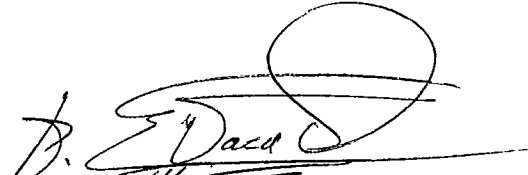


OTIMIZAÇÃO DE MISTURAS DE CARVÕES NA SIDERURGIA

JOSÉ PRADO FILHO

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS DE PÓS GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS (M.Sc.)


Aprovada por:



Prof. Felix Eduardo Vaca Obando
Presidente



Prof. Nelson Maculan Filho



Prof. Jair Koiller

RIO DE JANEIRO, RJ. - BRASIL

DEZEMBRO DE 1978

FILHO, JOSÉ PRADO

Otimização de Misturas de Carvões na Siderurgia. |Rio de Janeiro| 1978.

VIII, 86 p. 29,7 cm (COPPE-UFRJ, M.Sc., Engenharia de Sistemas e Computação, 1978).

Tese - Univ. Fed. Rio de Janeiro, Fac. Engenharia.

I. Otimização de Misturas de Carvões na Siderurgia. I. COPPE/UFRJ. Título (série).

D E D I C A T Ó R I A

Aos meus pais

Nelita

e

José

A G R A D E C I M E N T O S

Aos professores Félix Eduardo Vaca Obando e Nelson Maculan Filho pela orientação durante o desenrolar deste trabalho, Jair Koiller pela participação na banca examinadora. Mui especialmente, a Nelson Maculan Filho pelo apoio, incentivo e compreensão no momentos adversos que enfrontei quando da realização desta pesquisa.

Ao CEPED da Bahia pelo auxílio financeiro .

À Angela Maria Schwartz pela dedicação no trabalho datilográfico.

Aos demais professores, colegas, funcionários da COPPE/UFRJ e a todos aqueles que de forma direta ou indireta me auxiliaram na realização deste trabalho.

R E S U M O

Este trabalho descreve o uso da programação linear na minimização do custo no coque para o alto forno, pela seleção da oferta de carvões metalúrgicos. Apresenta um apinhado do que se conhece à respeito das especificações de carvões empregados na coquearia.

O custo do coque requerido num alto forno, foi baseado na correlação determinada por R.V. Flint, para o carbono efetivo. As restrições impostas ao modelo foram as de participação percentual de cada carvão, o máximo e mínimo da matéria volátil e os limites de enxôfre; cinza e carbono fixo na composição da mistura.

A seguir, mostra uma apreciação do valor ótimo sobre a avaliação nas mudanças paramétricas da sensibilidade do modelo.

A B S T R A C T

This work described the use of linear programming to minimize the cost of coke for blast furnace by offer selection of metalurgical coals. It gives a sumary of what is known about coal specifications used in coke plant.

The coke cost demand in a blast furnace was based in the correlation determined by R.V. Flint for the effective carbon. The imposed restrictions to the model where these of percentual participation of each coal, the maximum and minimum of volatile matter and the limits of sulfor, ash and fixed carbon in the mixture composition.

Following, it shows a appreciation of otimum value about the avaliation in the parametric changes of the model sensibility.

I N D I C E

	Páginas
CAPÍTULO I	1
I.1. INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO II	4
II.1. RESUMO HISTÓRICO	4
II.2. TEORIA DA FORMAÇÃO DO CARVÃO	5
II.2.1. CARBONIFICAÇÃO	7
II.2.2. A NATUREZA E COMPOSIÇÃO DOS CARVÕES MINERAIS	8
II.2.3. A PETROGRAFIA DO CARVÃO	9
II.2.4. COMPORTAMENTO TÉRMICO	13
II.3. REFLECTÂNCIA	15
II.4. ANÁLISE IMEDIATA	15
II.5. OUTRAS DETERMINAÇÕES COMUNS	18
II.6. ANÁLISE ELEMENTAR	19
CAPÍTULO III - CLASSIFICAÇÃO DOS CARVÕES	21
III.1. MÉTODOS DE ENSAIO USADOS NA CLASSIFICAÇÃO INTERNACIONAL DA ONU	23
III.1.1. ÍNDICE DE EXPANSÃO	23
III.1.2. DETERMINAÇÃO DO PODER AGLUTINANTE. MÉTODO ROGA	23
III.1.3. DETERMINAÇÃO DO COQUE - MÉTODO GRAY KING	24

	Páginas
III.1.4. ENSAIO DILATOMÉTRICO - AUDI- BERT - ARNU	24
III.2. CLASSIFICAÇÃO PETROGRÁFICA	25
CAPÍTULO IV - CARACTERÍSTICAS DOS CARVÕES COQUEIFICA- VEIS	33
IV.1. ESPECIFICAÇÃO PARA A COMPRA DE CARVÕES ..	37
CAPÍTULO V - TECNOLOGIA DA COQUEIFICAÇÃO	44
V.1. APROVEITAMENTO	46
V.2. PULVERIZAÇÃO	46
V.3. BATERIAS DE FORNOS	47
V.4. COQUE	49
CAPÍTULO VI - DESENVOLVIMENTO DO MODELO	55
VI.1. BASE DA PROGRAMAÇÃO	56
VI.1.1. EQUAÇÃO DO CUSTO TOTAL (FUNÇÃO OBJE- TIVA)	58
VI.1.2. EQUAÇÃO DE PARTICIPAÇÃO DE CADA CAR- VÃO	61
VI.1.3. EQUAÇÃO DA MÁXIMA E MÍNIMA VOLATILI- DADE	62
VI.1.4. LIMITE DO ENXÔFRE	62
VI.1.5. LIMITE DA CINZA	62
VI.1.6. LIMITE DO COQUE DE PETROLEO	63
VI.1.7. LIMITE MÍNIMO DO CARVÃO NACIONAL ...	63
VI.2. IMPLEMENTAÇÃO	64
APÊNDICE I - CARVÃO BRASILEIRO	68
APÊNDICE II - PROCEDIMENTO PETROGRÁFICO	74
BIBLIOGRAFIA	76

C A P Í T U L O . II.1. INTRODUÇÃO

A expansão nos tempos atuais da produção do aço, é uma tentativa brasileira de tornar-se auto - suficiente neste setor, em consonância com as demais atividades produtivas do país.

As dificuldades impostas a metalurgia nacional, encontram-se justamente nas usinas siderúrgicas quando verticalmente integradas desde a coqueria, e que são, sem dúvida, responsáveis pelo grande consumo de carvão, fazendo-o fundamentalmente importante à produção do coque metalúrgico requerido pelos altos-fornos onde se processa a extração do ferro de seus minérios na formação do Ferro-Gusa ou simplesmente Gusa.

Do carvão, origina-se os entraves na definição de suas propriedades, que vão atuar diretamente no consumo unitário e na produtividade do forno, afetando portanto, a economia do processo. A baixa qualidade do coque causada por uma não menos igual qualidade de carvões, eleva dessa maneira os custos de produção, aliada aos frequentes aumentos agravados pelo vulto das quantidades envolvidas nas transações comerciais. Ademais o perigo da formação de um cartel de produtores mundiais do carvão, ao exemplo da OPEP, oferecendo riscos de garan

tia ao seu suprimento.

Com a crescente demanda mundial do aço, conseqüentemente aumento no consumo de carvões pelas siderurgias, embora que a introdução de novas técnicas na operação dos altos-fornos, tais como a injeção de combustíveis nas ventaneiras, enriquecimento do ar, alta pressão no topo, uso de pré-reduzidos, etc., tenham trazidos significativos resultados e mostrarem capazes de manter a qualidade do coque em níveis razoáveis. Ainda assim, a disponibilidade da oferta de carvões não tem correspondido à necessidade de sua absorção. Desta maneira, os carvões de inferior qualidade têm que ser introduzidos na operação de coqueria.

Assim o abastecimento do carvão na produção de coque nas principais usinas siderúrgicas nacionais reveste-se de certas complexidades do ponto de vista técnico-econômico, implicando em:

- qualificação dos diversos carvões que irão compor a mistura a coqueificar; e
- avaliação técnico-econômica dessas misturas, objetivando a minimização do custo do gusa por influência do fator coque, uma vez que o carvão representa 60% do custo total.

Neste estudo, tentaremos apresentar o pouco do que se conhece sobre o carvão mineral, definindo parâmetros quantitativos e qualitativos visando as especificações dos carvões empregados no processo siderúrgico.

A conceituação R.V. Flint ¹⁷, para o carbo

no efetivo do coque se faz extensiva as misturas do carvões, levando-se em conta suas análises e a pequena variação no rendimento do coque pré-estabelecido entre 27 a 29% de matéria volátil. Os fundamentos necessários a escorificação da cinza obtidos em cada mistura, não foram levados em consideração, que apesar de terem preços, estes são insignificantes e têm prospecção ilimitada- em contrapartida ao crédito proporcionado pela linha de sub-produtos.

Em observância a imensa variedade de fornecedores e tipos de carvões, utilizamo-nos da programação linear como método de avaliação econômica das misturas de carvão, visando possibilitar a minimização dos custos, que agem diretamente no consumo e produtividade do forno, na determinação de uma composição ótima sujeita as restrições metalúrgicas.

C A P Í T U L O I III.1. RESUMO HISTÓRICO

Provavelmente, conhecido dos chineses e tendo por eles sido lavrado há muitos séculos antes de Cristo, nas minas de Chengi. Mais tarde o carvão foi descoberto por Marco Polo nos anos de 1280, como uma curiosidade encontrada na China.

Teofrastes (372 - 287 a.C.), discípulo de Aristóteles (384 - 322 a.C.), o chamou de - α η τ ρ α ξ - de signação da qual se originou o termo de antracito.

Na invasão da Gália pelos romanos (58 - 50 a.C.), sua atenção foi despertada pela estranheza de uma terra inflamável que estava sendo extraídas das montanhas próximas a Saint Etienne.

Os mais antigos documentos sobre o assunto datam do século XII, uma vez que somente na idade média, o carvão viria ser redescoberto na Europa. No entanto, sua importância veio ser considerada em fins do século XVIII com o advento da Revolução Industrial.

II.2. TEORIA DA FORMAÇÃO DO CARVÃO

O carvão mineral de massa compacta estratificada de matéria vegetal, cujo processo de decomposição foi interrompido como resultado de ação biológica, As modificações nas propriedades da matéria vegetal envolvem alterações complexas nos constituintes da sua estrutura, com a evolução de umidade, gás carbono e metano.

Os depósitos carboníferos se localizam em regiões montanhosas, onde alterações geológicas, no período quaternário causaram o soterramento de florestas. No desenvolvimento da vegetação da época, era necessário um clima ameno, bastante umidade e solo fértil.

A flora do carbonífero era composta de quatro grandes grupos de plantas:

- Articulatae
- Lepidophyta
- Pteridophyllae
- Cordaites.

Do grupo Articulatae as Calamites se distinguem pelo porte. Cresciam em meio palustre e se assemelhavam a plantas conhecidas atualmente pelo nome de rabos de cavalo.

Nos Lepidophyta as representantes mais importantes eram o Lepidodendron e a Sigillaria. Eram plantas de

grande porte que cresciam em ambiente mais seco que o anteriormente referido.

O grupo Pteridophyllae incluía os fetos (pteridopytes) e os fetos arborescentes (Pteridospermae). Estes fetos, abundantes e de tipos variados, eram as mais delgadas espécies existentes. Predominavam os generos Sphenopteris, Pecopteris e Neuropteris num meio relativamente seco.

As Cordaites eram as mais destacáveis representantes da flora no Período Carbonífero. Lembram as atuais palmeiras e cresciam em meio bem mais seco ¹.

Nos Lignitos pode observar-se ainda restos da estrutura das plantas que o formaram.

As condições prováveis é que, nas vizinhanças de cordilheiras, que representavam coletores de chuvas e, devido as diferenças de alturas entre os montes e a planície, provocaram com o tempo uma erosão intensiva, resultando em fonte de suprimento de minerais pela consequente sedimentação nas baixadas. Outra condição essencial teria sido o abaixamento do subsolo lento, porém, interrompido. Como resultado, a região das florestas que ficara submersa transformando-se em um lago. Com o passar do tempo, argila e areia eram arrastadas pela erosão natural e o depósito de Turfa recoberto por uma camada de terra. A compactação progressiva se fazia pelo acúmulo cada vez maior de matéria depositada na superfície. No decorrer dos séculos, o abaixamento do subsolo pode ter sido sustado e até anulado pela formação de montanhas.

Durante esses movimentos, grandes pressões eram exercidas nas diversas camadas do solo. E, naturalmente,

também sobre os depósitos vegetais. A ação combinada de temperatura e pressão aplicadas durante vários períodos, causaram modificações profundas na estrutura da turfa, com a eliminação da água, dos gases carbono e metano assim, progressivamente o teor de carbono no material residual.

II.2.1. CARBONIFICAÇÃO

A carbonificação pode ser definida como um acréscimo gradual no conteúdo de carbono de fósseis orgânicos. Este processo subdividiu-se em dois estágios, nem sempre de separação nítida:

- Estágio bioquímico responsável pelo processo de transformação de restos de plantas em turfa;

- Estágio geoquímico durante o qual tem lugar o metamorfismo.

Nem o tempo, nem as pressões tectônicas são apontados como fatores influenciadores do grau de carbonificação. Todavia, há evidências que a temperatura reinante no depósito ditada pelo grau geométrico seja a grande responsável pelo estágio geoquímico da carbonificação e que esta se processa gradualmente resultando a sequência - turfa, lignito, hulha e antracito.

II.2.2. A NATUREZA E COMPOSIÇÃO DOS CARVÕES MINERAIS

Fóssil de acumulação da energia solar, atuando como fonte dinâmica de captação de carbono em reação com oxigênio, o carvão é um complexo orgânico resultado da estratificação acumulada de plantas em rochas sedimentárias mescladas de compostos químicos diferentes.

A Celulose $(C_6 H_{10} O_5)_n$, é estabelecida como seu constituinte principal, entre outros compostos como carboidratos, açúcares complexos, gomas, resinas, esporos, etc., reunidos em um produto de substâncias degradadas. A fermentação e o metamorfismo geológico modificam estes componentes, destruindo alguns rapidamente, enquanto outros com lentidão, causando novas reações químicas, como por exemplo, o ácido húmico e hidrocarboretos. É devido a perda de massa que os constituintes menores na matéria podem ser concentrados durante o processo.

Ao estudo destes constituintes e componentes individuais do carvão se denomina de Análise Racional. A Análise Racional está baseada na interpretação dos dados postos em exame, tais como o tratamento do carvão com dissolventes orgânicos, destilação destrutiva à temperaturas diferentes e ao estudo microscópico.

II.2.3. A PETROGRAFIA DO CARVÃO

A Petrografia fornece a composição dos carvões em termos que podem ser relacionados com o seu comportamento durante a sua coqueificação e com características físicas e químicas do coque resultante. Os dados de micro estrutura do coque também tem sido importantes para explicar as variações nas suas propriedades físicas e comportamento no alto forno.

O estudo descritivo e sistemático do carvão através do microscópio se desenvolveu rapidamente desde o início do século e os resultados alcançados na última década mostraram ser de uma aplicação notável à seleção e utilização dos carvões.

A análise microscópica da composição do carvão revela ser este de composição heterogênea constituído de partículas orgânicas qualificadas intermisturadas com partículas minerais, e, formado por vários constituintes de diversas propriedades óticas as quais recebem designações de termos tais como:

- Lithotype
- Maceral
- Microlithotype

O termo "Lithotype" é usado para designar as quatro faixas diferentes do carvão húmico reconhecidas macroscopicamente. São os seguintes:

a. Vitrain - ocorre em faixas uniformes de 3 a 5mm de espessura, negras, brilhantes e vítreas. Tem fratura conchoidal e não mancha as mãos;

b. Clarain - ocorre em faixas com brilho lustroso de espessura variável. Atualmente este termo vem sendo usado para designar as faixas finamente estriadas de carvão, com aparência intermediária entre vitrain e durain. Ao microscópio apresenta ter uma composição muito variável entre os três grupos de macerais, vitrinite, exinite e inertite;

c. Durain - ocorre em faixas e lentes, sendo caracterizado por sua cor cinza a negro pardacento e superfície áspera com brilho fosco. Geralmente tem fratura granular. No microscópio mostra consistir de "microlithotypes" ricos em exinite ou inertinite.

d. Fusain - negro de brilho sedoso e estrutura fibrosa, sendo macio e extremamente friável quando não empregnado com minerais, desintegrando-se em pó negro quando manuseado asperamente. No microscópio mostra-se normalmente opaco, podendo porém em seções finas ser levemente translúcido, de cor vermelho escuro. Geralmente mostra a estrutura celular das plantas.

"Maceral" designa os constituintes microscópicos elementares do carvão de forma análoga aos minerais na rocha. São agrupados de acordo com as suas propriedades petrográficas e recebem em grupo ou individualmente, o sufixo

"ite". A divisão dos macerais em grupo é convencional e representa uma simplificação de grande utilidade, sendo que cada grupo congrega minerais que não são idênticos mas que se assemelham ao microscópio. Os grupos são os seguintes:

a. Vitrinite - é o grupo que compreende "colinite" e "telinite". Quando a sua faixa tem espessura superior a 14 microns torna-se sinônimo de "anthraxylon". Normalmente revela algo da estrutura da planta de origem (tecido celular humificado) e varia em cor do alaranjado ao vermelho escuro, em luz transmitida.

b. Exinite ou Liptinite - congrega os seguintes macerais: Sporinite, Cutinite, Alginite e Resinite. Estes macerais não são necessariamente oriundos de exinas de esporos no carvão, mas parecem ter tecnicamente propriedades similares. Em luz transmitida apresenta-se em cor amarelo-ouro quando tem mais de 35% de matérias voláteis; amarela-avermelhado entre 20% e 35% de matérias voláteis; e a mesma cor da vitrinite com menos de 20% de matérias voláteis.

c. Inertinite - agrupa os seguintes macerais: micrinite, sclerotinite, semi-fusinite e fusinite. Sua origem vegetal compreende tecido celular carbonizado e fúngico. Geralmente em luz transmitida apresenta-se opaco e as vezes, marrom avermelhado escuro. Cientistas americanos, especialmente Sparkman tem substituído o nome "maceral" para "entidades", termo esse que é usado para designar as substâncias orgânicas

de origem do carvão distintas ótica e/ou fisicamente. Desta forma o sufixo "ite" dos macerais foi substituído por "oid".

O termo "microlithotype" designa na análise microscópica dos carvões húmicos as associações típicas de macerais, cuja espessura mínima das faixas tem sido fixada em 50 microns; recebem também o sufixo "ite". Observa-se que a sua delimitação apesar de arbitrária e convencional parece concordar com o seu comportamento técnico. E são elas:

- a. Vitritê - contém mais de 95% de vitrinite
- b. Liptite - tem mais de 95% de exinite
- c. Fusite - possui mais de 95% de fusinite + semi-fusinite + sclerotinite.
- d. Clarite - contém mais de 95% de vitrinite e exinite; a participação de cada um pode variar, embora deva ser maior que a proporção de inertinite e nunca exceder a 95%.
- e. Durite - com mais de 95% de inertinite e exinite; variando a participação de cada e sendo maior que a proporção de vitrinite e nunca superior a 95%.
- f. Vitrinertite - com mais de 95% de vitrinite e inertinite; individualmente variam em proporções e excedem a exinite.
- g. Duroclarite - tem mais de 5% de cada grupo de macerais, sendo que em pro

porções, a vitrinite deve ser maior que a inertinite.

h. Clarodurite - com mais de 5% de cada grupo de macerais e proporções de inertinite maior que as de vitrinite.

II.2.4. COMPORTAMENTO TÉRMICO

O coque será em função de comportamento dos diversos componentes petrográficos durante a coqueificação. Na petrografia aplicada a classificação fundamental dos constituintes é simplificada e estão agrupadas de acordo com a reatividade ou inertibilidade durante o processo.

i - Reativos - são os macerais que amolecem, deformam, despreendem gases e perdem a sua identidade durante a coqueificação.

ii - Inertes - mantêm sua identidade durante o processo e podem ser reconhecidos, no coque, em exame microscópico.

Entre as duas fases existe a fase intermediária denominada de semi-inertes, constituída de elementos que se comportam parcialmente como reativos e inertes.

Os macerais usados nas aplicações de petro-

grafia de carvões à coqueificação, tem o seguinte comportamento:

a. Vitrinite - é o principal componente do carvão, torna-se plástico e atua como material ligante que envolve os constituintes inertes durante o processo de coqueificação.

b. Exinite - torna-se muito fluída e volatiliza mais que qualquer outro maceral do carvão, exceto a resinite de baixa reflectância.

c. Resinite - tem ponto baixo de amolecimento e é quase completamente volatilizada durante a coqueificação.

d. Micronite - possui alto teor em carbono e normalmente ocorre em pequenas partículas. Comporta-se como um inerte no processo de coqueificação. A sua fina granulometria auxilia na formação de uma resistente parede celular, pois são facilmente envolvidas pelos componentes fundidos do carvão.

e. Eusinite - possui alto teor de carbono e permanece inerte durante a coqueificação, conservando sua estrutura celular característica mesmo em coque de alta temperatura. Quando presente em granulometria mais grossa favorece a formação de fissuras e microfissuras.

f. Semi-fusinite - atua em parte como reativo e em parte como inerte. A porção reativa é envolvida e funde-se na estrutura do coque em contato com a vitrinite.

II.3. REFLECTÂNCIA

É a capacidade que um corpo tem de refletir a luz. Na petrografia do carvão trabalhos demonstram que diferenças na reflectância média da vitrinite implicam em mudanças no rank de carvão, ou seja, aumentando o rank do carvão aumenta esta reflectância média.

II.4. ANÁLISE IMEDIATA

Trata da classificação prática dos carvões e suas valorações em aplicação determinada. Empiricamente os resultados dependem do procedimento analítico empregado. Os dados obtidos pela Análise Imediata ou Análise Quantitativa, são as porcentagens de umidade, cinza, matéria volátil e carbono fixo. Tendo considerável importância na relação com as características e comportamento usuais do carvão neste trabalho.

O procedimento padronizado da análise imediata e outros trabalhos de exame do carvão e coque tem sido publicados pela AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. É essencial a padronização dos métodos à análise imediata, uma vez que há tendências de desuniformização nas provas feitas em laboratórios, compradores e vendedores.

A Análise Imediata (ASTM - D-271), consiste das seguintes determinações:

a. Umidade - a determinação da presença da água no carvão é complexa devido a uma série de fatores:

- mesmo quando aquecido acima de 100°C o carvão continua a perder peso;
- durante o processo de preparação de amostras o conteúdo de umidade pode mudar o que deixaria de se constituir em amostras verdadeiramente representativas;
- a perda de peso pode ser a parte da própria dissolução dos gases; e
- alguns carvões se oxidam rapidamente e ganham peso reduzindo aparentemente o conteúdo de umidade.

Este método consiste no aquecimento de 10 g de carvão (carvão pulverizado e fazendo-o passar em 72 Mesh British Standard Test Sieve), na presença de 105 a 110°C no tempo de $1\ 1/2$ a 3 horas. A perda de peso é tomada como conteúdo de umidade. Um outro método alternativo é o da absorção da água conduzida por um sifão e pesada após o processo.

b. Cinza - quando o carvão é queimado a matéria mineral é transformada em cinzas como resultado de várias reações como a decomposição de carbonatos e substâncias outras nas quais os gases são separados, a transformação do

oxigênio em óxidos, formação de enxôfre orgânico, perda de água, etc.. Nestas reações o conteúdo de cinza é determinado por meio empírico, mas sob condições de rígido controle.

O método adotado é para o peso de 1 gr. de carvão (-72 mesh B.S.), aquecido a temperatura de 850° C. Quando a incineração está completa, a amostra é coletada num dissecador e é outra vez pesada.

c. Matéria Volátil - é mais importante de terminação da análise do carvão porque a matéria volátil é usada como parâmetro num sistema de classificação e avaliações dos carvões para combustão e carbonização. Para a produção de coque metalúrgico, a concentração de matérias voláteis pode ser tão baixa quanto possível e ainda compatível com as boas propriedades coqueificantes. Numa usina produtora de gás de iluminação prefere-se carvão com alto teor de matéria volátil, devido a seu rendimento maior em gás. Em geral as misturas de carvão para coque metalúrgico tem 23 a 35% de matéria volátil (base seca). Os carvões de alta volatilidade dão coque de baixa resistência mecânica e em geral, são misturados a outros de menor teor de matéria volátil. O carvão de baixa volatilidade tende a expandir-se durante o aquecimento, é pouco o seu rendimento em produtos de destilação do carvão.

O método de determinação consiste no aquecimento sem contato com ar. Cerca de 1 gr de carvão é aquecido em temperatura de 900° C por 7 minutos (a temperatura usada em diferentes regiões varia algumas vezes, como acontece com a média e duração de aquecimento). A perda de peso é a matéria

ria volátil, a existência de uma correção é feita da própria umidade.

II.5. OUTRAS DETERMINAÇÕES COMUNS

í. Carbono Fixo - é uma taxa de utilização do carbono no alto forno expressa por 100% menos a soma em percentuais do conteúdo de umidade, cinza e matéria volátil. Como o conteúdo de umidade está sujeito a variações acidentais, o cálculo pode ser feito considerando-se a uma base seca, livre de umidade: cinza + matéria volátil + carbono fixo = 100%.

ii. Matéria Mineral - quando o carvão é queimado, ou seja, quando se impõe condições violentas de oxidação das matérias oxidáveis nele contidas pelo processo da combustão, o carbono presente se transforma em gases (CO₂ e CO). A matéria mineral do carvão se transformará em cinzas e, está associada as substâncias existentes no carvão das quais não é possível uma separação completa por meios físicos. Métodos indiretos precisam ser usados para determinação da sua quantidade, uma fórmula empírica derivada de exames de um grande número de carvões tem sido proposta e é geralmente aceitável:

$$\text{Matéria Mineral} = 1.06 \text{ cinza} + 0.53 \text{ S} + 0.74 \text{ CO}_2 - 0.32.$$

iii. Poder Calorífico - a simplificação elementar na definição de Poder Calorífico é o número unitário de calor liberado quando uma grama de carvão é queimado na presença do oxigênio, sob condições padronizadas. A substância residual começa a formar gases de oxigênio, dióxido de enxofre, nitrogênio, água em forma líquida e cinzas.

II.6. ANÁLISE ELEMENTAR

Os principais elementos químicos do carvão associados à parte da matéria inorgânica tais como, o carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio e enxofre, são determinados diretamente num trabalho mais complexo do que a análise imediata, denominado de Análise Elementar ou Análise Final. Podem fornecer dados de valor considerável do carvão sobre apreciação de uma aplicação determinada, serve ao cálculo estequiométrico do balanço de materiais e determina-se o poder calorífico na ausência de mensuração de laboratórios.

a. Carbono e Hidrogênio - o princípio básico é queimar o carvão conhecendo-se previamente o seu peso. O dióxido de carbono e água são coletados e pesados, as quantidades de carbono e hidrogênio são conhecidos.

b. Enxofre - o enxofre é uma impureza importante no produto da combustão sob a forma de óxido de enxofre. Cerca de 60% a 65% do enxofre contido no carvão carregado per

manecem no coque produzido. O bom coque metalúrgico deve ter menos de 1% de S.

c. Oxigênio - é usualmente estimado indiretamente por subtração da soma do carbono, nitrogênio, enxofre e o conteúdo de cinzas tido em 100%. Esse método inclui todos os erros envolvidos nas determinações separadas. Recentemente tem sido dada atenção ao método direto através a pirólise do carvão a 1.100° C, em que se converte o oxigênio em monóxido de carbono, sendo determinado por processos padrão.

d. Nitrogênio - a determinação do nitrogênio no carvão e coque são variáveis. Baseados na decomposição, oxidação e redução. A presença do cloro com um ou outro elemento combinado pode resultar em deposição ou corrosão e/ou outras dificuldades na combustão, conhecimentos sobre sua concentração se faz necessário.

C A P Í T U L O I I ICLASSIFICAÇÃO DOS CARVÕES

Os inúmeros usos, propriedades e a grande variedade dos carvões tem como resultado diversos sistemas de classificação, dentre as necessidades e do ponto de vista de cada um. Em geral, os sistemas classificatórios baseiam-se na idade biológica, análise petrográfica, rank, estrutura, considerações comerciais e até aparências. A variável que caracteriza o depósito da mina do carvão tem influência no esquema, embora a maioria reporte-se fundamentalmente na análise imediata e/ou elementar. A descrição breve em termos de propriedades econômicas é necessária em alguns sistemas de classificação. As classificações comerciais dão preferência a parâmetros como os de matéria volátil, "caking index" e "coking index". A tabela I mostra os critérios usados em diversos países para a classificação dos carvões.

A "American Society for Testing and Materials" (ASTM), procurou classificar os carvões baseando-se para os carvões mais nobres nos valores de carbono em parâmetros de rank usando a matéria volátil como base até 31% (dry, mineral-matter-free) e poder calorífico para carvões de rank inferior. A tabela II apresenta a classificação ame

ricana (ASTM).

Sob os auspícios da Organização das Nações Unidas, num trabalho da Comissão Econômica para Europa sobre o estudo das diversas especificações de carvão, teve como resultado a apresentação da International Classification System of Hard Coals.

Na classificação Internacional o carvão é definido por três dígitos: o primeiro define o rank do carvão baseado em matéria volátil até 33% (seco, deduzidas as cinzas) e poder calorífico (úmido, isento de cinzas) para matérias voláteis acima de 33%; o segundo dígito, é em função do poder aglutinante (caking index), esta definição traduz o comportamento do carvão quando aquecido rapidamente e que pode ser expresso pelo índice de expansão, ensaio de cadinho, ou pelo índice de Roga; o terceiro dígito é em função do poder coqueificante dos carvões, (coking index) traduz o comportamento do carvão quando aquecido lentamente, para a definição do poder coqueificante para fins da classificação Internacional, foram escolhidos dois métodos de alternativas - o ensaio dilatométrico Audibert-Arnu e ensaio de Gray-King de coqueificação à baixa temperatura. A tabela III sumariza a Classificação Internacional.

Detalhando na classificação internacional as propriedades coqueificantes apresentadas na tabela IV.

III.1. MÉTODOS DE ENSAIO USADOS NA CLASSIFICAÇÃO INTERNACIONAL DA ONU

III.1.1. ÍNDICE DE EXPANSÃO

(Swelling index). O ensaio tem finalidade de determinar as propriedades de expansão de um carvão aquecido até a temperatura de 820° C em cadinho hermético. O carvão seco ao ar é moído abaixo de 0,2 mm no dia em que deve ser realizado o ensaio. Uma grama do carvão recentemente triturado é colocada no cadinho, batendo-se levemente com o mesmo até igualar a superfície. Cobre-se com a tampa e aquece-se até desaparecerem as da combustão das matérias voláteis, depois de 2 1/2 minutos. Depois de esfriado remove-se cuidadosamente o botão de coque formado e se compara com os perfis padronizados e numerados de análises anteriores. Para efetuar a comparação, o botão de coque deve ser girado em torno do seu eixo para apresentar o maior perfil. O ensaio é feito cinco vezes seguidas, tomando-se o cuidado de limpar o cadinho antes de recommençar o teste.

III.1.2. DETERMINAÇÃO DO PODER AGLUTINANTE - MÉTODO ROGA

O poder aglutinante é a propriedade que o

carvão tem de formar um coque fundido, quando reduzido a fragmentos pequenos e desgaseificado a temperaturas elevadas. Para que possa haver aglutinação, o carvão aquecido na ausência do ar deve passar gradualmente ao estado plástico. O poder aglutinante expresso em valores numéricos depende de outros processos produzidos durante o tratamento térmico do carvão. O ensaio de Roga é definido pela resistência mecânica do coque obtido no cadinho misturando-se 1 gr. de carvão com quantidade determinada de antracito, utilizado como diluente. O botão de coque obtido é submetido ao ensaio do tambor, conforme método rigorosamente determinado.

III.1.3. DETERMINAÇÃO DO COQUE - MÉTODO GRAY-KING

As propriedades aglutinantes de carvões ou misturas são determinadas na carbonização sob condições padrões em laboratório a uma temperatura final de 600° C. O resíduo de coque obtido pela carbonização é classificado pela comparação com certo número de tipos de coque claramente definidos.

III.1.4. ENSAIO DILATOMÉTRICO - AUDIBERT-ARNU

Tem por finalidade determinar as proprieda-

des coqueificantes de carvões ou misturas. Num tubo estreito e bem calibrado coloca-se um lápis de carvão pulverizado, moldado sob pressão, sobre o qual se coloca uma haste de aço calibrada. O conjunto é aquecido a uma velocidade constante definida e a leitura do deslocamento do pistão em função da temperatura permite traçar uma curva semi-sinusoidal.

III.2. CLASSIFICAÇÃO PETROGRÁFICA

A classificação do carvão por tipo e características petrográficas é baseada em dois métodos diferentes dos quais resultam em terminologias diferenciadas, todavia, tem-se usado uma aproximação mais correlata possível para ambas. A natureza e o propósito do trabalho petrográfico e rank do carvão seriam determinado pelo método a escolher.

No primeiro método, publicado por uma organização conhecida há algumas décadas com THIESSEN BUREAU OF MINES, consiste em que seções de carvão de diversas espessuras em microns são examinadas microscopicamente pela Transmissão da Luz. Os micro-componentes são designados em termos de suas origens botânicas e o carvão classificado de acordo com os restos vegetais provavelmente visíveis. Estudos com este sistema foi transportado para um ponto onde foi possível a estimativa do grau de comportamento na hidrogenação do carvão de modo acurado. O extensivo trabalho demonstrou que o coque e as propriedades da fabricação dos sub-produtos do

carvão poderiam ser relatadas quantitativamente, mas comercialmente, as aplicações não foram realizadas dentro de uma rotina de procedência analítica e pela falta de interesse das siderúrgicas estimuladas pelo potencial da oferta informativa de aplicação em operações práticas.

No segundo método, apresentado por Marie C. Stopes a um nível maior de detalhamento em que introduziu o termo "maceral", descrito para designar as substâncias elementares do carvão no "Second International Congress for the Study of the Stratigraphy of Carboniferous Rocks". Empregou-se princípios e técnicas adaptadas ao uso originariamente metalográfica. A superfície polida do carvão é examinada microscopicamente pela Luz Refletida. Pequenas amostras representativas são rotineiramente empregadas na determinação do conteúdo de unidade, cinza e enxôfre. Por contraste, a maior parte dos testes neste método na determinação da qualidade do coque requer larga representatividade amostral (50 à 2.000 lbs.), exceto em alguns testes de Plano de Escala. Todavia, na atualidade, os resultados da análise petrográfica neste método não são necessariamente fornecidos rapidamente, quando somente poucos exemplos são envolvidos.

O procedimento petroográfico, será tratado no apêndice desse trabalho.

TABELA 1 - CRITÉRIOS PARA AS CLASSIFICAÇÕES COMERCIAIS DO CARVÃO

PAÍS	ÍNDICE DE RANK	CAKING INDEX (ASSOCIAÇÃO DE INCHAMENTO OU AGLOMERAÇÃO)	COKING INDEX (ÍNDICE DE COQUEIFICAÇÃO)
Bélgica	Matéria Volátil	-	-
Alemanha	Matéria Volátil	Aparência do <u>bo</u> tão de coque	-
Holanda	Matéria Volátil	Aparência do <u>bo</u> tão de coque	-
França	Matéria Volátil	FSI	-
Itália	Matéria Volátil	FSI	-
Polônia	Matéria Volátil	Índice Roga	-
Inglaterra	Matéria Volátil	-	Gray-King
USA	Matéria Volátil e Poder Calorífico	-	-
Internacional	Matéria Volátil	FSI ou Índice <u>Ro</u> ga	Dilatômetro de Gray - King

Fonte: CSN/Diretoria de Matérias Primas

TABELA II - CLASSIFICAÇÃO DE CARVÃO POR RANK (ASTM)

CLASSE	GRUPO	MATÉRIA VOLÁTIL (d.m.m.f.) (%)		PODER CALORÍFICO BTU/lb (m.m.m.f.)		CARACTERÍSTICA AGLO- MERANTE
		IGUAL OU MAIOR QUE	MENOR QUE	IGUAL OU MAIOR QUE	MENOR QUE	
I. Antracito	1. Metaantracito	-	2	-	-	Não Aglomerante
	2. Antracito	2	8	-	-	
	3. Semiantracito	8	14	-	-	
II. Betuminoso	1. Carvão Betuminoso baixo volátil	14	22	-	-	Normalmente Aglomerante
	2. Carvão Betuminoso médio volátil	22	31	-	-	
	3. Carvão Betuminoso alto volátil A	31	-	14000	-	
	4. Carvão Betuminoso alto volátil B	-	-	13000	14000	
	5. Carvão Betuminoso alto volátil C	-	-	11500	13000	
				10500	11500	Aglomerante

CLASSE	GRUPO	MATÉRIA VOLÁTIL (d.m.m.f.) (%)		PODER CALORÍFICO BTU/lb (m.m.m.f.)		CARACTERÍSTICA AGLO- MERANTE
		IGUAL OU MAIOR QUE	MENOR QUE	IGUAL OU MAIOR QUE	MENOR QUE	
III. Subbetumino- so	1. Carvão Subbetu- minoso A	-	-	10500	11500	NÃO
	2. Carvão Subbetu- minoso B	-	-	9500	10500	Aglomerante
	3. Carvão Subbetu- minoso C	-	-	8300	9500	
IV. Lignito	1. Lignito A	-	-	6300	8300	NÃO
	2. Lignito B	-	-	-	6300	Aglomerante

Fonte: CSN/Diretoria de Matérias Primas

TABELA III - CLASSIFICAÇÃO INTERNACIONAL DOS CARVÕES

NÚMERO	1º DÍGITO (CLASS NUMBER)		2º DÍGITO PROPRIEDADE AGLUTINANTE (GROUP NUMBER)		3º DÍGITO PROPRIEDADE COQUEIFICANTE (SUB-GROUP NUMBER)	
	MATÉRIA VOLÁ TIL (d.a.f.) (%)	PODER CALO RIFICO SU- PERIOR (m. a.f.) kcal/kg	FREE SWELLING NUMBER	ROGA INDEX	DILATOMER TEST (% DI LATAÇÃO)	ENSAIO GRAY- KING (TIPO DO COQUE)
0	0 - 3	-	0 - 1/2	0 - 5	Não Amolece	A
1	3 - 10	-	1 - 2	Nenhuma prop. aglutinante	Apenas Concen- tração	B-D
2	10 - 14	-	1 1/2-4	20-45	0	E-G
3	14 - 20	-	4	Média prop. aglutinante	0 - 50	G ₁ - G ₄
4	20 - 28	-	Forte prop. aglutinante		50 - 140	G ₅ - G ₈

Continuação da Tabela III: CLASSIFICAÇÃO INTERNACIONAL DOS CARVÕES

NÚMERO	1º DÍGITO (CLASS NUMBER)		2º DÍGITO PROPRIEDADE AGLUTINANTE (GROUP NUMBER)		3º DÍGITO PROPRIEDADE COQUEIFICANTE (SUB-GROUP NUMBER)	
	MATÉRIA VOLÁ TIL (d.a.f.) (%)	PODER CALO RÍFICO SU- PERIOR (m.a. f.) kcal/kg	FREE SWELLING NUMBER	ROGA INDEX	DILATOMER TEST (% DI LATAÇÃO)	ENSAIO GRAY- KING (TIPO DO COQUE)
5	28 - 33	-	-	-	140	G ₈
6	33 - 41	7750	-	-	-	-
7	33 - 44	7200-7750	-	-	-	-
8	35 - 50	6100-7200	-	-	-	-
9	42 - 50	6100	-	-	-	-

Fonte: CSN/Diretoria de Matérias Primas

TABELA IV - PROPRIEDADES COQUEIFICANTES PARA EFEITO DA CLASSIFICAÇÃO INTERNACIONAL DOS CARVÕES

SUBGRUPOS	PROPRIEDADES COQUEIFICANTES	TESTE DO DILATOMETRO (% DILATAÇÃO)	ENSAIO GRAY-KING (TIPO DO COQUE)
0	Nenhuma	Não há Amolecimento	A
1	Pobre (somente pode ser usada em adição a um carvão com excessivas propriedades coqueificantes)	Apenas Contração	B - D
2	Fraca (somente pode ser usado em adição a um carvão com boas propriedades coqueificantes).	≥ 0	E - G
3	Moderada (preferivelmente de ser misturada)	0 - 50	G ₁ - G ₄
4	Boa	50 - 140	G ₅ - G ₈
5	Excessiva (a ser misturada com carvão de piores propriedades coqueificantes)	> 140	G ₈

C A P Í T U L O I VCARACTERÍSTICAS DOS CARVÕES COQUEIFICÁVEIS

No desenvolvimento da indústria em países que não possuem reservas de carvão de qualidade superior, foi dada maior ênfase à importância de sua preparação. Os objetivos principais deste preparo para a coqueificação visam os de melhorar as propriedades físicas e químicas do coque, evitar danos aos fornos durante a destilação, permitir o uso de carvão de qualidade inferior e obter o máximo de rendimento e eficiência da operação dos fornos.

Nas usinas siderúrgicas, as misturas de carvões são testadas preliminarmente em fornos de ensaio, nos quais as condições prevalecentes numa coqueria industrial são bem aproximadas. Uma das paredes do forno é fixa e a outra é montada sobre rolos de modo a poder ser movimentada, muito embora na realidade, a parede não se mexa durante o processo de coqueificação. Ao invés disso, a pressão exercida na parede do forno é transmitida por meio de alavancas para uma balança de plataforma. Este sistema dá a indicação da tendência de inchamento ou expansão do carvão.

O uso dos fornos de coque reduzida para verificação do comportamento das misturas, destaca-se o forno Koppers, de parede móvel e o da Bethlehem Steel. Estes fornos experimentais desenvolvidos para determinar as características de expan

são das misturas de carvões são também usados para determinar o efeito da exposição às intepéries, do gradiente de coqueificação ou da temperatura na qualidade do coque e os resultados da densidade da carga nas características do produto, no tempo de coqueificação, etc.

A principal exigência que se faz ao carvão é a uniformidade das suas características, como o teor de umidade, matérias voláteis, cinza, enxôfre, granulometria e plasticidade. O que realmente se deseja numa coqueria é produzir um coque que atenda as especificações do Alto Forno e, a consecução de um ponto mais difícil que é o da previsão de qualidade do coque referente a sua resistência mecânica.

Os diferentes tipos de carvão, apresentam variações marcantes em suas características de coqueificação; alguns carvões se expandem, outros não sofrem modificações e ainda há uns que se contraem. A tabela IV demonstrou que a mistura de carvões pode ter um dos constituintes de baixo poder coqueificante contanto que outros constituintes elevem o poder coqueificante global.

A característica da plasticidade apresenta quando o carvão é aquecido na ausência do ar, acima de 350°C, começa amolecer a medida que a temperatura aumenta, o carvão resulta em massa plástica relativamente fluída, com o despreendimento de gases e vapores condensáveis. As bolhas de gás retidas na massa plástica, à medida que se expandem, tendem a distendê-la. No carvão com alto teor de volatilidade os gases escapam rapidamente o carvão não se expande, podendo até contrair-se. Já o inverso acontece aos carvões de baixa vola-

tilidade, cuja massa plástica é mais viscosa e os gases não escapam tão rapidamente e ao se expandirem o volume da mistura; o carvão gradualmente se solidifica na estrutura celular característica do coque.

Para medir a plasticidade, emprega-se o plastômetro de Gieseler no qual uma amostra de 4,2 gr de carvão moído é aquecida a velocidade constante. A rotação de um braço com 4 hastes, durante a fase plástica do carvão é registrada em função da temperatura. O teste de plasticidade de Gieseler tenderá ser substituído pelo índice de expansão do cadinho, usado para o sistema de Classificação Internacional do Carvão recomendado pela ONU, todavia é de grande validade na determinação do grau de oxidação do carvão, sendo útil também na previsão da estabilidade do coque.

As especificações da temperatura de fusão de cinzas e de teor de álcalis visam a preservar a vida dos refratários de fornos do coque. As especificações granulométrica de finos da mistura são colocadas com o objetivo de evitar uma percentagem demasiada de finos na mistura do carvão. Observou-se que se o teor de finos (-100 Mesh), passar substancialmente de 10% haverá um arraste para os tubos de ascensão causando problemas operacionais, diminuindo a produtividade dos fornos.

As especificações de cinza e enxôfre são colocadas com o objetivo de que o coque produzido contenha cinza e enxôfre dos limites toleráveis à operação do Alto Forno.

Outro ensaio de importância pe o da determinação da curva de dilatação; é feita segundo norma recomendada pela ONU, através do dilatômetro da Arnu.

Em geral pode-se dizer que a Densidade Bruta (Bulk Density) do carvão, quando maior aumenta a produção de coque e dos produtos de destilação com melhorias na qualidade do coque fabricado. A Densidade Bruta é o peso por metro cúbico do carvão carregado no forno de coque. Normalmente varia entre 600 Kg/m^3 e 800 Kg/m^3 . Aumento na densidade representa aumento do peso do carvão coqueificado; em operação normal, os principais fatores que afetam a densidade bruta são as variações da umidade do carvão e a granulometria do carvão pulverizado. Outros fatores de menor importância seriam o peso específico do carvão, a forma das partículas e as condições de superfície das mesmas. O carvão seco tem densidade bruta mais elevada; à medida que a umidade aumenta, a densidade bruta decresce uniformemente, ocorrendo um mínimo entre 5 e 9% de umidade. A adição de óleo ao carvão controla esta propriedade diminuindo a densidade bruta do carvão seco e aumentando no úmido.

O método de análise petrográfica tem sido útil na previsão da qualidade de um carvão, comumente empregado nos Estados Unidos e Europa e recentemente difundido. Ao examinar-se ao microscópio uma seção de carvão, poder-se-á ter em função do rank médio e do balanço reativo/inerte como o "Anthraxylon" e fusinite; uma idéia do comportamento do carvão nos fornos de coque.

Observa-se que os carvões coqueificáveis, apresentam percentagem de carbono na vitrinite entre 77 a 91%, de matéria volátil 8 a 42% (seco, isento de cinzas), poder calorífico (isento de cinzas) de 7.000 a 8.650 Kcal/kg e

poder refletor da vitrinite entre 2.5 e 0.5.

IV.1. ESPECIFICAÇÃO PARA A COMPRA DE CARVÕES

A maior parte dos carvões que servem as nos_s siderúrgicas, tem sido o do tipo importado, os quais exi_bem excelentes características e mesmo em mistura com o carvão brasileiro, obtém-se coque de boa qualidade. As especificações do tipo importado tal como são enviado por seus fornecedores , em originais em ingles, cumpre as seguintes finalidades:

a. Origem - a identificação do carvão pelo nome da mina, camada, distrito, estado, etc.

b. Tamanho e Análise Granulométrica - limitação de granulometria, no sentido de reduzir a um mínimo os finos de carvão. Esta especificação para os tipos médio e baixo voláteis são mais tolerantes, uma vez que se trata de carvões mais friáveis.

c. Análise - ao se fixar o máximo de umidade, se pretendeu reduzir as despesas de transportes; os máximos de enxôfre e cinza, por convêniência metalúrgica na diluição dos efeitos em mistura com o carvão nacional.

d. Impurezas - ítem generalizado, para possibilidade de rescisão de contrato de fornecimentos, quando comprovada a existência de materiais no carvão que prejudiquem a alvenaria, coqueria e altos fornos.

e. Uniformidade - baseado em análises num processo de avaliação técnico-econômica, as exigências são justificadas quando a uniformidade dos carvões asseguram a uniformidade do coque produzido.

A tabela V exhibe como exemplo, cláusulas de contrato de compra em dois carvões importados.

A tabela VI mostra as características médias de carvões coqueificáveis à disposição das usinas siderúrgicas brasileiras.

A tabela VII apresenta os carvões usados neste modelo.

TABELA V - ESPECIFICAÇÃO DO CONTRATO DE
COMPRA DE CARVÕES

	CARVÃO ATMV A	CARVÃO BTMV B
Matéria Volátil (%)	31 - 34	16 - 19
Cinza (%)	7.5	7.5
Umidade (%)	7.0 - 7.5	5 - 6
Enxôfre (%)	0.90	0.88
Temperatura de fusão das cinzas	1300° C	1315°C
Na ₂ O + K ₂ O (%)	0.32	0.02%
FSI	5 - 7	-
Granulometria	2.5 a 3.5% - 0.25mm	4% - 100M

Fonte: CSN/Diretoria de Matérias Primas

TABELA VI

CARACTERÍSTICAS MÉDIAS DE CARVÕES COQUEIFICÁVEIS

À DISPOSIÇÃO DAS USINAS SIDERÚRGICAS NACIONAIS

PROCEDÊNCIA	CINZA %	UMIDADE %	ENXÓFRE %	M. V. %	FSI
CARVÕES DE ALTO TEOR EM MATÉRIA VOLÁTIL					
ESTADOS UNIDOS	3,5	4,5	0,7 - 0,8	35	8,0
	4,0	4,0	0,75	30,5	-
	4,0	2,0	1,00	28	8,0 - 9,0
	5,0 - 6,0	4,5	0,75-0,85	34 - 35	7,0 - 9,0
	6,5	3,0 - 6,0	0,90	32	7,5 - 9,0
	6,5	7,0	0,90	39 - 41	4,5 - 5,5
	6,0 - 7,0	4,5	0,80	30 - 33	7,0 - 9,0
	6,5 - 7,0	4,5 - 6,0	1,00-1,10	34	7,0 - 8,0
	7,0	6,0	1,15	33 - 34	8,0 - 9,0
	7,5	5,0	0,95	34	6,0 - 7,0

Continuação da Tabela VI - CARACTERÍSTICAS MÉDIAS DE CARVÕES COQUEIFICANTES
À DISPOSIÇÃO DAS USINAS SIDERÚRGICAS NACIONAIS

PROCEDÊNCIA	CINZA %	UMIDADE %	ENXÔFRE %	M.V. %	FSI
CARVÕES DE ALTO TEOR EM MÁTERIA VOLÁTIL					
AUSTRÁLIA	7,0 - 7,5	7,0	0,75	35	4,0 - 5,0
	8,5	10,0	0,50	27	5,0
	8,5	10,5	0,55	27 - 30	6,0 - 7,0
	8,5 - 9,0	7,0	0,60	37,5	5,0
	9,0 - 10,0	7,0	0,7 - 0,8	33	5,0 - 6,0
	9,5 - 10,0	7,0	0,45	28	5,0
POLÔNIA	4,0 - 6,0	3,0 - 5,0	0,7 - 1,0	31 - 33	-
	5,0 - 7,0	6,0 - 8,0	1,0	27 - 29	7,5 - 8,5
BRASIL	18,5	5,0	1,43	30	4,0 - 5,0

Continuação da Tabela VI - CARACTERÍSTICAS MÉDIAS DE CARVÕES COQUEIFICÁVEIS
À DISPOSIÇÃO DAS USINAS SIDERÚRGICAS NACIONAIS

PROCEDÊNCIA	CINZA %	UMIDADE %	ENXÔFRE %	M.V. %	FSI %
CARVÕES DE BAIXO TEOR EM MATÉRIA VOLÁTIL					
ESTADOS UNIDOS	5,0 - 6,5	4,5	0,80	17 - 19	8,0 - 9,0
	7,0	4,0	0,88	16	8,0 - 9,0
	8,0	3,0-6,0	1,00	20	8,0 - 9,0
	8,0	5,0	0,65	21	5,0 - 6,0
AUSTRALIA	8,5	10,0	0,65	22	6,0 - 8,0
	10,0 - 11,0	7,0	0,45	20,7	-
	10,0 - 11,0	7,0	0,40	21	5,0 - 7,0

Fonte: CSN/Diretoria de Matérias Primas

TABELA VII - DADOS RELATIVOS AOS CARVÕES

CARACTERÍSTICAS	MATERIAL VOLÁTIL (%)	ENXÔFRE (%)	CINZA (%)	UMIDADE (%)	PREÇO FOB (US\$/t)	FRETE MARÍTIMO (US\$/t)
CARVÃO						
ATMV EASTERN	31.82	0.73	5.09	6.54	45.0	4.0
ATMV WEGLOKOKS	32.46	0.65	7.20	7.65	40.0	6.0
MET. NACIONAL	32.79	1.40	17.80	5.78	*	*
ATMV MASSEY	35.59	0.80	6.34	6.32	44.0	4.0
ATMV MASSEY	20.52	0.68	6.79	6.60	55.0	5.0
BTMV I. CREEK	17.50	1.00	7.25	5.50	52.0	5.0
MTMV WEGLOKOKS	27.75	0.65	6.90	6.97	45.0	6.0
CONE DE PETROLEO	11.00	0.40	0.70	5.00	38.0	8.0
BTMV ICM	19.10	0.91	6.70	6.00	47.0	4.0
BTMV KAISER	22.20	0.47	9.50	7.50	40.0	8.0
ATMV CAPE BRETON	35.30	1.20	2.70	5.00	39.0	10.0
BTMV COLOMBIANO	23.40	0.54	7.50	5.00	40.0	9.0

* Met. Nacional CIF - UR = 550,00 / t

Fonte: CSN/Diretoria de Matérias Primas

C A P Í T U L O VTECNOLOGIA DA COQUEIFICAÇÃO

Ao Processo de Coqueificação ou Carbonização, como resultado da destilação destrutiva do carvão na ausência do ar, em produto de elevado teor de carbono fixo, leva-se a pensar que o coque quimicamente falando, poderia ser considerado como forma comercial impura de carbono sólido. Todavia, não é somente pelo emprego metalúrgico como fonte de carbono, ou combústível e agente redutor, mas pelas propriedades físicas e químicas não possuídas por nenhuma outra forma de carbono.

Moderadamente, inovações tecnológicas surgem na fabricação do coque metalúrgico, numa tendência cada vez mais complexa, exigindo sempre maiores investimentos em pesquisas e experimentações resultando numa série de fatores, como por exemplo, o surgimento de altos fornos com maior capacidade de produção que necessitam de coque com melhor qualidade; dificuldade de carvões coqueificáveis; maior produtividade; modernização sucedânea dos equipamentos; problemas de controle à poluição; etc. Enfocamos nesse estudo, a tecnologia predominantemente utilizável na atualidade, sem aludirmos a análises retroativas ou técnicas avançadas.

O coque metalúrgico é fabricado em dois tipos de fornos: fornos tipo "Colmeia" e a técnica "By - products process", ou seja, a fabricação do coque com recuperação dos

sub-produtos. Qualquer dos dois poderá fornecer coque de boa qualidade. Todavia, o forno tipo colmeia tem a desvantagem de desperdiçar os valiosos sub-produtos da coqueificação. Atualmente, o processo colmeia tem baixo percentual de utilização e são empregados em instalações de baixo custo, para uso de emergência, e/ou como capacidade auxiliar. Enquanto que a técnica "By-products", além do aproveitamento dos subprodutos, permite uma maior flexibilidade no manuseio de carvões de qualidade inferior e controle das propriedades do coque.

Os compostos orgânicos complexos que formam a substância carbonosa, decompõem-se em etapas e se volatilizam em muitas variedades de compostos, produzindo-se diferentes gases nas diferentes etapas da pirólise. Os compostos volatilizados vão desde os gases simples tais como: CO , CO_2 , H_2O , H_2 , H_2S e NH_3 até vários hidrocarbonetos complexos e outros compostos orgânicos, contendo alguns deles nitrogênio e enxofre.

Durante a decomposição a massa de carvão se funde e se torna plástica. Ao mesmo tempo que incha e se expande, ao completar a coqueificação a massa se solidifica lentamente. A fusão, inchamento e solidificação determinam a estrutura do coque. Também as diferenças no comportamento de carvões de vários tipos durante as sucessivas etapas explica as importantes diferentes estruturas e as propriedades do coque resultante.

V.1. APROVEITAMENTO

O recebimento e eficiência da descarga do carvão numa coqueria vai depender do tipo de equipamento disponível. O carvão, é estocado, separadamente conforme o tipo, constituindo-se em reserva no caso de interrupção do fornecimento. Ao carvão estocado pode advir despesas adicionais, como por exemplo, o manuseio suplementar motivado pela colocação e retirada do estoque nas pilhas e pela natural deterioração que sofre o carvão quando estocado. O carvão, na presença do ar atmosférico tende a oxidar, mais ou menos fortemente, dependendo do tipo. Ao expor-se, a temperatura tende a elevar transformando num processo contínuo e, acelerar a oxidação ocorrendo uma ignição da pilha de carvão. Ainda que não ocorra a combustão espontânea, as propriedades do carvão são prejudicadas, seu poder coqueificante ou calorífico diminui, tende a descarregar-se e a qualidade do coque é gradualmente reduzida, além de se ter a inconstância nas características num mesmo tipo de carvão.

É observado a importância econômica da necessidade do descarregamento rápido nos navios com objetivo de se evitar acréscimo em despesas de estadia nos portos. O tempo de estocagem nos pátios das usinas varia usualmente em meses.

V.2. PULVERIZAÇÃO

O carvão é retirado da pilha, pulverizado e estocado separadamente em silos à saída dos quais estão instalados dispositivos que permite regular a saída do carvão conforme sua participação na mistura. A retirada da pilha depende do equipamento e obedece a certas técnicas.

A pulverização é um dos pontos vitais do processo. E é feito por britadores tipo "Impeller-breacker", máquinas de controle hidráulico o que permite o ajuste granulométrico do carvão para bem próximo ao especificado. Para carvões mais ou menos friáveis é necessário um ajuste adequado ao britador.

Dada a importância da pulverização dos carvões, vem a merecer estudos sobre a aplicação da britagem seletiva.

Os efeitos resultantes da pulverização ocasionam na Bulk-density (peso/unidade de volume), o que significa peso do carvão que será levado ao interior do forno, tendo importante correlacionamento com a operação dos fornos de coque e na pressão desenvolvida pelos carvões durante a coqueificação.

O valor adotado normalmente para a pulverização dos carvões é de cerca de 80% inferior a 3 mm.

V.3. BATERIAS DE FORNOS

Ao conjunto de fornos dispostos em série denomina-se de bateria e cada forno está intercalado por

uma parede de aquecimento, de forma a garantir economia de calor, espaço e uniformidade de temperatura. Construídos de sílica e sílica-aluminosos e possuem formato estreito, comprido e relativamente alto.

A caracterização do formato dos fornos é devido ao aquecimento lateral do carvão que em contato com a parede do forno, sofre elevação rápida de temperatura do que a parte da mistura situada no eixo central, formando assim, várias camadas diferentes que corresponde a diferentes estágios no processo de coqueificação. Junto à parede do forno, desprendem-se inicialmente água e a seguir, o dióxido de carbono. A etapa seguinte é chamada decomposição química das substâncias do carvão, terminando quando este entra em estado plástico até uns 550° C, em que o alcatrão é o principal produto volatilizado, apesar de que a perda dos voláteis ter sido observada abaixo de 300° C. Então, a zona plástica no centro do forno vai diminuindo até desaparecer completamente. Durante o período plástico, o coque já formado na vizinhança das paredes do forno sofre um super aquecimento, para reduzir o tempo desse super aquecimento, diminui-se o espaço a ser percorrido pelo gradiente de temperatura, justificando desta maneira, o formato como é construído os fornos de coque.

As câmaras de coqueificação são carregadas e desenforadas numa sequência e, se assim não fossem haveria uma queda de temperatura na parede intermediária de cada forno, causando danos ao refratário e desuniformidade de aquecimento.

Para a operação de bateria são utilizadas:

Máquina de Enfornar que se locomove sobre trilhos no topo da bateria com orifício tampa de ferro fundido; Máquina Desenforadora, que se locomove sobre os trilhos ao nível do solo e possui um êmbolo para desenfornar o coque, uma barra niveladora para nivelar. O carvão é carregado num extrator que retira e coloca as portas dos fornos no lado desta máquina desenforadora, chamada de Lado da Desenforadora. Ainda, uma outra máquina chamada de Portas que se locomove sobre trilhos numa plataforma no lado mais largo dos fornos, chamado de Lado do Coque, possuindo ainda esta máquina, um extrator de portas e um guia de coque. Finalmente, o Vagão de Apagamento, que recebe o coque incandescente, leva-o à estação de apagamento e o traz a rampa de descarga.

V.4. COQUE

Após o carvão ser carregado ao forno e destilado, num tempo variavelmente inferior a 24 horas, em ausência do ar, obtém-se um resíduo, poroso, duro e carbonoso, como produto resultante que é o coque. Este coque é transportado aos silos dos altos fornos por um sistema que ao mesmo tempo o brita e seleciona granulometricamente.

O rendimento típico de uma tonelada pelo processo By-products é normalmente o seguinte:

Coque	635,6 Kg
Gás do forno de coqueificação	
Valor calorífico: 4.895 kcal/m ³	311.520 m ³
Sulfato de amônia	11,35 Kg
Alcatrão	37,85 Kg
Óleos leves	11,36 l

Os sub-produtos, coletados pelas unidades recuperação de sub-produtos (produtos carboquímicos), tem vários usos e constituem em "input" para outras indústrias. Parte destes gases também vão servir para o aquecimento dos fornos de coque, ou acearias como combustível.

O coque siderúrgico deve resistir às diversas solicitações a que é exposto desde sua fabricação até a queima no interior do alto forno, deve ter propriedades mecânicas elevadas a fim de resistir às pressões do desenformamento, às quedas sucessivas devidas, às mudanças de correias transportadoras e ao atrito dos pedaços entre si durante o manuseio e transporte.

O coque exerce três funções vitais no alto forno:

1. Combustível
2. Gerador de gás redutor ou age diretamente na redução; e
3. Assegura elevada permeabilidade à solução de carga.

Ao papel de combustível e como redutor, seu

poder calorífico e teor de carbono devem ser elevados; para resistir ao peso da coluna de carga deve apresentar grande resistência ao esmagamento.

Os ensaios industriais do coque são principalmente dinâmicos: de abrasão, de queda, e de tambor rotativo.

ENSAIOS DE ABRASÃO

O mais conhecido é da máquina de Wolf. O coque é colocado numa caixa de 1/3 de metro cúbico de capacidade com altura de 1.200 mm e uma seção de 530 x 530 mm que se estreita ligeiramente para baixo. Submetido à pressão vertical de 2 Kg/cm² exercida por um pistão, é forçado a passar por um fundo constituído de duas partes articuladas, mantidas por contrapesos. Sob pressão do pistão na parte superior, parte do coque se esmigalha antes de escapar através do fundo. O material é pestado em peneiras com furos redondos de 30 mm de diâmetro. A porcentagem que passa pela peneira representa o desgaste sob pressão; quanto menor esse percentual mais resistente é o coque.

ENSAIOS DE QUEDA

Nos Estados Unidos é utilizado o ensaio Shatter, de especificação ASTM D-141. Colhe-se uma amostra de 50 lbs de coque em pedaços maiores de 2". É carregado

num recipiente de seção retangular e cujo fundo se abre bruscamente. A caixa é elevada a uma altura de 6 pés. Então, o coque cai sobre uma placa de ferro fundido. Repete-se esse procedimento por quatro vezes, a seguir o coque peneirado em malhas quadradas de 2", 1 1/2" 1" e 1/2". A percentagem retida na peneira de 2" é o índice de resistência (Shatter Index).

ENSAIOS DE TAMBOR (Tumbler test)

Consiste em um tambor de chapa com 6 mm de espessura, 36" de diâmetro e 18" de comprimento interno, com duas cantoneiras de 2" x 2" x 1/2" soldadas internamente a 180° C uma da outra.

Coloca-se uma mistura de 22 lbs de pedaços de coque entre 2" e 3" e faz o tambor girar 1400 rotações à velocidade de 24 rpm, fazendo-se em seguida a determinação dos percentuais retidos em peneiras de 1/4" 1".

O percentual retido na peneira de 1" é designado como índice de estabilidade e em 1/4" Índice de Dureza do coque. O índice de estabilidade é o preferido com indicativo da qualidade do coque.

O coque como produto, deve possuir em termos de análise imediata, um alto teor de carbono fixo e um baixo teor de matéria (cinza). Em tais condições, a mistura alimentadora das baterias deve manter a relação carbono fixo/cinza mais alta possível, uma vez que o processo de destilação concentra no coque o carbono fixo e cinza.

As faixas de especificação nos coques meta-
lúrgicos ¹², são aproximadamente as seguintes:

Carbono fixo	86% mínimo
Umidade	2% máximo
Matéria volátil	1,5% máximo
Cinzas	10% máximo
Enxôfre	0,8% máximo
Tamanho médio	3"
Porosidade	45 - 49%
Ensaio Tambor ASTM	
- índice de estabilidade	55%
(percentagem retida na peneira de 1,06")	
- índice de dureza	68%
(percentagem retida na peneira de 0,265")	
Ensaio Shatter ASTM	
(percentagem retida em peneira de 2") 72 - 78%	
Densidade aparente	1,0

Ainda de (2) apresentamos a análise típica dos coques brasileiros:

TABELA VIII - PROPRIEDADES DOS COQUES
BRASILEIROS

CARACTERÍSTICAS	USINAS		
	C S N	USIMINAS	COSIPA
Umidade	2,0 - 2,5	1,7 - 2,1	-
Matéria Volátil %	1,0 - 1,5	0,84 - 1,73	1,7
Carbono fixo %	85,0 - 86,0	83,9 - 86,1	83,8
Cinza %	12,0 - 14,0	13,0 - 14,2	14,5
Enxôfre %	0,70 - 0,81	0,69 - 0,80	0,84
Fator de Estabilidade (Shatter test 1/4")	54 - 56	-	47,0
Fator de dureza % (Shatter test 1")	68 - 70	-	58,0
Porosidade %	47 - 50	48 - 50	49,5
Peso Específico aparente	0,90- 1,04	-	-

C A P Í T U L O V I

DESENVOLVIMENTO DO MODELO

Os problemas econômicos suscetíveis de expressar-se matematicamente em forma de Programação Linear são inúmeros e variados, referem-se à distribuição eficiente de recursos limitados entre atividades competitivas com a finalidade de atender um determinado objetivo, no caso, a minimização de custos.

Este objetivo será expresso por uma função linear à qual dá-se o nome de Função Objetivo ou Função Econômica de minimização de custos.

O problema consiste em minimizar $\sum_{j=1}^n C_j X_j$, que satisfaça todas as limitações tecnológicas, sem excedê-las.

$C_j X_j$ significa o custo da atividade na quantidade X_j .

Matematicamente tem a forma seguinte:

$$\sum_{j=1}^n X_j A_{ij} \leq b_i \quad i = 1, \dots, m$$

$$X_j \geq 0 \quad j = 1, \dots, n$$

$$\text{Minimizar } \sum_{j=1}^n C_j X_j = Z$$

b_i - ($i = 1, \dots, m$) representam limitações a serem alcançadas, dadas as condições i .

C_j - ($j = 1, \dots, n$) são custos unitários a cada uma das quantidades j .

A_j - ($j = 1, \dots, n$) são os vetores colunas das m componentes A_{1j}, \dots, A_{mj} de A_j , e representam as proporções nas quais a quantidade j , põe em ação as condições i .

X_j - ($j = 1, \dots, n$) são as incógnitas, quantidade j .

Verifica-se então, que a função objetiva a ser minimizada representa o custo total da produção a ser obtida a partir da utilização das n matérias primas.

VI.1. BASE DA PROGRAMAÇÃO

Devido a grande variedade de tipos de carvões e à própria diversificação das fontes produtoras é impres

cindível uma melhor determinação na composição de misturas de carvões a serem coqueificadas.

A tecnologia atualmente predominante nas siderúrgias brasileiras é a do "By-Products Process", ou seja, a fabricação do coque com a recuperação dos sub-produtos em atendimento as necessidades operacionais da coqueria e alto forno.

O coque como produto deve possuir em termos de análise imediata alto teor de Carbono Fixo, ao mesmo tempo, baixo teor de matéria mineral (cinza). Em tais condições, a mistura alimentadora às baterias deve manter uma relação Carbono Fixo/cinza, mais elevada possível, uma vez que o processo de distilação concentra no coque tanto carbono fixo quanto à cinza. A participação da presença de carvões com conteúdo de cinza elevado, implica em diminuição de Carbono Efetivo produzido por carga de uma bateria, resultando na baixa produtividade do coque na operação de redução com consequente diminuição da produção do Gusa em metros cúbicos por volume útil, de um alto forno numa unidade de tempo.

Existem limitações tecnológicas a uma mistura como a alta participação de carvões voláteis (alto teor de carbono fixo), devido apresentarem um índice de inchamento elevado. Entretanto, o aumento de participação na mistura aos carvões que contêm elevado teor de cinza (como o caso do carvão nacional), há limitações de natureza não tecnológica.

A otimização do modelo esta baseada em sete tipos de equações:

1. Equação do custo total
2. Equação de participação de cada carvão
3. Fração máxima e mínima de volatilidade da mistura
4. Limite máximo percentual de enxôfre
5. Limite máximo percentual de cinza
6. Limite máximo percentual de participação do coque de petróleo.
7. Limite máximo da participação do carvão nacional.

O modelo é formado por restrições e função objetivo lineares e é resolvido mediante o sistema desenvolvido para o Burroughs 6700 (MPS-TEMPO).

VI.1.1. EQUAÇÃO DO CUSTO TOTAL (FUNÇÃO OBJETIVA)

O objetivo consiste na minimização desta função pela escolha adequada dos carvões que comporão a mistura, bem como as percentagens de cada carvão participante da mesma. O custo individual do carvão poderá ser obtido a partir do seu custo comercial, que tem por base uma série de cálculos.

A matéria prima requerida na fabricação do coque na produção do Gusa, com a exceção do carvão nacional, está imputada por vários gastos desde o preço de compra na

fonte (mina), como custos de transporte, despesas de embarque e taxas alfandegárias. Desta maneira, o custo final de aquisição tem como base os seguintes dados:

PGFOB - Preço Fob (preço de mina)
 TRANM - Transporte marítimo
 DFMME - Despesa com Fundo de Marinha Mercante
 D3421 - Despesa com a Lei nº 3.421
 DPORT - Despesas Portuárias (fixada em média pela CSN em Cr\$ 30,59).
 TAXA - Câmbio: Cruzeiro/Dólar (considerada em 20 u.m.)
 PCIFP - Preço CIF Porto
 PCIFU - Preço CIF Usina

Cálculos:

PCIFP - 20 (PFOB + TAXA)	(A)
DFMME - TRANM x TAXA x 0.2	(B)
D3421 - PCIFP x 0.03	(C)
DPORT - Cr\$ 30,59	(D)
<hr/>	
PCIFU - (A) + (B) + (C) + (D)	

Desta maneira, foi considerado o preço CIF Usina com os carvões de base e tendo o destino final a cidade do Rio de Janeiro.

Finalmente, o custo relacionado com a avaliação do coque produzido, isto é, sob o ponto de vista meta-

lúrgico na análise imediata.

O conceito de Carbono Efetivo ou Carbono Útil, é definido como a fração do carbono fixo do coque disponível ao processo de redução e fusão da carga no alto forno, isto é, o carbono fixo total contido no coque, depois de deduzidos o carbono necessário a escorificação da cinza e enxôfre.

Na definição acima, para qualquer coque dado, assume a forma de uma expressão quantitativa aplicando os coeficientes da correlação de R.V. Flint :

$$CE = CF - 1,08 C_z - 3S - 0,038 CF$$

onde em porcentagens representam:

CE - Carbono Efetivo do coque

CF - Carbono Fixo do coque

C_z - Conteúdo de cinza no coque

S - Teor de enxofre no coque

Observações devem ser feitas nesta fórmula tendo como meta transformá-la numa função das características de um determinado carvão j.

Supondo a coqueificação de um dos carvões j, as características do coque obtido podem ter as seguintes relações derivadas de restrições metalúrgicas:

$$CF = 100 (C_z + M_v)$$

$$S = 0,8 S_j$$

$$Cz = \frac{Cz_j}{R_j}$$

$$R_j = 0.98 - 0,79 Mv_j$$

Sendo que em percentuais, representam:

Mv = matéria volátil do coque

Mv_j = matéria volátil do carvão j .

S_j = o enxôfre contido no carvão j

Cz_j = teor de cinza do carvão j

R_j = correlação H.H. Lowry, para o rendimento coque/carvão do carvão j

Procedendo nas substituições, temos:

$$CE_j = 95,638 - 2,042 \frac{Cz_j}{R_j} - 2,4 S_j$$

CE_j - é o carbono efetivo do coque a partir do carvão j .

VI.1.1.2. EQUAÇÃO DE PARTICIPAÇÃO DE CADA CARVÃO

Trata-se do percentual de cada carvão, onde

neste estudo foram utilizados 12 tipos.

VI.1.3. EQUAÇÃO DA MÁXIMA E MÍNIMA VOLATILIDADE

Nesta restrição a matéria volátil da mistura deve possuir de acordo com normas tecnológicas já citadas, entre 27 a 29%.

VI.1.4. LIMITE DO ENXÔFRE

A quantidade máxima do conteúdo de enxôfre no coque, deve ser de 0,8%. As quantidades do enxôfre obtidas por carvão individual são dadas pela fórmula (2).

VI.1.5. LIMITE DA CINZA

O teor de cinza fornecido por cada carvão e mais a cinza dos fundentes é demonstrado pela relação 3. Em função das condições brasileiras, a composição da cinza total na mistura não deve ultrapassar dos 13%.

VI.1.6. LIMITE DO COQUE DE PETROLEO

Muito embora esta matéria prima tenha influência na estabilidade do coque, mas em se tratando de um Inerte, sua participação poderá ser até de 5%.

VI.1.7. LIMITE MÍNIMO DO CARVÃO NACIONAL

A restrição do carvão nacional foi fixada em 33%, segundo exigências dos órgãos governamentais, através de Decreto número 62.113 de janeiro de 1968.

A análise da política nacional do carvão tem como força legal:

- a. preservação da estrutura sócio-econômica da carbonífera catarinense;
- b. segurança nacional;
- c. balanço de divisas, visando a exportação de produtos siderúrgicos;
- d. qualidade e preço do carvão metalúrgico no mercado internacional; e
- e. criação de mercado de trabalho através de pesquisa ou outros fatores que visem a distribuição ou diversificação do seu uso.

Todos os objetivos propostos poderão ser alcançados com o deslocamento parcial do mercado consumidor para a área de eletricidade (termoelétricas), e outras ensejando a indústria metalúrgica alcançar maior produtividade em seus altos fornos e conseqüentemente custos menores de produção.

Em adição à equação geral, são discutidas as possibilidades da imposição de algumas outras restrições especiais sobre a distribuição ótima. Por exemplo, os fundentes que são considerados em quantidades ilimitadas as conseqüentes circunstanciais como limitações de espaço da coqueria de cada usina, a estabilidade do coque cujas restrições precisam ser identificadas através da necessária Análise Petrográfica ou, ao curso das operações siderúrgicas em que cada uma equação ou restrição venha dificultar a livre seleção da máxima distribuição econômica, com prováveis aumentos nos custos e riscos de uma solução impossível.

A matriz do problema é apresentada na tabela, bem como o seu resultado.

VI.2. IMPLEMENTAÇÃO

A apreciação completa do valor ótimo requer uma consideração sobre a sensibilidade do modelo em P. L., que é a resposta do problema em termos da participação maior ou menor do carvão nacional com igual concentração de

algum componente na análise afetando o custo total da mistura. O teste sobre a sensibilidade é conduzida por desvios que incluem as seguintes mudanças:

- a. a distribuição da participação do carvão nacional até os limites exigidos; e
- b. o comportamento em percentual admissível do enxôfre e da cinza em relação ao carvão nacional.

O efeito das perturbações verificadas aos conteúdos de cinza e enxôfre em magnitudes da participação do carvão nacional é notável, principalmente quando se opera com os limites máximos, o que pode ser considerado negligente por parte das usinas e que responde previzivelmente em que a intensidade do desvio resulta no custo do coque programado, quando cada elemento é reajustado no novo equilíbrio.

A tabela IX apresenta os resultados no tocante a variação do carvão nacional e seus efeitos no custo, bem como os limites de enxôfre e da cinza.

TABELLA IX

	A	B	C	D	E	F
CUSTO	1384.35	1278.18	1366.15	1332.97	1470.49	1440.78
PORCE	1	1	1	1	1	1
MATVO	0.3559	0.3530	0.3246	0.3182	0.2775	0.2340
ENXOF	0.00640	0.00960	0.00520	0.00584	0.00520	0.00432
CINZA	0.0907218	0.0385092	0.0995071	0.0698578	0.906969	0.0943230
PCVNL						
PCVPK						
CBFIX	0.8992782	0.9514908	0.8904929	0.9201422	0.8993031	0.8956770

Continuação da Tabela IX

	G	H	I	J	K	L	
CUSTO	1501.97	1678.44	1433.25	1627.62	1090.01	1326.50	
PORCE	1	1	1	1	1	1	= 1
MATVO	0.2220	0.2052	0.1910	0.1750	0.1100	0.3279	≤ 0.29
ENXOF	0.00376	0.00544	0.00728	0.00800	0.00320	0.01120	≤ 0.08
CINZA	0.1180681	0.0830182	0.0808095	0.0861300	0.0078378	0.2468933	≤ 0.13
PCVNL						1.	≥ 0.33
PCVPK					1.		≤ 0.05
CBFIX	0.8719319	0.9069818	0.9091905	0.9038700	0.9821622	0.7431067	≥ 0.86

A P E N D I C E 1CARVÃO BRASILEIRO

O Brasil, certamente não foi beneficiado pela natureza, no que diz respeito a ocorrência de carvão metalúrgico. Em Santa Catarina, notadamente na chamada "Camada Barro Branco", ocorrem os únicos carvões brasileiros atualmente, conhecidos e capazes de dar origem a um carvão beneficiado utilizável economicamente quando misturados com o carvão importado para a fabricação do coque siderúrgico.

Camadas de carvões em pequenas espessuras são exploradas a ocorrência de folhetos interestratificados com o carvão, a presença de concentrações de pirita justamente nas localizações mais adequadas ao corte mecânico da camada e, ainda, a pequena produção das unidades minerais existentes, assim como a qualidade insatisfatória do produto final e o elevado custo de transporte até as usinas que o consomem, constituem uma série de desvantagens a serem desafiadas. Presentemente, tentativas são feitas no sentido de levar o carvão metalúrgico nacional a uma condição de matéria prima aceitável pela economia brasileira. Segundo o consenso de opiniões das entidades siderúrgicas, o coque resultante de misturas de carvão cuja participação do tipo nacional foi de 40%, implicava, em 1949, em onerar o custo do aço nacional em US\$ 7,00 por tonelada, o que representava na ocasião, em 5% do preço de venda.

As ocorrências de carvão mineral de maior ou menor importância são constatadas numa extensa área do Brasil Meridional, prolongando-se com descontinuidades, desde o Rio Grande do Sul até bem próximo à São Paulo.

Nas diversas regiões do território brasileiro, tem havido ocorrências sem que nenhuma delas atualmente, se tornasse objeto de exploração comercial, e são:

- a. presença de importantes lignito no alto Solimões, estendendo-se ao longo do rio, desde a fronteira com Peru e Colômbia;
- b. ocorrências de carvão e xistos carbonosos em afluentes da margem esquerda do alto Xingú no sudoeste do Estado do Pará;
- c. ocorrências de delgados leitos de carvão ao longo de um trecho do Tocantins, no extremo do norte do Estado de Goiás, em formações que se estendem para leste, atingindo partes contiguas do Maranhão, e,
- d. camadas de carvão presentes em extensas áreas do Estado do Piauí, na formação Poti.

Embora os lignitos do alto Solimões têm considerável espessura e seja extensas, as limitações do lignito como combustível, tornam pouco provável seu aproveitamento.

mento no futuro próximo.

As características das amostras atualmente colhidas dos carvões do Xingú e a pequena espessura, não são suficientes para justificar prioridade em estudos de detalhamento de ocorrência.

A ocorrência no trecho do Tocantins, atinge espessuras milimétricas, não foram determinados pontos em que a ocorrência estimulasse trabalho de maior reconhecimento.

No Estado do Piauí, levaram o DNPM a estudar extensa área de sedimentos de idade carbonífera. Atualmente esforços estão sendo mantidos para detecção de carvão com perspectivas econômicas.

A tabela I apresenta as reservas medidas e indicadas dos carvões nacionais. E a tabela II mostra a projeção do consumo do carvão nacional.

As reservas brasileiras tem de fazer face a produções sempre crescentes do coque de qualidade suficiente para atender aos altos fornos que operam a capacidade de 6.000 ton/dia. Atualmente são consumidas 4.800.000 ton/dia ; nas três grandes usinas siderúrgicas estatais . O coque produzido deverá ter no máximo 12% de cinzas, 0,8% de enxôfre e no mínimo 56,6% de estabilidade ASTM.

Atualmente, o carvão extraído do subsolo sofre em quase todos casos, um beneficiamento preliminar em "jigs" locais, operação em que todo folheto e maior parte da pirita são eliminadas. O produto resultante constitui a alimentação do lavrador de Capivari, nas proximidades de Tubarão. Aí o carvão é rebritado e relevado em jigs e ciclones, dando

origem ao carvão metalúrgico em 18,5% cinza e enxôfre ligeiramente abaixo de 2%, a mistura de carvões com a participação de 25% do nacional, produz coque com 59,3 de estabilidade 0,71 de enxôfre e 12,2% de cinzas. Mistura com 75% de carvão nacional a estabilidade é aproximadamente de 57. Supõe-se que a matéria mineral finamente disseminada no carvão nacional aumenta a estabilidade do coque. O alto teor de cinza reduz em 14% o carbono efetivo do coque, mesmo quando misturados com o tipo importado que tem 5 a 7% de cinzas em suas especificações.

A almejada auto-suficiência brasileira de redutores metalúrgicos, não pode ser conseguida pelo processo clássico de coqueificação, salvo que novas descobertas de reservas economicamente mineráveis de carvão coqueificável em baixo teores de cinza e enxôfre, esforços em pesquisas tem sido desenvolvidos pela CPRM para DNPM e ainda não foram conseguidos .

A situação do carvão babaçu se destaca como matéria prima disponível. A previsão em potencial de babaçuais do nordeste é de 20.000.000 toneladas anuais. Embora a referência não seja à curto prazo, o babaçu tem sido estudado sob a atuação da Siderbrás.

TABELA I - RESERVAS DE CARVÃO NACIONAL

ESTADO	JAZIDA OU TIPO DE CARVÃO VEGETAL	RESERVAS MEDIDA E INDICADA (-10 ⁶ t)	TIPO DE CARVÃO	ANÁLISE IMEDIATA APROXIMADA			
				CINZA (%)	MV (%)	CP (%)	S (%)
RIO GRANDE DO SUL	Candiota	1265,0	Sub-betuminoso	52,4	21,0	26,6	2,2
	Iruí	109,0	Sub-betuminoso	41,8	24,3	33,8	0,3
	Leão-Butiã	40,0	Sub-betuminoso	38,7	26,2	35,1	1,5
	Charqueadas	1013,0	Sub-betuminoso	53,6	19,5	28,9	0,7
SANTA CATARINA	Barro Branco	611,9	Alto Volátil	31,8	24,8	40,9	4,5
	Itapuaí	10,0	Alto Volátil	-	-	-	-
	Bonito	247,4	Alto Volátil	-	-	-	-
	Carvão Metalúrgico	-	Alto Volátil	18,5	31,8	49,7	1,6
PARANÁ	Rio do Peixe	29,0	Alto Volátil	21,9	32,9	40,8	8,2
	Rio Tibagi	5,8	Alto Volátil	36,3	20,8	41,0	10,6
TODO BRASIL	Carvão de Babagü	20/ ano	Carvão Vegetal	6,0	5,5	88,5	0,05
TODO BRASIL	Carvão Vegetal	3/ ano	Carvão Vegetal	2,3	23,5	74,2	0,05

TABELA II - PROJEÇÃO DO CONSUMO DE CARVÃO NACIONAL

ANO	PARANÁ	SANTA CATARINA	RIO GRANDE DO SUL	TOTAL
1972	210	De 1.230 a 1.410	850	De 2.290 a 2.470
1973	210	De 1.210 a 1.550	1.260	De 2.680 a 3.020
1974	210	De 1.450 a 1.900	1.500	De 3.150 a 3.610
1975	220	De 1.650 a 2.100	1.710	De 3.580 a 4.030
1976	230	De 1.750 a 2.270	1.720	De 3.700 a 4.220
1977	240	De 1.890 a 2.450	1.720	De 3.850 a 4.410
1978	240	De 2.020 a 2.630	2.730	De 4.980 a 5.600
1979	240	De 2.560 a 3.180	2.730	De 5.530 a 6.150
1980	240	De 2.820 a 3.490	3.530	De 6.590 a 7.260
1981	-	-	-	De 7.200 a 7.900
1984	-	-	-	De 9.400 a 10.200

A P Ê N D I C E IIPROCEDIMENTO PETROGRÁFICO

Amostras representativas de carvão a ser testado são tomadas para análise petrográfica usando técnicas similares às usadas para amostragem destinada à análise química. Para prevenir quebra excessiva dos componentes mais friáveis dos carvões, a amostra é alternadamente britada e peneirada, até que esteja toda com granulometria inferior a 750. Deve ser evitada a produção excessiva de material abaixo de 100. Da amostra pulverizada, uma porção de 5g é retirada e misturada com o material de suporte. Vários materiais de suporte são usados, incluindo cêra de carnaúba, "SchneiderHohn mixture", e um grande número de resinas sintéticas. Estas últimas têm provado ser particularmente adequadas, porque suas características de polimento são semelhantes às do carvão e também são inertes para vários líquidos de imersão. Uma superfície de 2,5 a 3,5 cm de diâmetro, incluirá um número suficiente de partículas se o carvão é misturado com o material de suporte na proporção de aproximadamente duas partes de carvão para três partes de cêra ou resina. Um bloco de carvão é então fundido pelo método apropriado para as características do material de suporte e a sua superfície é lixada e polida pe

los métodos usuais. Nenhuma regra rígida pode ser estabelecida para o lixamento e polimento, desde que os materiais usados variam de um país para outro. A superfície do bloco deve ser uniforme, altamente refletora e livre de riscos e relevo.

Análise petrográfica quantitativa usando o método "Conta Ponto" para a porcentagem dos diversos constituintes de cada amostra, é levada a efeito com o auxílio de um microscópio petroográfico com ampliação de 320 x, usando uma objetiva de imersão em óleo. São necessários pelo menos 500 pontos em cada bloco, não se contando os em minerais de suporte.

A porcentagem máxima de luz refletida de uma superfície polida é medida, e os valores são distribuídos para as diversas classes de reflectância de vitrinite. O equipamento usado para medir a reflectância é um microscópio petroográfico, equipado com célula fotoelétrica no tubo monocular que é por sua vez, ligado a um fotômetro.

Um diagrama "pin hole" para restringir a área de luz mesurável numa amostra para um círculo de sete microns e uma combinação de dois filtros que fornecem luz monocromática, são colocadas no tubo monocular do microscópio, através do qual todas as medidas de reflectância das substâncias variarão se o comprimento de onda luz é alterado; portanto, um comprimento de onda restrita e constante deve ser usado para a obtenção de leituras precisas e reproduzíveis. Calibres padrões de vidros polidos, com reflectância conhecida (0,306 a 1,832) são usados para regular o fotômetro no princípio de uma experiência e após cada 25 leituras de reflectância.

B I B L I O G R A F I A

- |¹| ABREU, Álvaro de Paiva - "Considerações sobre o Problema do Carvão Brasileiro", COPPE/UFRJ - Julho de 1977.
- |²| ARAÚJO, Luiz Antonio - "Siderurgia", Editora F.T.D., 1967.
- |³| BAILEY, D.R., - "Burdening a Blast Furnace for Minimum Costs", Blast Furnace, Coke Oven and Raw Material Proceedings, Vol. 6, AIME (1956), pgs. 15-30.
- |⁴| BARTOLOMEU, Jadir Portes, - "Influência da Variação dos Teores da Cinza e Enxôfre do Coque na Produção dos Altos Fornos", Boletim da Associação Brasileira de Metais, ABM, 1963, pgs. 357-374.
- |⁵| CHRISTMAN, R.G., - "Use of Linear Programming for Combined Distribution of Ore and Coal", Blast Furnace and Steel Plant, Vol. 58, nº 2, fevereiro de 1970, pgs. 112-117.
- |⁶| FABIAN, T., - "Blast Furnace Production Planning - A Linear Programming Example", Management Sciences, vol. 14, nº 2, October, 1967, pgs. B1-B27.
- |⁷| FLINT, R.V., - "Multiple Correlation of Blast Furnace Variables", Blast Furnace, Coke oven and Raw Materials Pro

ceedings, vol. 2, AIME, 1952.

- |⁸| FLINT, R.V., - "Effect of Burden Materials and Practices on Blast Furnace Coke Rate", Blast Furnace and Steel Plant, January 1962, pag. 47.
- |⁹| GUERRA, F.A., Paschoal, MONTEIRO, M.R. Fortes & AYRES, D. C., - "Uso da Petrografia no Estudo do Carvão e Coque", IV Simpósio de Redução da ABM, 1969.
- |¹⁰| KWASNOSKI, D., BOUMAN, R.W., - "Application of Linear Programming to Distribution of Ironmaking Raw Materials", AIME Ironmaking Proceedings, vol. 26, 1967, pgs. 26-30.
- |¹¹| MONTEIRO, R.F. & OUTROS, - "Uso da Programação Linear na Otimização de Misturas de Carvão", III Simpósio Interregional da Indústria Siderúrgica da U.N.I.D.O., Outubro de 1973, pgs. s2-s8.
- |¹²| MONTEIRO, M.R.F., GUIMARÃES, Vanderlei, A., - "A Crise do Carvão e seus Efeitos na Área de Produção na Usiminas", Metalurgia ABM, vol. 32, nº 225, Agosto 1976, pgs. 565-568.
- |¹³| OBANDO, F.E. Vaca, - "Sistema de Programação Matemática para Sistemas de Grande Porte", COPPE/UFRJ, 1977.
- |¹⁴| SCHUHMANN, Jr., REINHAR, D.T., - "Ingenieria Metalurgica", Centro Regional de Ayuda Tecnica (AID), vol. I, Principios de Ingenieria, México, 1968.

- |¹⁵| SIMONNARD, M., - "Linear Programming", Prentice Hall Inc. 1966.
- |¹⁶| SOLEDADE, L.E. Bastos, WALKOFF, A. Person, - "Coqueificação", C.S.N., novembro de 1976.
- |¹⁷| SOUZA, Gutenberg, F.S., - "Perfil Analítico do Carvão", Departamento Nacional de Produção Mineral, boletim nº 6, 1973.
- |¹⁸| VAN OSS, J.F., - "Materials and Technology", Barnes & Noble Inc., vol. II, 1971, pgs 556-587/592-606, Chapter 9 and Chapter 10.
- |¹⁹| YANCEY, H.F., GEER, M.R., "Coal Properties", Seeley W. Mudd Series, Coal Preparation (AIME), 1969, Chapter 1, pgs. 1-35.