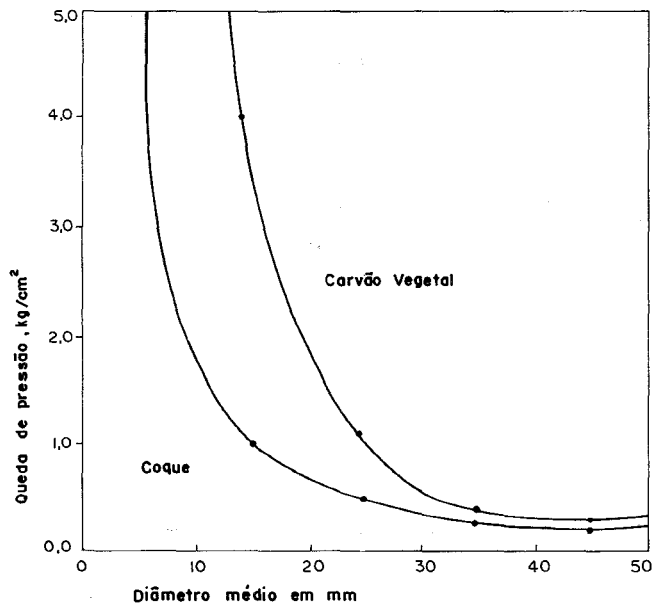


FIGURA 9: QUEDA DE PRESSÃO EM DEPENDÊNCIA COM O DIÂMETRO MÉDIO DO CARVÃO VEGETAL E COQUE, PARA UMA VELOCIDADE A VAZIO DE 0,06 m/seg., SEGUNDO SILVEIRA ALII (2).

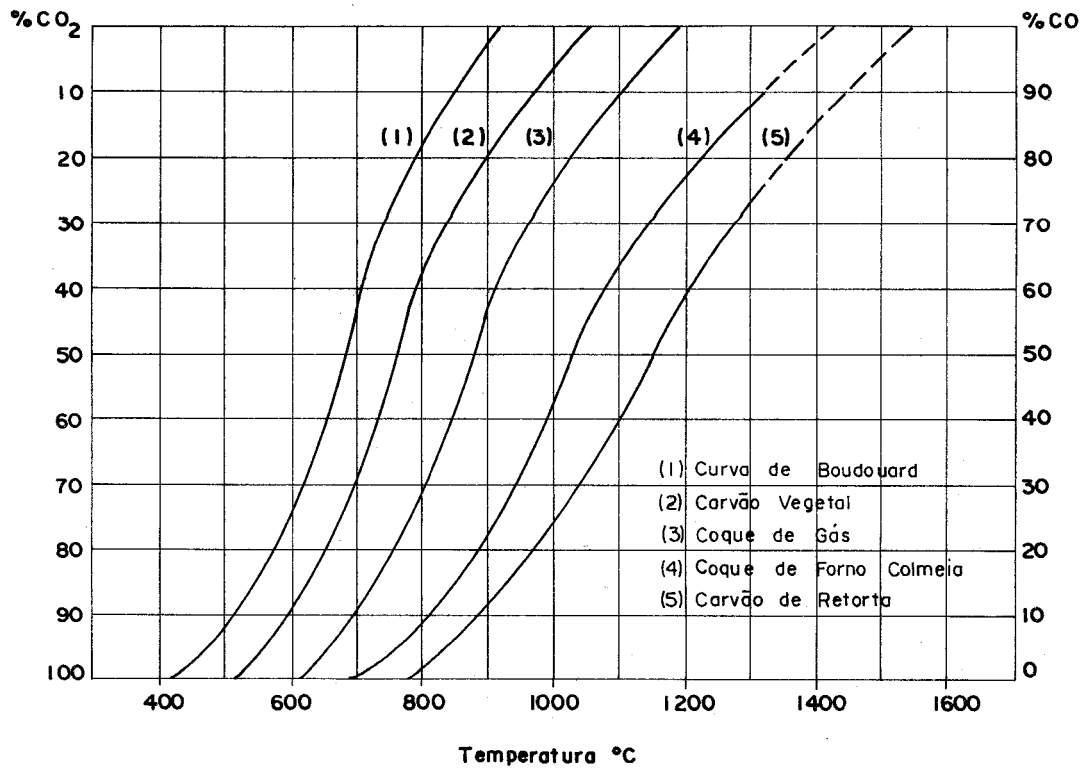


FIGURA 10: VARIAÇÃO DA REATIVIDADE COM A TEMPERATURA, CONFORME ORIGINAL DE KELLEY(5).

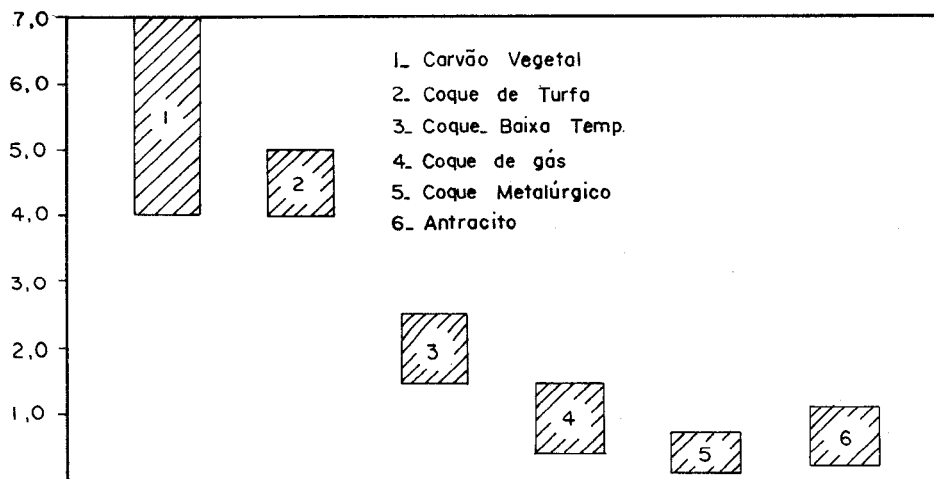


FIGURA 11- REATIVIDADE COMPARATIVA DE ALGUNS AGENTES REDUTORES (4).

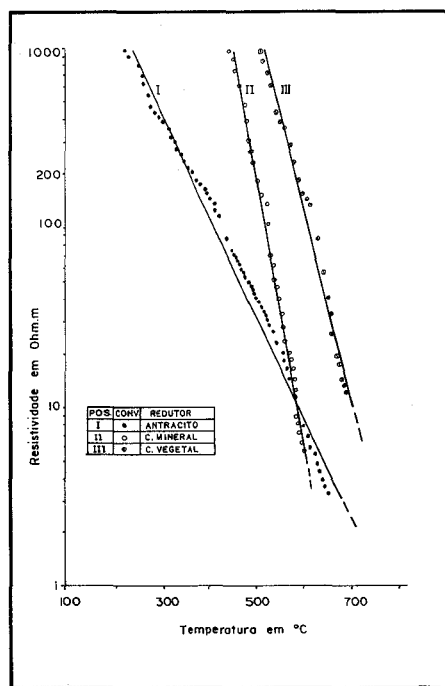


FIGURA 12: RESISTIVIDADE ELÉTRICA DO ANTRACITO, CARVÃO MINERAL ANTRACITOSO E CARVÃO VEGETAL EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA (4).

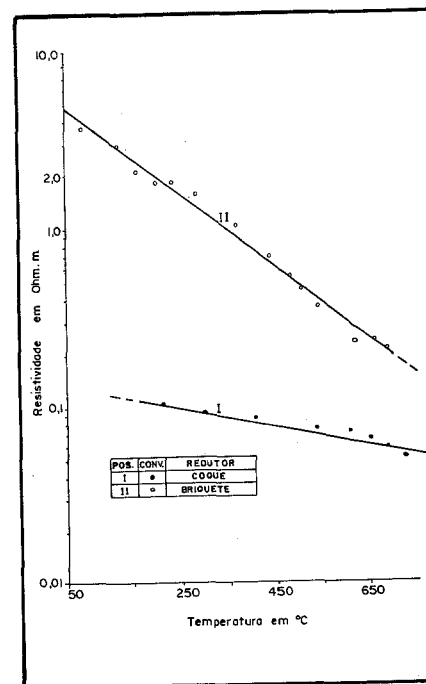


FIGURA 13: RESISTIVIDADE ELÉTRICA DO COQUE E DO BRIGUETE DO FINO DE COQUE EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA (4).

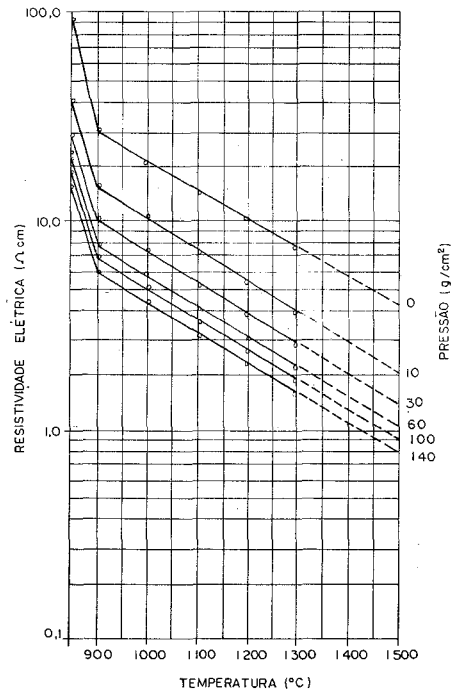


FIGURA 14: RESISTIVIDADE ELÉTRICA DO CARVÃO VEGETAL DE 15 - 28mm, EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA, PARA DIFERENTES PRESSÕES (3).

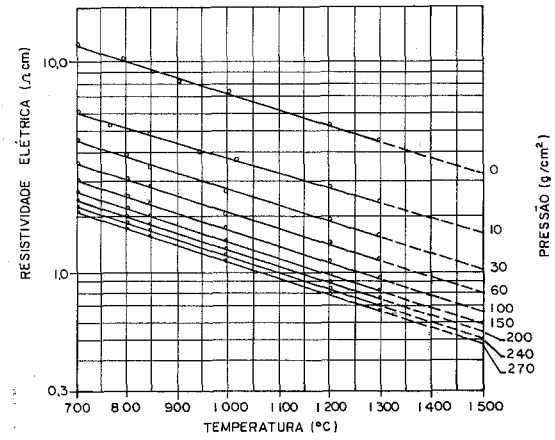


FIGURA 15: RESISTIVIDADE ELÉTRICA DO COQUE DE 10 - 25mm, EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA, PARA DIFERENTES PRESSÕES (3).