

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO TEOR DE CARBONO NA
DESFOFORAÇÃO OXIDANTE DO AÇO INOXIDÁVEL PARA AS
METODOLOGIAS DOS CARBONATOS DE SÓDIO, LÍTIO E
BÁRIO

TRABALHO DE CONCLUSÃO

Autor: Marco Antônio Machado

Porto Alegre, junho de 1995.

“À minha avó Maura
(Dinda) e meu irmão Eduardo
(Neco), agora Luzes de outro
plano.”

AGRADECIMENTOS

Ao professor Antônio C.F. Vilela pela orientação transmitida para a realização deste trabalho.

Aos colegas André C. Galant, Oly F. Henn Jr, Ivanildo Silveira, Frederico Machado Jr. e André Celiberto e aos funcionários Régis do Amaral e José Vanderlei Feltrin pela colaboração durante o desenvolvimento dos experimentos práticos.

À Aços Finos Piratini, através do engenheiro metalúrgico João Francisco Loguércio pela doação de sucata e realização das análises químicas.

À Amadeo Rossi, representada pelo Sr João Carlos Misturini e Alexandre Pinto Trindade pelo apoio oferecido nas etapas finais deste trabalho.

Aos meus pais Maria Eunice Machado e Riograndino Machado.

SUMÁRIO

1 - Introdução	1
2 - Objetivo	2
3 - Revisão Bibliográfica	3
3.1 - Aços Inoxidáveis	3
3.2 - Desfosforação do Aço Inoxidável.	4
3.2.1 - Desfosforação Redutora	5
3.2.2 - Desfosforação Oxidante	6
3.2.2.1 - Metodologia $BaCO_3$	8
3.2.2.2 - Metodologia Li_2CO_3	11
3.2.2.3 - Metodologia Na_2CO_3	14
3.3 - Fatores Influentes na Desfosforação	16
3.3.1 - Teor de Carbono	17
3.3.2 - Teor de Cromo	17
3.3.3 - Teor de Silício	18
3.3.4 - Temperatura	18
3.3.5 - Comportamento de Outros Elementos	19
3.4 - Resultados Bibliográficos	19
4 - Procedimento Experimental	20
4.1 - Equipamentos	20
4.2 - Materiais	21
4.3 - Metodologia	22
4.3.1 - Procedimento Geral	22
4.3.2 - Carburacão do Banho	22
4.3.3 - Fluxo de Dessiliciação	23
4.3.4 - Fluxos de Desfosforação	23
4.3.5 - Temperatura de Tratamento	24
4.3.6 - Testes Realizados	24
5 - Resultados e Discussão	26
5.1 - Análises Químicas	26
5.2 - Discussão dos Resultados	31
5.2.1 - Metodologia Na_2CO_3	31
5.2.2 - Metodologia Li_2CO_3	34
5.2.3 - Metodologia $BaCO_3$	37
5.2.4 - Melhor Resultado e Comparação da Metodologias	39
6 - Conclusões	41
7 - Bibliografia	43
8 - Anexos	44
8.1 - Registros de Corridas	45
8.2 - Figuras	46

Resumo

A técnica convencional de eliminação do fósforo (P) produção de aço inoxidável em aciarias elétricas é problemática devido a oxidação preferencial do cromo (Cr). Por isto, lança-se mão da adição de fluxos para criar condições termodinâmicas favoráveis de oxidação e eliminação do P em relação a oxidação do Cr.

Neste trabalho utilizaram-se como variáveis o teor de carbono (C) no metal líquido e três diferentes fluxos desfosforantes, baseados nos carbonatos de lítio (Li), sódio (Na) e bário (Ba).

Dando Sequência a estudos realizados no Laboratório de Siderurgia (LASID), o presente estudo tem por objetivo verificar o grau de desfosforação obtido por três diferentes tipos de fluxos desfosforantes com três teores distintos de carburação de banho metálico; para o método de desfosforação oxidante do aço inoxidável 18-8.

1 - INTRODUÇÃO:

O fósforo (P) é um elemento residual introduzido nas composições químicas dos aços inoxidáveis através de sucatas e ferro-ligas à base de cromo (Cr). Para determinadas aplicações (0,04 a 0,06%) é prejudicial às propriedades mecânicas, à soldabilidade, e a resistência à corrosão do material⁽⁶⁾.

Os processos de refino que operam sob fortes condições oxidantes e que são, obrigatoriamente, usados na produção de aços inoxidáveis, quando se utilizam sucatas de aço e ferro-ligas, não são favoráveis termodinamicamente a desfosforação do material; as razões isto são a variação da energia livre do cromo (ΔG_{Cr}) é mais negativa que a do P, a elevada concentração de Cr torna ainda mais negativa a ΔG_{Cr} do que a ΔG_P e, finalmente, pela reação exotérmica de oxidação do P ser prejudicada pelas altas temperaturas de refino. Portanto, sendo a sucata uma das matérias primas mais utilizadas devido ao fator custo e tendo a mesma composição química geralmente desconhecida, torna-se necessário o desenvolvimento de metodologias que reduzam o teor de P a um máximo possível sem perdas significativas de Cr do metal.

2 - OBJETIVO

Este trabalho tem por objetivo testar e comparar as metodologias do carbonato de bário (BaCO_3), carbonato de lítio (Li_2CO_3) e carbonato de sódio (Na_2CO_3), sob três diferentes condições de carburação do banho metálico (3, 4 e 5%); para a desfosforação oxidante de um aço inoxidável da família 18-8.

3.1 - Aços Inoxidáveis

Os aços inoxidáveis são aqueles que caracterizam-se por apresentarem elevada resistência a corrosão e, em função da composição química, elevada resistência mecânica e ao calor. Apresentam como elemento de liga principal o Cr em teores acima de 12%. Quanto a sua estrutura metalográfica podem ser divididos em: ferríticos, martensíticos, austeníticos e duplex (austenítico-ferrítico).

A estrutura destas classes de aços inoxidáveis é função da composição química e do teor de elementos de liga tais como Cr, C, níquel (Ni), molibdênio (Mo), silício (Si), nióbio (Nb), titânio (Ti), etc. e de tratamentos termo-mecânicos realizados.

Será dada ênfase ao aço inoxidável da classe austenítica uma vez que os procedimentos experimentais foram realizados em tal material.

AÇO INOXIDÁVEL AUSTENÍTICO

O aço inox austenítico básico é conhecido por 18-8, o qual contém 18% de Cr e 8% de Ni (estabilizador da austenita), com variáveis quantidades de carbono, usualmente, designadas baixa e muita baixa. Três graus de C são catalogados⁽⁵⁾: 0,12%max, 0,05%max e 0,03%max.

Variáveis adições de elementos de liga são feitas no 18-8. O Si melhora a resistência a oxidação em altas temperaturas, aumenta

a resistência a corrosão em meio nítrico oxidante e diminui ou anula a corrosão sob tensão. O enxofre (S) e o selênio (Se) conferem usinabilidade, enquanto o Ti e o Nb suprimem a corrosão intergranular. O Mo em teores de 2 a 4%, também traz significativas melhoras na resistência a corrosão, particularmente na presença de ácido sulfúrico, cloretos (proteção contra a corrosão por "pitting") e ácidos orgânicos.

3.2 - Desfosforação do aço inoxidável

A eliminação do fósforo do metal líquido, sem que ocorram perdas por oxidação de elementos de liga, como é o caso do Cr no inoxidável austenítico 18-8, pode ser realizada sob condições ligeiramente oxidantes, mediante escórias ultrabásicas, ou sob condições fortemente redutoras, através de escórias básicas ou de elementos formadores de fosfetos⁽³⁾.

A remoção do fósforo em condições oxidantes, através de uma escória básica, pode ser descrita pelas reações de transferências de cargas, propostas pela teoria iônica das escórias⁽⁶⁾. Sob condições oxidantes, tal comportamento pode ser descrito pela reação (I) a seguir:



Sob condições fortemente redutoras pode ser descrita através da reação (II), se a mesma ocorrer em uma escórias básica ou mediante a reação (III), se a mesma ocorrer através de metais (M)

formadores de fosfetos. A seguir são apresentadas as reações que descrevem as situações:



A reação (I), o equilíbrio é favorecido por uma elevação da atividade dos íons oxigênio e do potencial de oxigênio da escória, pela diminuição da atividade do íon fosfato da escória e diminuição da temperatura; neste último caso, por se tratar de uma reação de natureza exotérmica.

A reação (II), o equilíbrio é natureza endotérmica, ela é favorecida pela elevação da atividade dos íons oxigênio da escória e por uma elevação da temperatura, enquanto a reação (III), por ser uma reação química de precipitação de natureza exotérmica, é favorecida pelo aumento da atividade do metal formador de fosfeto e pela redução da temperatura. Ambas as reações são favorecidas por uma diminuição do potencial de oxigênio e das atividades dos produtos da reação.

3.2.1 - Desfosforação redutora

A desfosforação redutora é um método de eliminação do [P] (fósforo dissolvido no material) contido nos aços alto cromo que apresenta as seguintes características⁽¹⁾:

- necessidade de atmosfera neutra durante o refino do material
- controle de temperatura
 - teor inicial de C
 - teor de oxigênio

O fluxo desfosforante é formado basicamente por 2 agentes; o agente de refino que combina-se com o [P] formando o fosfeto de cálcio (Ca_3P_2) e o agente fluidizante que tem a função de dissolver o agente de refino no banho metálico.

O método de desfosforação redutora, de acordo com o agente de refino utilizado pode ser subdividido em três metodologias:

- Metodologia do Ca
- Metodologia do CaC_2
- Metodologia do CaSi

Estas metodologias apresentam como principal desvantagem a formação do gás altamente tóxico PH_3 (fosfina), quando a escória formada reage com água. A equação (IV) apresenta a reação de formação da fosfina:



Por esta razão maior atenção tem sido dada a desfosforação, oxidante pois esta não libera PH_3 a partir de suas escórias.

3.2.2 - Desfosforação oxidante

A desfosforação oxidante é caracterizada pelos seguintes fatores⁽¹⁾:

- procedimentos experimentais utilizados
- condições oxidantes brandas do metal líquido
- teor inicial de carbono
- teor inicial de silício
- fluxo desfosforante em função da quantidade de material a ser processado
- granulometria dos fluxos utilizados

A desfosforação do material pode ser representada pela equação(V).



Esta reação ocorre somente na interface banho-escória, portanto é desejável que haja a maior interface possível.

O grau de desfosforação é definido segundo a equação (VI).

$$G.P. = \frac{[\%P_I] - [\%P_F]}{[\%P_I]} \times 100 \quad (VI)$$

Onde: G.P. - grau de desfosforação
[\%P_I] - percentual de [P], antes do processo desfosforante
[\%P_F] - percentual de [P], após o processo desfosforante

Além do grau de desfosforação, pode-se avaliar a desfosforação através do coeficiente de partição na interface metal/escória como é mostrado na equação (VII).

$$L_p = (\%P) / [\%P] = c_p \times f_p \times a_o^{2,5} \quad (VII)$$

Onde: L_p - coeficiente de partição do fósforo
(%P) - teor de fósforo na escória
[%P] - teor de fósforo no aço
c_p - capacidade fosfática
f_p - coeficiente de atividade do fósforo
a_o - atividade do oxigênio

O fluxo desfosforante é composto por três agentes: oxidante, o estabilizante e o fluidizante. O agente oxidante tem a função de oxidar o [P] no banho metálico e formar P₂O₅; ele pode ser Fe₂O₃, Cr₂O₃, NiO, O₂, etc. O agente estabilizante tem a função de fixar o fósforo oxidado na escória; ele pode ser um óxido ou carbonato de metal

metal. A temperatura de tratamento foi em torno de 1400 °C.

- Tratamento de desfosforação de 10 t de um aço inox utilizando o processo VOD (Vacuum Oxygen Descarburation); o material foi anteriormente fundido em um forno a arco (onde foi dessiliciado) e após transferido para uma unidade VOD. O fluxo desfosforante era composto de $BaCO_3$ e $BaCl_2$ em uma relação de 100 g/kg-metal. A temperatura de trabalho oscilou entre 1430 e 1500 °C e os tempos de reação metal/escória variaram entre 3 e 7 minutos.

- Tratamento de desfosforação em um forno de indução com capacidade de 5 kg e com atmosfera de argônio, sendo que o material possuía de 10 a 25% de Cr, 0,05%P e carbono entre 0,2 e 4%. O fluxo era composto por um sistema óxido-haleto contendo 5% Cr_2O_3 numa relação de 100 g/kg-metal. Foram testados os óxidos CaO e BaO e os haletos $BaCl_2$, BaF_2 , CaF_2 , NaF, LiF, KF, $CaCl_2$ e NaCl. As temperaturas dos tratamentos oscilaram entre 1400 °C e 1550 °C, e os tempos de reação metal escória variaram de 0 a 13 min.

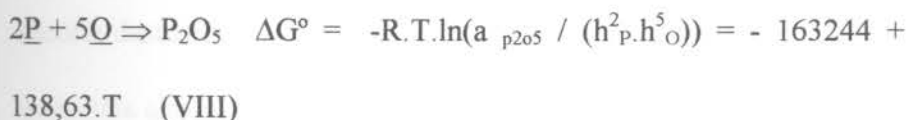
II - Agente oxidante

Conforme foi citado, anteriormente, cabe ao agente oxidante promover a formação de P_2O_5 a partir do [P]. Portanto, se houver ausência deste agente no fluxo desfosforante tem-se um G.P. igual a zero, mas excessos também conduzem a um G.P. nulo. Por isto, é importante limitar o teor de oxigênio (a menos de 55%⁽¹⁾ do fluxo) introduzido no banho pelo agente oxidante, pois o Cr por oxidar-se preferencialmente no aço, forma Cr_2O_3 (cromita) que possui um alto ponto de fusão (1990 °C), aumentando a tendência a solidificação da escória.

Podem ser citados como exemplos de agentes oxidantes; Fe_2O_3 , Cr_2O_3 , CO_2 , O_2 , etc. ou uma mistura de tais substâncias.

III - Agente Estabilizante

O P_2O_5 formado pela oxidação do [P] não é estável, considerando-se o óxido de fósforo no estado líquido puro (hipotético) e o [P] e o [O] dissolvidos no ferro a 1%, como demonstra a equação (VIII), teremos⁽⁷⁾:



onde: $a_{P_2O_5}$ - atividade raoultiana do óxido

h_P - atividade henriana do P

h_O - atividade henriana do O

A equação acima demonstra que o P_2O_5 (óxido ácido) é instável ou seja, para que ocorra desfosforação é necessário uma escória e que a mesma contenha um óxido básico (usado como agente estabilizante); para a presente metodologia será o óxido de metal alcalino terroso BaO (óxido de bário).

O teor de BaO no fluxo desfosforante a ser adicionado no banho metálico, deve ser na faixa de 30 a 50%. Quando este teor for muito baixo, a escória mantém-se condições fundida, mas baixa o poder desfosforante, e por consequência a um aumento da atividade do P_2O_5 nesta escória. Quando o teor for muito alto, acima de 60%, há dificuldade da escória manter-se em condições fundida, e igualmente tem-se a queda do poder desfosforante da mesma⁽²⁾.

Pode-se utilizar o $BaCO_3$ (carbonato de bário) em substituição ao BaO, que decompõe-se, conforme a equação (IX) abaixo:



Os produtos da reação são o próprio estabilizante (BaO) e

CO₂ (dióxido de carbono) que atuará como oxidante.

IV - Agente Fluidizante

Os agentes fluidizantes são aqueles que conferem maior fluidez a escória desfosforante; os mais indicados para a função são os haletos de metais alcalinos e alcalinos terrosos⁽¹⁾, ou seja cloretos e fluoretos de cálcio, bário, sódio e lítio. Eles são selecionados conforme suas propriedades como, ponto de fusão, volatilidade, higroscopia e custo.

A necessidade do agente é para que o agente estabilizante (óxido de metal alcalino/alcalino terroso), por possuir alto ponto de fusão, possa fundir sem baixar o poder desfosforante do mesmo. É desejável que o metal que compõe o haleto no agente fluidizante, seja o mesmo que o metal que compõe o agente estabilizante; por exemplo, para a metodologia do BaCO₃ (agente estabilizante) podem ser usados como fluidizantes BaCl₂ ou BaF₂. Porém, isto não é regra geral e na prática os fluxos podem conter mais de um tipo de estabilizantes agindo conjuntamente.

Experimentos práticos determinaram que o percentual de fluidizante no fluxo desfosforante é na ordem de 30 a 70%⁽²⁾.

3.2.2.2 - Metodologia Li₂CO₃

A metodologia pode ser aplicada a aços e ferro-gusas que contenham de 15 a 18% de Cr, altos índices de carburação (4% < C < 6%), utilizando fluxos a base de óxido ou carbonato de lítio,

podendo o fluxo conter ou não óxido ou carbonato de cálcio. A relação fluxo desfosforante e metal é em média de 60 a 70 g/kg-metal.

I - Procedimentos Experimentais

A seguir são resumidos alguns procedimentos experimentais que ilustram a metodologia^(1,2):

- Tratamento de desfosforação em um forno de indução de alta frequência de 100 kg de capacidade; o material tratado foi ferro-gusa contendo 12-25%Cr, 3-6,7%C e teores de Si menores que 0,05%. O fluxo desfosforante era composto de 30-80% de cloreto ou fluoreto de metal alcalino terroso, 0,4-30% de Li_2O / Li_2CO_3 , 5-50% de óxido de ferro II ou ferro III e teores de 40% de óxidos ou carbonatos de metais alcalinos terrosos. Os tempos de reação metal/escória foram de 5 a 15 minutos. As relações fluxo metal foram de 10-130 g/kg-metal.

- Tratamento de desfosforação de 3kg de ferro-gusa, em forno de indução de alta frequência, com composição inicial de 6%C, Si abaixo de 0,05%, 0,03%P, 0,03%S, 18%Cr e 8%Ni. Os fluxos utilizados foram 7 a 10% Li_2CO_3 - 14%CaO - 47 a 50% CaF_2 - 29%FeO, numa relação de 70 g/kg-metal. A temperatura de tratamento oscilou entre 1400 e 1640 °C, os tempos de reação variaram de 5 a 25 minutos.

II - Agente Oxidante

O agente oxidante usado para a presente metodologia são os mesmos usados para a metodologia BaCO_3 ; portanto, possui as mesmas funções e características. Porém, quando a concentração de C está elevada no banho (próxima a saturação), o teor de oxidante tende a diminuir; portanto, a concentração do agente deve ser no mínimo 1% para a escória manter seu poder desfosforante e no máximo 50% para que não venha a solidificar.

III - Agente Estabilizante

O agente estabilizante para a presente metodologia é o Li_2O . Igualmente a metodologia anterior, o Li_2CO_3 (carbonato de lítio) pode ser usado em substituição ao óxido de lítio, pois a decomposição do carbonato originará o óxido de Li e CO_2 .

O Li_2CO_3 , além da característica estabilizante do P_2O_5 na escória, aumenta a fluidez desta e tem forte afinidade com SiO_2 e Cr_2O_3 , diminuindo o efeito negativo que estes elementos possuem sobre a desfosforação.

Estudos realizados por autores nipônicos^(1,2,5) mostraram que os fluxos a base de Li_2CO_3 são 2,1 vezes mais desfosforantes que os fluxos a base de Na_2CO_3 (carbonato de sódio), quando o mesmo peso de estabilizante foi substituído e 1,5 maior quando o mesmo número molar foi adicionado ao fluxo. Este comportamento foi atribuído aos seguintes fatores: aumento da basicidade da escória, maior perda de Na por vaporização, o Cr e o Fe são facilmente oxidados pelo Na_2CO_3 e o carbonato de sódio supre o sistema com um maior potencial de oxigênio do que o Li_2CO_3 .

Os teores de Li_2CO_3 utilizados nos fluxos desfosforantes são de 7 a 30%.

IV- Agente Fluidizante

O agente fluidizante, que deve ser selecionado conforme suas propriedades físico-químicas, deverá também dissolver o Li_2CO_3 mantendo-o estável e diminuindo sua perda por volatilização; são

exemplos de fluidizantes utilizados para a presente metodologia o compostos CaF_2 , CaCl_2 , MgF_2 , MgCl_2 , etc.; pois, pelos seus baixos pontos de fusão conferem fluidez a escória, mesmo na presença de Cr_2O_3 .

O fluidizante recomendado para a metodologia Li_2CO_3 é o CaF_2 (fluorita), por seu custo e também pelo aumento do coeficiente de partição (L_p , eq.VII), que este proporciona quando seu teor é elevado no fluxo desfosforante.

O teor de fluidizante recomendado no fluxo desfosforante são valores em torno de 50%.

3.2.2.3 - Metodologia Na_2CO_3

A metodologia é semelhante a metodologia Li_2CO_3 , portanto deve ser utilizada em aços e ferro-gusas que contenham de 15 a 18% de Cr, elevados índices de carburação ($4\% < C < 6\%$) e podendo ou não conter óxido ou carbonato de cálcio presente.

A relação fluxo desfosforante e metal é em média de 60 a 70 g/kg-metal.

I - Procedimentos Experimentais:

A seguir são resumidos alguns procedimentos experimentais que ilustram a metodologia^(1,2,4).

- Tratamentos de desfosforação em um forno de indução de alta frequência com 100 kg capacidade e cadinho de MgO ; os materiais tratados foram ferro-gusas contendo 12-25%Cr, 5-6%C e 0,025-0,034%P; o fluxo utilizado foi 15% Na_2CO_3 - 10%CaO - 50% CaF_2 - 25% Fe_2O_3 , com uma relação fluxo metal de 70 g/kg-

metal. O tempo de reação banho metálico/escória foi de 5 minutos e as temperaturas de trabalho oscilaram entre 1350 °C e 1750 °C.

II - Agente Oxidante

A quantidade de agente oxidante, no fluxo desfosforante, deve estar na faixa de 5 a 50% de óxido de Fe ou Ni, na forma de carepa, minério ou óxido sinterizado. A quantidade de oxidante é função da oxidação do Cr que pode ser admitida, pois quanto menor for a quantidade de oxidante, menor será a oxidação do cromo. Para teores abaixo de 5% o banho não é oxidado o suficiente para a formação de P_2O_5 , porém se for adicionado acima de 50% a fluidez da escória cai, demasiadamente, e tende a solidificar. O valor recomendado como ótimo está na faixa de 20 a 40% do fluxo.

III - Agente Estabilizante

O estabilizador do P_2O_5 na escória para a metodologia do sódio é o Na_2O (óxido de sódio), que pode ser obtido, também, pela decomposição do carbonato de sódio. Este composto, além de estabilizador, aumenta a fluidez da escória e tem grande afinidade por SiO_2 , Al_2O_3 , B_2O_3 e Cr_2O_3 que têm efeito o deletério de aumentar a atividade do P_2O_5 na escória, diminuindo o poder desfosforante da mesma. A faixa de trabalho, determinada experimentalmente, é de 5 a 15% deste agente no fluxo desfosforante⁽¹⁾.

O óxido ou carbonato de cálcio pode ser adicionado ao fluxo desfosforante como estabilizante, com as vantagens de diminuir o

custo (em relação outros óxidos), facilitando o manuseio, ajuste da basicidade do banho, proteção do material refratário do forno e afinidade por SiO_2 e Cr_2O_3 ; contudo, apresenta a desvantagem de aumentar o ponto de fusão da escória, razão pela qual pode ser adicionado no máximo até 40% em peso de fluxo. Portanto, se há necessidade de uma boa fluidez e se a contaminação por SiO_2 , por exemplo, é desprezível, então o mais sensato é adicionar pequena ou nenhuma quantidade de CaO .

IV - Agente Fluidizante

O fluxo desfosforante deve conter entre 30 e 70% de fluoreto ou cloreto de meta alcalino e alcalino terroso, preferencialmente de Na, pois estes reagem com o P e o N e melhoram a fluidez da escória.

O fluidizante tido como ideal é o CaF_2 por suas propriedades físico-químicas, eficiência e custo; sendo a quantidade de 40 a 60% do fluxo desfosforante considerada ótima.

3.3 - Fatores Influentes na Desfosforação

Para que o teor de P no banho seja efetivamente reduzido, não basta levar-se em conta, somente, a metodologia desfosforante e projetar-se corretamente as proporções de oxidante, estabilizante e fluidizante; pois outros fatores são tão decisivos quanto estes. A seguir são apresentados outros parâmetros que, também, controlam o processo de desfosforação oxidante.

3.3.1 - Teor de Carbono

O teor de carbono no banho metálico tem uma atuação decisiva na desfosforação (e na dessulfuração) do aço inoxidável. O aumento do teor de carbono tende a inibir a formação de cromita na escória, devido a uma menor oxidação do Cr; pois o Cr_2O_3 , além de endurecer a escória diminui a capacidade fosfática (c_p , eq.VII) da mesma; o coeficiente de atividade do fósforo (f_p) aumenta de 0,57 para 1,71 quando o C aumenta de 0,2 para 4%C com 15% de $\text{Cr}^{(1,2)}$ e aumenta o coeficiente de partição do fósforo (L_p).

Para a metodologia BaCO_3 o ponto ótimo de carburação do banho metálico está situado acima de 0,2 e abaixo de 3%C, fora desta faixa o G.P. é nulo ou decresce acentuadamente; mas, para as metodologias Li_2CO_3 e Na_2CO_3 o teor de C não pode ser menor do que 2%, pois do contrário o G.P. será zero e ainda, quanto mais próximo o teor de C estiver da saturação (6%), tanto maior será o G.P. do banho metálico, portanto a faixa de trabalho para as duas metodologias é entre 4 e 6%C.

3.3.2 - Teor de Cromo

O grau de desfosforação tem a tendência a diminuir com o aumento do teor de Cr no banho metálico. A elevação do percentual do Cr tende a solidificar a escória, pela formação de cromita, diminuindo assim a eficiência do processo desfosforante;

também, o coeficiente de partição do fósforo decai pois a capacidade fosfática ($c_{p,eq.VII}$), o coeficiente de atividade do P (f_p) e a atividade do oxigênio (a_o) sofrem decréscimos.

3.3.3 - Teor de Silício

Teores de Si elevados são prejudiciais a desfosforação, pois o Si reduz o poder desfosforante das escórias obtidas a partir dos fluxos das metodologias mencionadas.

O Si tem um efeito, duplamente, negativo para a desfosforação, pois o mesmo oxida-se preferencialmente ao P, portanto inibe a formação do P_2O_5 e o produto da oxidação do silício, o SiO_2 , tem maior afinidade pelo agente estabilizante do P, diminuindo a eficiência do mesmo. Portanto, antes de iniciar-se o tratamento de retirada do [P], faz-se necessário uma dessiliciação do banho metálico.

Os teores de Si ideais para as três metodologias são no máximo de 0,05% em escala de laboratório e 0,1% para condições industriais (AOD, forte agitação e aumento da interface banho/escória).

3.3.4 - Temperatura

A temperatura para que o processo seja efetivo deve ser a mais baixa possível. As equações⁽⁷⁾ (X e XI) abaixo demonstram este fato:



$$\ln |\%P| = 1/2 \cdot \ln(a_{3BaO.P_2O_5}) + \Delta^\circ G_p / (2 \cdot R \cdot T) - 5 \cdot \mu_{O_2} / (4 \cdot R \cdot T) - 3/2 \cdot \ln a_{BaO} - \ln f_p \quad (XI)$$

Onde: %P- teor de P

- $a_{3BaO.P2O5}$ - atividade raoultiana do composto
- a_{BaO} - atividade raoultiana do BaO
- f_P - coeficiente de atividade do P
- R - constante universal dos gases
- T - temperatura em graus Kelvin

Portanto, a temperatura deve ser baixa de tal maneira a propiciar

um alto valor negativo para o termo $\Delta^\circ G_P / (2.R.T) - 5.\mu_{O_2} / (4.R.T)$

(sendo $\Delta^\circ G_P < 0$).

As temperaturas de trabalho para as presentes metodologias devem estar abaixo de 1600 °C, para que a desfosforação seja efetiva.

3.3.5 - Comportamento de Outros Elementos

Com relação a influência de outros fatores, observa-se que o Ni não afeta a desfosforação. Paralelamente a redução do teor de P no banho metálico ocorre, em todas as metodologias, uma dessulfuração e uma desnitrificação; além disto, também ocorre um decrescimento do teor de vanádio durante o processo desfosforante.

3.4 - Resultados Bibliográficos

Em todas as metodologias em função dos reagentes utilizados, da temperatura, dos tempos de reação, dos percentuais de C, dos percentuais de Cr, etc.; os G.P's obtidos oscilaram entre 60 e 90% em escala laboratorial e entre 50 e 70% em escala industrial

4 - PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

4.1 - Equipamentos

Os experimentos práticos foram realizados no LAFUN (Laboratório de Fundição) no Centro de Tecnologia da UFRGS.

Durante a execução dos testes foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Forno de Indução de alta frequência, com potência de 20 kw e 500 Hz de máxima frequência. O equipamento é composto de um painel de controle e um cadinho de 83 mm de diâmetro por 190 mm à base de MgO (óxido de magnésio), com capacidade máxima de 7,5 kg de carga.

- Balança analógica com capacidade máxima de 4 kg e precisão de 1 g, utilizada para pesagem de aço inoxidável.

- Balança digital com capacidade máxima de 2 kg e precisão de 0,1 g, utilizada para pesagem dos fluxos.

- Termopar de imersão com mostrador digital de temperatura.

- Coquilha de ferro fundido para retirada de amostras para análise química.

- Colheres tipo escumadeira para retirada de escória.

- Misturador de mós para preparação da areia para moldes.

- Cilindros ($\phi 200 \times 300$ mm) para preparação dos moldes de areia verde, para o vazamento do aço líquido restante no final de cada experimento.

- Barras de aço ($\phi 25,4 \times 1000$ mm) para manuseio do banho metálico durante os experimentos.

- Bandejas de aço para coleta de escória

4.2 - Materiais

Para a realização dos experimentos práticos, foram utilizados as seguintes matérias primas:

- Sucata de aço inoxidável AISI 304 com composição química dentro das normas adotadas pela Aços Finos Piratini para esta categoria de material.
- Carepa de forjaria conforme as tabelas (I e II), com as seguintes granulometria e composição química:

Tabela - I : distribuição granulométrica da carepa

1,400 mm	0,05%
0,600 mm	54,17%
0,250 mm	31,94%
0,150 mm	6,67%
0,075 mm	4,01%
0,038 mm	1,84%
- 0,038 mm	1,34%

Tabela - II : composição química da carepa

FeO	Fe ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	P ₂ O ₅	outros
56,01%	30,35%	1,43%	0,027%	12,18%

- Grafite

- grafite-1: com granulometria entre 0,074 e 1,68 mm e carbono fixo de 91,27%

- grafite-2*: com granulometria entre 1,00 e 3,0 mm e carbono fixo de 99,21%

- Refratário de óxido de magnésio para confecção do forno

- Farinha de zirconita #200 utilizada como refratário para pintura de colheres (escumadeiras) e coquilha

- Óxido de cálcio P.A.

- Cloreto de bário P.A.

- Hematita com granulometria de 0,42 a 0,85 e 95% de pureza

- Carbonato de sódio P.A.

- Fluoreto de sódio P.A.

- Carbonato de lítio P.A.

- Carbonato de bário P.A.

*OBS: o grafite 2 foi utilizado devido ao término do grafite 1

4.3 - Metodologia

4.3.1 - Procedimento Geral

Para a realização dos testes experimentais foi adotada a seguinte metodologia:

- Preparação dos moldes de areia verde para o vazamento do metal no final do processo de desfosforação ou para qualquer, eventual, situação de emergência.
- Pesagem de 5 kg de sucata de aço inoxidável.
- Carregamento do forno com 3 kg de sucata e grafite (previamente determinado e pesado) para carburação do banho.
- Após a fusão da 1ª carga adiciona-se a 2ª carga.
- Medição da temperatura, após a fusão total da carga e retirada da amostra A0 (que será considerada a composição química inicial do material).
- Adição do fluxo de dessiliciação (previamente pesado e misturado).
- Após dissolução, medição da temperatura (T) e iniciar a contagem do tempo de reação.
- Medição da T e retirada de amostra de aço A1 e escória (E1).
- Adição de 1/3 do fluxo desfosforante (previamente pesado e misturado).
- Após a dissolução, medição de T e iniciar contagem do tempo de reação.
- Proceder retirada das amostras A2 e E2.
- Proceder como anteriormente para os outros 2/3 de fluxo desfosforante para a obtenção de A3, E3, A4 e E4.
- Após estas retiradas, deixa-se o banho reagir mais um período t (tempo), igual ao valor do anterior, e retira-se A5 e E5.

4.3.2 - Carburação do Banho

O percentual de carbono foi um dos dois parâmetros adotados como variáveis neste trabalho; sendo o outro a metodologia de desfosforação oxidante. Para as três metodologias desfosforantes (NaCO_3 , LiCO_3 , BaCO_3) foram utilizados três teores de carburação: 3, 4 e 5%.

Para o cálculo da quantidade de grafite a ser adicionado para carburação do banho metálico utiliza-se a seguinte equação (XI):

$$Mg = (Ma \cdot ((100 \cdot Cb) - (Nc \cdot Cs))) / (Cf \cdot (Nc - 1)) \quad (XI)$$

Mg(g) - grafite a ser adicionado no banho metálico para a carburação

Ma(g) - quantidade de material a ser carburado

Cb(%) - teor de C desejado

Cs(%) - teor de carbono na sucata

Nc(%) - rendimento do C

Cf(%) - carbono fixo do grafite

Os resultados obtidos foram:

- Grafite-1:

* teor de 3%: 203 g

* teor de 4%: 271 g

* teor de 5%: 340 g

- Grafite-2:

* teor de 3%: 166,8 g

* teor de 4%: 223,5 g

* teor de 5%: 280,1 g

4.3.3 - Fluxo de Dessiliciação

Devido a necessidade da prévia dessiliciação do banho metálico, adotou-se o fluxo citado no trabalho de Arnt⁽²⁾. O fluxo era composto de 65%CaO - 30%BaCl₂ - 5%Fe₂O₃; a relação fluxo metal foi de 60 g/kg-metal, portanto foram adicionadas 300 g de fluxo, sendo o tempo de reação fluxo metal líquido igual a 5 minutos.

4.3.4 - Fluxos de Desfosforação

Conforme citado, anteriormente, dentro do método de desfosforação oxidante foram utilizadas três metodologias, a do Na₂CO₃, Li₂CO₃, BaCO₃; onde optou-se por utilizar um agente fluidizante e um agente oxidante (carepa) acompanhado dos

respectivos carbonatos (agente estabilizante).

As composições dos fluxos são apresentadas a seguir:

- Metodologia Na_2CO_3 : o fluxo desfosforante era composto por 22% Na_2CO_3 - 51,33% NaF - 26,67% carepa; a relação fluxo metal foi de 75 g/kg-metal, portanto foram adicionadas 375 g de fluxo.

- Metodologia Li_2CO_3 : idem a metodologia anterior, somente o Na_2CO_3 foi substituído por Li_2CO_3 .

- Metodologia BaCO_3 : o fluxo desfosforante era composto por 33,33% BaCO_3 - 50% BaCl_2 - 16,67% carepa; a relação fluxo metal foi de 120 g/kg-metal, portanto foram adicionados 600g de fluxo.

O tempo de reação metal/fluxo, após a dissolução do mesmo no banho, foi de 10 minutos.

4.3.5 - Temperatura de Tratamento

Para que o tratamento desfosforante seja efetivo há necessidade que as temperaturas em que ocorrem as migrações do P do metal para a escória sejam as mais baixas possíveis; mas, na prática adotou-se a faixa de 1350 a 1600 °C para a realização dos experimentos laboratoriais.

4.3.6 - Testes Realizados

O objetivo do presente trabalho é estudar a influência do teor de carbono no G.P. do aço inoxidável para três metodologias e compará-las para observar-se a mais efetiva em condições, razoavelmente, similares de tratamento. Para tanto foram realizadas três corridas para cada metodologia, portanto um total de nove experimentos.

A seguir a tabela (III) resume os testes realizados:

Tabela - III: teor de carbono utilizado nos testes para as

metodologias desfosforantes.

Teor de C \Rightarrow	3%C	4%C	5%C
Metodol. Na_2CO_3	corrida - 1	corrida - 2	corrida - 3
Metodol. Li_2CO_3	corrida - 4	corrida - 5	corrida - 6
Metodol. BaCO_3	corrida - 7	corrida - 8	corrida - 10

5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram realizadas 9 corridas com carga de 5 kg, conforme o planejado, nas quais empregou-se as metodologias Na_2CO_3 para as corridas 1, 2 e 3; Na_2CO_3 para as corridas 4, 5 e 6 e BaCO_3 para as corridas 7, 8 e 9.

Os registros de corrida completos das fusões realizadas encontram-se no item 8.1 dos anexos.

5.1 - Análises Químicas

Após a realização das análises químicas das amostras de aço e escória de cada corrida obteve-se os seguintes resultados:

- Amostras de Aço.

CORRIDA - 1

	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Ni	%Mo	%V	%Cu
A0	-	-	-	0,04	0,03	-	-	-	-	-
A1	3,30	0,01	1,69	0,034	0,012	16,80	6,49	0,31	0,07	0,23
A2	3,27	0,01	1,49	0,036	0,008	17,60	6,68	0,31	0,06	0,23
A3	3,14	0,02	1,40	0,036	0,006	16,81	6,70	0,32	0,06	0,24
A4	3,10	0,01	1,20	0,033	0,005	14,71	6,86	0,31	0,05	0,26
A5	2,88	0,04	1,30	0,033	0,006	14,73	6,55	0,31	0,06	0,26

CORRIDA - 2

	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Ni	%Mo	%V	%Cu
A0	3,29	0,32	1,37	0,039	0,005	14,85	6,7	0,33	0,04	0,22
A1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A3	3,22	0,02	1,62	0,029	0,001	15,00	7,46	0,61	0,04	0,26
A4	2,98	0,02	1,37	0,033	0,001	14,68	7,69	0,59	0,04	0,45
A5	2,97	0,02	1,27	0,033	0,001	14,70	7,76	0,60	0,04	0,46

CORRIDA - 3

	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Ni	%Mo	%V	%Cu
A0	-	-	-	0,04	0,03	-	-	-	-	-
A1	4,19	0,02	1,44	0,034	0,001	13,26	5,60	0,19	0,04	0,23
A2	4,03	0,04	1,41	0,019	0,001	13,13	5,22	0,19	0,04	0,23
A3	3,85	0,04	1,40	0,019	0,001	13,03	5,12	0,19	0,04	0,33
A4	3,66	0,02	1,32	0,016	0,001	12,87	5,55	0,19	0,03	0,34
A5	3,63	0,06	1,32	0,016	0,001	12,98	5,31	0,19	0,03	0,33

CORRIDA - 4

	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Ni	%Mo	%V	%Cu
A0	2,94	0,21	1,28	0,043	0,008	14,64	9,18	0,99	0,03	0,32
A1	2,72	0,02	1,24	0,043	0,002	14,71	9,10	1,00	0,03	0,33
A2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A3	2,35	0,02	1,15	0,032	0,001	14,28	9,24	1,01	0,02	0,32
A4	2,08	0,02	1,12	0,031	0,001	14,07	9,24	1,02	0,02	0,33
A5	2,21	0,02	1,13	0,033	0,001	14,31	9,27	1,05	0,02	0,31

CORRIDA - 5

	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Ni	%Mo	%V	%Cu
A0	3,60	0,05	1,21	0,048	0,002	15,32	8,09	0,83	0,05	0,23
A1	3,40	0,02	1,14	0,037	0,001	14,98	8,20	0,83	0,04	0,24
A2	3,40	0,02	1,19	0,026	0,001	14,58	8,10	0,85	0,03	0,26
A3	3,20	0,02	1,19	0,021	0,001	14,36	8,22	0,86	0,03	0,27
A4	3,20	0,02	1,15	0,018	0,001	13,88	8,38	0,88	0,02	0,27
A5	3,00	0,02	1,06	0,017	0,001	14,01	8,38	0,86	0,02	0,25

CORRIDA - 6

	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Ni	%Mo	%V	%Cu
A0	4,40	0,11	1,27	0,053	0,003	16,26	9,44	0,95	0,06	0,25
A1	4,20	0,02	1,38	0,036	0,011	16,01	9,20	0,92	0,06	0,31
A2	4,00	0,01	1,29	0,029	0,011	16,04	9,54	0,94	0,05	0,29
A3	3,80	0,01	1,32	0,028	0,012	15,80	9,48	0,94	0,05	0,30
A4	3,80	0,01	1,28	0,023	0,011	15,43	9,62	0,98	0,04	0,30
A5	3,8	0,01	1,26	0,018	0,011	15,39	9,57	0,94	0,04	0,30

CORRIDA - 7

	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Ni	%Mo	%V	%Cu
A0	3,1	0,14	1,04	0,044	0,030	14,73	5,85	0,22	0,05	0,15
A1	3	0,03	1,03	0,036	0,001	14,62	5,88	0,23	0,03	0,16
A2	3	0,03	1,05	0,041	0,001	14,84	5,86	0,22	0,04	0,16
A3	3	0,03	0,86	0,016	0,001	14,25	5,89	0,23	0,01	0,16
A4	2,7	0,03	0,87	0,018	0,001	14,28	5,91	0,23	0,01	0,15
A5	2,6	0,03	0,85	0,018	0,001	14,38	5,91	0,23	0,01	0,15

CORRIDA - 8

	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Ni	%Mo	%V	%Cu
A0	-	-	-	0,040	0,030	-	-	-	-	-
A1	3,30	0,03	1,05	0,034	0,003	12,49	3,00	0,13	0,03	0,16
A2	3,20	0,03	1,01	0,030	0,003	12,40	3,06	0,13	0,03	0,16
A3	3,20	0,03	0,98	0,026	0,003	12,29	3,01	0,13	0,02	0,16
A4	3,00	0,03	0,94	0,017	0,003	12,02	3,00	0,13	0,01	0,16
A5	3,00	0,03	0,93	0,020	0,003	12,02	3,03	0,13	0,01	0,16

CORRIDA - 9

	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Ni	%Mo	%V	%Cu
A0	4,80	0,38	0,80	0,032	0,030	13,81	5,57	0,46	0,04	0,14
A1	4,70	0,15	0,83	0,032	0,001	13,77	5,61	0,47	0,04	0,14
A2	4,50	0,05	0,84	0,032	0,001	13,36	5,69	0,47	0,04	0,15
A3	4,60	0,03	0,78	0,021	0,001	13,69	5,66	0,46	0,03	0,14
A4	4,40	0,03	0,81	0,015	0,001	13,70	5,70	0,47	0,02	0,15
A5	4,40	0,03	0,77	0,018	0,001	13,70	5,55	0,47	0,02	0,15

CORRIDA - 1

	%SiO ₂	%MnO	%P ₂ O ₅	%S	%Cr ₂ O ₅	% V ₂ O ₅	%TiO ₂	%Al ₂ O ₅	%MgO	%CaO	%FeO
E1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E4	4,45	2,71	1,67	0,05	12,11	0,18	0,07	2,48	10,53	5,79	3,02
E5	14,56	8,47	0,78	0,04	16,61	0,20	0,19	4,03	3,78	5,15	9,17

CORRIDA - 2

	%SiO ₂	%MnO	%P ₂ O ₅	%S	%Cr ₂ O ₅	% V ₂ O ₅	%TiO ₂	%Al ₂ O ₅	%MgO	%CaO	%FeO
E1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E2	9,34	1,81	1,91	0,09	12,67	0,44	0,12	3,53	1,57	21,75	4,33
E3	6,41	1,81	2,04	0,08	12,19	0,40	0,08	2,57	0,94	11,27	3,02
E4	3,65	2,57	2,02	0,05	16,74	0,45	0,05	2,17	0,93	6,73	4,07
E5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

CORRIDA - 3

	%SiO ₂	%MnO	%P ₂ O ₅	%S	%Cr ₂ O ₅	% V ₂ O ₅	%TiO ₂	%Al ₂ O ₅	%MgO	%CaO	%FeO
E1	11,19	2,24	0,09	0,11	2,65	0,07	0,21	5,08	12,16	49,73	3,83
E2	12,93	2,61	1,20	0,11	6,09	0,15	0,10	3,76	10,27	24,89	3,40
E3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

CORRIDA - 4

	%SiO ₂	%MnO	%P ₂ O ₅	%S	%Cr ₂ O ₅	% V ₂ O ₅	%TiO ₂	%Al ₂ O ₅	%MgO	%CaO	%FeO
E1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E2	0,99	3,04	1,30	0,03	18,73	0,30	0,02	1,96	0,56	1,64	11,50
E3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

CORRIDA - 5

	%SiO ₂	%MnO	%P ₂ O ₅	%S	%Cr ₂ O ₅	%V ₂ O ₅	%TiO ₂	%Al ₂ O ₅	%MgO	%CaO	%FeO
E1	19,18	0,21	0,05	0,46	0,46	0,10	0,41	7,29	4,80	49,24	0,50
E2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E5	6,01	3,95	2,43	0,15	19,18	1,45	0,96	9,17	5,94	9,04	25,78

* OBS.: A partir da corrida 5 optou-se por analisar somente as amostras 1 e 5

de escórias.

5.2 - Discussão dos Resultados

A seguir são apresentados os resultados de cada evento durante os experimentos de desfosforantes, as figuras citadas no texto encontram-se no 8.2.

5.2.1 - Metodologia Na₂CO₃

- Carburação:

Analisando as corridas quanto ao teor de carbono no banho, observa-se que a carburação do banho foi eficiente, somente, para a primeira corrida; sendo que as demais corridas obtiveram teores de C, abaixo do que foi originalmente planejado. A seguir a tabela (IV) apresenta os teores de carbono esperados (%TCE) e obtidos (%TCO) na A0:

Tabela - IV: teores de carbono esperados e obtidos

CORRIDA	%TCE	%TCO
1	3	3,30*
2	4	3,29
3	5	4,19*

*OBS: Teor analisado em A1, pois A0 não foi possível

Tal fato pode ser atribuído ao tempo extremamente lento para a fusão total da carga, como pode ser observado nos registros das corridas (anexo-8.1) 2 e 3 que levaram, respectivamente, 3 e 1 horas para fusão total da carga; além disto o método de cálculo utilizado (eq.XI) nunca havia sido utilizado em teores de carburação superiores a 3 %C.

- Dessiliciação:

Quanto ao tratamento de dessiliciação pode-se observar que o mesmo foi satisfatório para todas as três corridas, pois conseguiu-se atingir valores próximos ou abaixo de 0,05%Si; comprovando-se assim a eficiência do processo de retirada do Si do banho metálico. O aumento verificado no teor de Si nas corridas 1 e 2, deve-se a contaminações do banho durante os experimentos por areia.

- Rendimento do Cromo:

* Figura 1 - A figura expressa o rendimento final de Cr em função da corrida. O rendimento do Cr foi em média de 95%; tais resultados podem ser atribuídos ao teor de C e a ação amenizante que este tem sobre a perda de Cr para a escória e, também, as baixas temperaturas que o tratamento desfosforante exige.

- Desfosforação:

* Figura 2 - A figura representa o grau de desfosforação (GP) obtido para cada amostra retirada durante as corridas 1, 2 e 3.

Desejava-se obter graus de desfosforação crescentes a medida que o teor de carbono aumentasse, porém os teores de carbono para as corridas 1 e 2 mantiveram patamares semelhantes de carburação e conseqüentemente de desfosforação. Mas, a corrida 3 alcançou teores de carbono bem mais elevados que o demais obtendo assim um G.P. superior aos demais; assim ficou evidenciado a influência positiva para o G.P. do teor de carbono dissolvido no banho. A pequena margem favorável à corrida 2, deve-se, provavelmente, as temperaturas de trabalho mais favoráveis para esta (1356 °C - para A5) do que as experimentadas na corrida 1 (1456 °C - para A5).

* Figura 3 - A figura representa o G.P. e o grau de dessulfuração (G.S.) totais obtidos em função das corridas realizadas.

A figura comprova que dessulfuração ocorre paralelamente a desfosforação do material experimentado, inclusive apresentando a mesma tendência de obter maiores G.S. para maiores %C a semelhança do G.P., porém em graus de eficiência muito maiores que os do processo desfosforante. A tabela (V) apresenta o G.P. e G.S. obtidos pelas corridas:

Tabela - V: GP e G.S.

CORRIDA	G.P.	G.S.
1	17,50	80
2	23,08	80
3	60	96,67

5.2.2 - Metodologia Li_2CO_3

- *Carburação:*

As análises químicas das amostras demonstram que o grau de carburação foi satisfatório, pois os teores de C chegaram próximos aos valores planejados. A seguir a tabela (VI) apresenta os teores de carbono esperados e obtidos na A0:

Tabela - VI: teores de carbono esperados e obtidos

CORRIDA	%TCE	%TCO
4	3	2,94
5	4	3,60
6	5	4,40

Os tempos para fusão total da carga foram em média 1 hora, o que provavelmente colaborou para a maior eficiência do grau de carburação, pois o grafite (material carburante) ficou em tempos menores de exposição a altas temperaturas.

- *Dessiliciação:*

A operação de dessiliciação foi extremamente eficiente para todas as três corridas, observou-se que o índice final foi menor ou igual a 0,02%Si. Portanto, o teor de silício obtido ofereceu condições desfosforantes, no tocante ao teor deste elemento no banho metálico.

- *Rendimento do Cromo:*

* Figura 4 - A figura apresenta os rendimentos obtidos para o Cr nas corridas desta metodologia, onde foi obtido um rendimento médio de 94,64% para as três corridas.

- *Desfosforação:*

* Figura 5 - A figura apresenta o G.P. para as amostra retirada ao longo das corridas 4, 5 e 6 para a metodologia Li_2CO_3 .

A corrida 4 apresentou um G.P. crescente ao longo da experiência (A2 não foi possível efetuar as análises) até a amostra A4, mas para A5 houve uma refosforação do banho, ou seja, o P retornou da escória para o banho. Isto, provavelmente, ocorreu devido ao aumento da temperatura de 1579 °C, por ocasião da retirada de A4, para 1654 °C, quando A5 foi retirada; a corrida 5, também, apresentou uma tendência a graus de desfosforação crescentes até um valor assintótico; a corrida 6, embora tenha obtido graus crescentes de desfosforação, apresentou uma anomalia de comportamento, pois esperava-se que devido ao maior grau de carburação da corrida 6 a mesma obtivesse patamares de desfosforação sempre superiores aos da corrida 5; porém, ao contrário da expectativa, o G.P. das amostras A2 até A4 da corrida 5 foram superiores as mesmas amostras da corrida 6. Tal fato pode estar relacionado as crescentes temperaturas (desfavorável ao processo) verificadas durante os intervalos de A2, A3 e A4, onde as temperaturas foram respectivamente 1398, 1411, 1421°C, somente vindo a cair na amostra A5, para a temperatura de 1408 °C. Além disto, houve um aumento do teor de FeO na escória da corrida 5 demonstrando que o banho obteve um poder oxidante crescente (

11,46 para 13,67% de FeO).

* Figura 6 - A figura apresenta o G.P e G.S. totais obtidos para a metodologia do Li em função da corrida; observa-se que o desempenho de G.P. foi, conforme o previsto, crescente. Porém, com relação a G.S. ocorreu o comportamento esperado apenas na corrida 4, pois na corrida 5 o G.S. ficou abaixo do G.P. e na corrida 6 ocorreu um G.S. negativo ou seja o teor de S final foi maior que o inicial. Com relação a corrida 5 o baixo valor de G.S., provavelmente, está relacionado com o baixo teor inicial de S (0,002%) que já estaria em um patamar tão baixo que os fluxos não seriam tão efetivos; além disto, o banho encontrava-se mais oxidado (situação desfavorável para a dessulfuração) conforme o aumento da quantidade de FeO demonstra. O teor final de S maior do que o teor inicial, na corrida 6, sugere que o banho sofreu algum tipo de contaminação, por enxofre, que elevou o teor deste elemento no banho metálico ou ocorreu um erro de análise química da amostra. A tabela (VII) apresenta o G.P. e G.S. obtidos pelas corridas:

Tabela - VII: GP e G.S.

CORRIDA	G.P.	G.S.
1	23,26	87,50
2	64,58	50
3	66,04	-266,67

Finalmente, dividindo-se os GP's da metodologia do lítio pelos G.P.'s da metodologia do sódio, obteve-se o Número de Vezes que um foi mais Efetivo que o outro (NVE) para um mesmo teor de

carbono. A tabela (VIII) a seguir apresenta os resultados obtidos:

Tabela - VIII: NVE em relação as metodologias Li_2CO_3 e

Na_2CO_3 .

CORRIDAS	NVE
4 e 1	1,33 vezes
5 e 2	2,80 vezes
6 e 3	1,10 vezes

Esperava-se que o G.P. do fluxo desfosforante a base de Li_2CO_3 fosse 2,1 vezes maior do que o G.P. dos fluxos a base de Na_2CO_3 ; porém, como na prática os teores de carbono não foram similares, como mostram as análises químicas, não pode-se evidenciar tal fato. Contudo pode-se observar que o poder desfosforante da metodologia do lítio sempre foi superior ao da metodologia do sódio.

5.2.3 - Metodologia BaCO_3

- Carburação:

As análises químicas das corridas demonstram que o grau de carburação foi atingido, exceto para uma corrida. A seguir a tabela (IX) apresenta os resultados esperados e os obtidos na A0:

Tabela - IX: teores de carbono esperados e obtidos

CORRIDA	%TCE	%TCO
7	3	3,10
8	4	3,30
9	5	4,80

Com relação a corrida 8 não foi possível concluir-se o motivo pela qual a mesma não carburou, já que o tempo e temperatura

foram satisfatórios.

- Dessiliciação:

Conforme as análises químicas demonstram, a operação de dessiliciação foi plenamente satisfatória e os teores de silício nos banhos metálicos, durante os experimentos, ofereceram condições desfosforantes.

- Rendimento do Cromo:

* Figura 7 - A figura apresenta os rendimentos obtidos para as corridas da metodologia, salienta-se os altos rendimentos obtidos em todos os três experimentos (acima de 95%); tais resultados estão relacionados com os teores de C obtidos no banho, onde maiores teores de carburação levam a menores perdas de Cr do banho para escória.

- Desfosforação:

* Figura 8 - A figura apresenta os GP's para cada amostra durante as corridas 7, 8 e 9 para a metodologia BaCO_3 .

A metodologia do bário, ao contrário das duas anteriores, apresenta GP's crescentes para teores de, aproximadamente, 0,2 a 3% de C e a partir destes teores o grau de desfosforação tende a decrescer^(1,2). Este comportamento de maneira geral foi evidenciado, pois os graus de desfosforação obtidos para os banhos de menores teores de carbono foram sempre superiores aos obtidos pelos de maiores teores. A corrida 7 apresentou um comportamento diverso para A2, ou seja o GP foi mais baixo, além disto houve uma

refosforação devido ao aumento da temperatura (1557 °C) verificado durante a retirada da amostra.

* Figura 9 - A figura apresenta o GP e o GS totais de cada corrida; pode-se observar que o GP tende a um decréscimo suave ao longo das corridas, em acordo com a bibliografia, devido ao incremento da carburação ao longo destas corridas. Paralelamente, foi evidenciado um G.S. com patamares iguais ou superiores a 90%. A seguir a tabela X apresenta os graus de desfosforação e dessulfuração obtidos para a metodologia:

Tabela - X: GP e G.S.

CORRIDA	G.P.	G.S.
7	59,09	96,67
8	50,00	90,00
9	43,75	99,49

5.2.4 - Melhor Resultado e Comparação das Metodologias

* Figura 10 - A figura apresenta a melhor corrida obtida , onde para um teor inicial de 0,053% de P chegou-se a um teor final de 0,018%; estes valores significam um grau de desfosforação de 66%. Esperava-se obter este resultado, pois a metodologia do Li_2CO_3 , comparando com as outras duas, era tida como a mais eficaz para altos teores de carburação.

* Figura 11 - A figura representa a comparação das três metodologias quanto aos graus de desfosforação obtidos. O gráfico mostra a tendência das metodologias Na_2CO_3 e Li_2CO_3 terem

GP's crescentes, sendo a metodologia do Li a mais efetiva, a medida que o teor de C seja elevado no banho metálico. Apresenta, também, o comportamento inverso que a metodologia BaCO_3 apresenta para teores mais elevados de carburação.

6 - CONCLUSÕES:

A partir da análise dos resultados obtidos pode-se chegar as seguintes conclusões:

- O percentual de carbono foi elevado mediante adição de grafite, porém o mesmo não foi satisfatório já que o rendimento do C, em média, foi na ordem de 79 a 89%.

- O fluxo de dessiliciação 65%CaO - 30%BaCl₂ - 5%Fe₂O₃ em uma relação de 60 g/kg-fluxo, mostrou-se eficiente, pois a partir de teores iniciais de 0,05 a 0,38% de Si foram obtidos teores finais de 0,01 a 0,03%.

- A desfosforação do aço inoxidável 18-8 utilizando as metodologias do Na₂CO₃, Li₂CO₃ e os fluxos propostos mostrou-se adequada para graus crescentes de carburação, onde a metodologia do lítio mostrou-se a mais eficiente e foi obtido um G.P. máximo de 64,58% na corrida 5.

- A desfosforação do aço inoxidável utilizando a metodologia BaCO₃ e os fluxos propostos mostrou-se inadequada para os teores de 3,1 a 4,8% de C, pois concomitantemente ao aumento do teor de carbono houve uma redução do G.P., o que mostrou que o ponto ótimo de carburação para esta metodologia havia sido ultrapassado.

- O rendimento do Cr mostrou que este sofre um incremento positivo, paralelamente, ao aumento do teor de C, onde para um

99,49% para o cromo.

- Os teores finais de S nos banhos metálicos mostraram que a dessulfuração é um fenômeno que ocorre paralelamente a desfosforação.

7 - BIBLIOGRAFIA

- 1 - Moraes, C.A.M.: Desfosforação de Aço Inoxidável. Porto Alegre, PPGEMM, UFRGS, 1991.
- 2 - Arnt, A.B.C.: Desfosforação Oxidante do Aço Inoxidável com Fluxos à base de Bário. Porto Alegre, PPGEMM, UFRGS, 1994.
- 3 - Cruz, E.B. et al. Desfosforação de ferro-manganês. *Metalurgia & Materiais*, São Paulo, vol. 51, nº 439, p. 238-243, março de 1995.
- 4 - Lima, A.L.M.: Estudo da Influência do Agente Oxidante na Desfosforação do Aço Inoxidável 18-8. Porto Alegre, Departamento de Metalurgia, UFRGS, 1993.
- 5 - Colombier, L.; Hochmann, J., *Stainless and Heat Resisting Steels*, second edition. Great Britain, Edward Arnold (Publishers) Ltd, 1967.
- 6 - Cruz, E.B.: Estudo do Processo de Dessulfuração e Desfosforação de Aços Inoxidáveis sob Condições Redutoras Através da Adição e Injeção de Carboneto de Cálcio. São Paulo, Escola Politécnica, USP, 1991.
- 7 - Campos, V.F.: *Tecnologia de Fabricação do Aço Líquido*. vol.1: Fundamentos, 3. ed., Belo Horizonte, UFMG, 1985.

8 - ANEXOS

8.1 -Registros de Corridas

Nº CORRIDA
01

OBSERVAÇÕES: METODOLOGIA - Na_2CO_3
TEMPO DE REAÇÃO - 10 min C = 3%

CARGAS		
MATERIAL	1ª CARGA	2ª CARGA
SLICATA	3100g	2050g
GRAFITE	203g	

ADIÇÕES NO FORNO		
	MATERIAL	QUANTIDADE
FLUXO DESSIL.	Fe_2O_3	15g
	CaO	195g
	$BaCl_2$	90g
FLUXO DESFOSE	CAREPA	100g
	Na_2CO_3	82,5g
	NaF	192,5g

TEMP. DA H_2O (REFRIG.)	
TEMPO	TEMP. (°C)
15:20	27°C
16:15	27°C

ENERGIA	
TEMPO	POTENCIA
15:10	-
15:20	11
15:27	11,5
15:43	12,5
15:52	11
15:58	10
16:00	10
16:20	12
16:25	8
16:39	6
16:42	6
16:53	5
16:56	6
17:02	6
17:15	6
17:16	6
17:18	8
17:29	8
17:42	8
18:00	10

EVENTOS
Início dos Eventos
CARGA-1 ao FORNO
ADICÃO DO GRAFITE
FUSÃO DA CARGA - 1
FUSÃO DA CARGA - 2
RETIRADA DE A0
FLUXO DE DESSILICAÇÃO
DISSOLUÇÃO do Fluxo
RETIRADA DE A1/E1
ADICÃO 1/3 DESFOSFORAÇÃO
DISSOLUÇÃO do Fluxo
RETIRADA de A2/E2
ADICÃO 1/3 DESFOSFORAÇÃO
DISSOLUÇÃO
RETIRADA DE A3/E3
ADICÃO 1/3 DESFOSFORAÇÃO
DISSOLUÇÃO
RETIRADA DE A4/E4
RETIRADA DE A5/E5
VAZAMENTO - TERMO

TEMP. (°C)
1500
1550
1624
1554
1378
1489
1497
1463
1456

DATA CORRIDA	PRESSÃO D'AGUA	REFRATÁRIO	QUALIDADE	TAP - TO - TAP	TEMP.VAZAMENTO
28/03/95	55 psi	MgO	18-8	2h:22min	

Nº CORRIDA	OBSERVAÇÕES: METODOLOGIA - Na_2CO_3	
02	TEMPO DE REAÇÃO - 10min	C = 4%

CARGAS		
MATERIAL	1ª CARGA	2ª CARGA
BUXATA	2055g	2000g
GRAFITE	271g	

ADIÇÕES NO FORNO		
	MATERIAL	QUANTIDADE
FLUXO DESSIL.	Fe_2O_3	15g
	CaO	195g
	BaCl_2	90g
FLUXO DESFOSE	CAREPA	100g
	Na_2CO_3	82,50g
	NaF	192,50g

TEMP. DA H_2O (REFRIG.)	
TEMPO	TEMP (°C)
13:24	24

ENERGIA	
TEMPO	POTENCIA
13:24	-
13:29	06
13:39	07
16:17	12
16:30	12
16:32	12
16:33	12,5
17:06	10
17:20	10
17:24	10
17:45	10
17:55	10
18:02	10
18:15	10
18:27	9
18:35	10
18:56	8
19:08	8
19:25	8
19:30	10

EVENTOS
Início dos eventos
CARGA - 1 ao FORNO
CARBURACÃO
FUSÃO DA CARGA-1
FUSÃO DA CARGA-2
RETIRADA DE AO
FLUXO DE DESSILICAÇÃO
DISSOLUÇÃO DO FLUXO
RETIRADA DE A1/E1
ADIÇÃO 1/3 DESFOSFORAÇÃO
DISSOLUÇÃO
RETIRADA DE A2/E2
ADIÇÃO 1/3 DESFOSFORAÇÃO
DISSOLUÇÃO
RETIRADA E3/A3
ADIÇÃO 1/3 DESFOSFORAÇÃO
DISSOLUÇÃO
RETIRADA A4/E4
RETIRADA A5/E5
VAZAMENTO - TÉRMINO

TEMP. (°C)
1267
1269
1336
1470
1336
1559
1506
1512
1595
1419
1356

DATA CORRIDA	PRESSÃO D'AGUA	REFRATÁRIO	QUALIDADE	TAP - TO - TAP	TEMP. VAZAMENTO
11/04/95	55psi	MgO	18-8	5h:56min	

Nº CORRIDA
03

OBSERVAÇÕES: METODOLOGIA - Na_2CO_3
TEMPO DE REAÇÃO - 10 min C = 5%

CARGAS		
MATERIAL	1ª CARGA	2ª CARGA
BULGATA	3060g	2030g
GRAFITE	340g	

ADIÇÕES NO FORNO		
	MATERIAL	QUANTIDADE
FLUXO DESSIL.	Fe_2O_3	150g
	CaO	195g
	BaCl_2	90g
FLUXO DESFOSE	CAREPA	100g
	Na_2CO_3	82,5g
	NaF	192,5g

TEMP. DA H_2O (REFRIG.)	
TEMPO	TEMP. (°C)
14:26	25°C

ENERGIA	
TEMPO	POTENCIA
13:50	-
13:53	14
14:11	14
14:35	11
14:52	14
15:00	13
15:02	13
15:45	10
15:50	10
16:02	10
16:19	10
16:30	10
16:35	10
16:40	9
16:52	9
16:56	9
17:00	9
17:10	8
17:23	9
17:30	10

EVENTOS
INÍCIO DOS EVENTOS
CARGA - 1
CARBURACÃO
FUSÃO DA CARGA - 1
FUSÃO DA CARGA - 2
RETIRADA DE AO
FLUXO DE DESSINICAÇÃO
DISSOLUÇÃO DO FLUXO
RETIRADA DE A1/E1
ADIÇÃO 1/3 DESFOFORAÇÃO
DISSOLUÇÃO
RETIRADA A2/E2
ADIÇÃO 1/3 DESFOFORAÇÃO
DISSOLUÇÃO
RETIRADA A3/E3
ADIÇÃO 1/3 DESFOFORAÇÃO
DISSOLUÇÃO
RETIRADA A4/E4
RETIRADA A5/E5
VAZAMENTO - TÉRMINO

TEMP. (°C)
1354
1534
1441
1459
1418
1381
1459
1406
1411
1400

DATA CORRIDA	PRESSÃO D'ÁGUA	REFRATÁRIO	QUALIDADE	TAP - TO - TAP	TEMP. VAZAMENTO
18/04/95	55psi	MgO	18-8	3h:30min	

Nº CORRIDA

OBSERVAÇÕES: METODOLOGIA: Li_2CO_3

A PARTIR DESTA CORRIDA FOI UTILIZADO O 2º GRAFITE

TEMPO DE REAÇÃO: 10min C = 3%

04

CARGAS			ADIÇÕES NO FORNO			TEMP. DA H_2O (REFRIG.)	
MATERIAL	1ª CARGA	2ª CARGA		MATERIAL	QUANTIDADE	TEMPO	TEMP. (°C)
BUCAIA	3050g	2035g	FLUXO	Fe_2O_3	15g	13:48	24
			DESSIL.	CaO	195g		
				BaCl_2	90g		
GRAFITE	166,8g		FLUXO	CAREPA	100g		
			DESFOSE	Li_2CO_3	82,5g		
				NaF	192,5g		

ENERGIA		EVENTOS		TEMP. (°C)
TEMPO	POTENCIA			
13:50		INÍCIO DOS EVENTOS		
13:52	13	CARGA - 1		
13:53	13	ADIÇÃO DO GRAFITE		
14:30	10	FUSÃO DA CARGA-1		
14:44	13	FUSÃO DA CARGA-2		
14:49	13	RETIRADA DE AO		1420
14:55	10	FLUXO DE DESSILICAÇÃO		1480
15:30	9	DISSOLUÇÃO		
15:40	9	RETIRADA DE A1/E1		
15:47	9	ADIÇÃO 1/3 DESFOSFORANTE		
15:52	9	DISSOLUÇÃO		1393
16:04	9	RETIRADA DE A2/E2		1391
16:09	9	ADIÇÃO 1/3 DESFOSFORANTE		
16:14	9	DISSOLUÇÃO		1433
16:25	9	RETIRADA DE A3/E3		1352
16:28	9	ADIÇÃO 1/3 DESFOSFORANTE		
16:34	10	DISSOLUÇÃO		
16:44	10	RETIRADA DE A4/E4		1579
16:56	7	RETIRADA DE A5/E5		1654
17:02	7	VAZAMENTO - TÉRMINO		

DATA CORRIDA	PRESSÃO D'ÁGUA	REFRATÁRIO	QUALIDADE	TAP - TO - TAP	TEMP. VAZAMENTO
25/04/95	55psi	MgO	18-8	3h:10min	

Nº CORRIDA
05

OBSERVAÇÕES: METODOLOGIA: Li_2CO_3
TEMPO DE REAÇÃO: 10min C = 4%

CARGAS		
MATERIAL	1ª CARGA	2ª CARGA
SUCATA	3075g	2025g
Gráfico	223,5	

ADIÇÕES NO FORNO		
	MATERIAL	QUANTIDADE
FLUXO DESSIL.	Fe_2O_3	15g
	CaO	1950g
	BaCl_2	900g
FLUXO DESFOSE	CAREPA	100g
	Li_2CO_3	82,5g
	NaF	192,5g

TEMP. DA H_2O (REFRIG.)	
TEMPO	TEMP. (°C)
13:43	22

ENERGIA	
TEMPO	POTENCIA
13:40	—
13:43	12
14:20	12
14:53	12,5
15:07	10
15:11	10
15:35	12
15:40	11
15:46	10
16:00	9
16:10	9
16:15	9
16:25	11
16:39	9
16:43	9
16:50	9
17:02	9
17:14	9
17:25	10

EVENTOS
INÍCIO DOS EVENTOS
CARGA-1 / ADIÇÃO GRÁFITE
FUSÃO DA CARGA-1
FUSÃO DA CARGA-2
RETIRADA DE AO
FLUXO DE DESSILICIAÇÃO
DISSOLUÇÃO
RETIRADA DE A1/E1
ADIÇÃO 1/3 DESFOSFORANTE
DISSOLUÇÃO
RETIRADA DE A2/E2
ADIÇÃO 1/3 DESFOSFORANTE
DISSOLUÇÃO DO FLUXO
RETIRADA DE A3/E3
ADIÇÃO 1/3 DESFOSFORANTE
DISSOLUÇÃO DO FLUXO
RETIRADA DE A4/E4
RETIRADA DE A5/E5
VAZAMENTO - TÉRMINO

TEMP. (°C)
1540
1410
1660
1632
1589
1538
1538
1662
1396
1519
1569

DATA	CORRIDA	PRESSÃO D'ÁGUA	REFRATÁRIO	QUALIDADE	TAP - TO - TAP	TEMP. VAZAMENTO
16/05/95		55 psi	MgO	18-8	3h:31min	

Nº CORRIDA

OBSERVAÇÕES: METODOLOGIA: Li_2CO_3

06

TEMPO DE REAÇÃO: 10 min

C = 5%

CARGAS			ADIÇÕES NO FORNO			TEMP. DA H_2O (REFRIG.)	
MATERIAL	1ª CARGA	2ª CARGA		MATERIAL	QUANTIDADE	TEMPO	TEMP. (°C)
BACITA	3030g	2060g	FLUXO DESSIL.	Fe_2O_3	15g	8:50	20
				CaO	195g		
				BaCl_2	30g		
GRAFITE	280,1g		FLUXO DESFOSE	CAREPA	100g		
				Li_2CO_3	82,5g		
				NaF	192,5g		

ENERGIA		EVENTOS		TEMP. (°C)
TEMPO	POTENCIA			
8:32	-	INÍCIO DOS EVENTOS		
8:40	13	CARGA-1 / CARBURAÇÃO		
9:37	12,5	FUSÃO DA CARGA-1		
9:54	12,5	FUSÃO DA CARGA-2		
9:57	13	RETIRADA DE A8		1351
9:58	13	FLUXO DE DESSILICAÇÃO		
10:37	11	DISSOLUÇÃO		1331
10:42	9	RETIRADA DE A1/E1		1389
10:48	9	ADIÇÃO DE 1/3 DESFOSEFORANTE		
11:00	9	DISSOLUÇÃO		1363
11:11	9	RETIRADA DE A2/E2		1398
11:24	8	ADIÇÃO DE 1/3 DESFOSEFORANTE		
11:34	8	DISSOLUÇÃO		1348
11:45	9	RETIRADA DE A3/E3		1411
11:53	9	ADIÇÃO DE 1/3 DESFOSEFORAÇÃO		
12:04	9	DISSOLUÇÃO		1359
12:14	9	RETIRADA DE A4/E4		1421
12:25	9	RETIRADA DE A5/E5		1408
12:35	10	VAZAMENTO - TÉRMINO		

DATA CORRIDA	PRESSÃO D'ÁGUA	REFRATÁRIO	QUALIDADE	TAP - TO - TAP	TEMP. VAZAMENTO
18/05/95	55psi	MgO	18-8	3h:45min	

Nº CORRIDA	OBSERVAÇÕES: Metodologia - BaCO ₃	
	07	TEMPO DE REAÇÃO: 10min C = 3%

CARGAS		
MATERIAL	1ª CARGA	2ª CARGA
BUZATA	3150g	1850g
GRAXITE	166,8g	

ADIÇÕES NO FORNO		
	MATERIAL	QUANTIDADE
FLUXO DESSIL.	Fe ₂ O ₃	15g
	CaO	195g
	BaCl ₂	90g
FLUXO DESFOSE	CAREPA	100g
	BaCO ₃	200g
	BaCl ₂	300g

TEMP. DA H ₂ O (REFRIG.)	
TEMPO	TEMP. (°C)
8:49	18

ENERGIA	
TEMPO	POTENCIA
8:45	-
8:48	12,5
9:25	12,5
9:39	12,5
9:41	12,5
9:58	13
10:17	10
10:23	10
10:27	10
10:36	8
10:50	8
10:53	8
11:07	8
11:17	8
11:25	8
11:33	10
11:45	10
11:58	10
12:07	11

EVENTOS	
Início dos eventos	
CARGA-1 / CARBURAÇÃO	
FUSÃO da CARGA-1	
FUSÃO da CARGA-2	
RETIRADA DE A0	
FLUXO de DESSILICIAÇÃO	
DISSOLUÇÃO	
RETIRADA DE A1/E1	
ADIÇÃO de 1/3 DESFOSFORANTE	
DISSOLUÇÃO	
RETIRADA DE A2/E2	
ADIÇÃO de 1/3 DESFOSFORANTE	
DISSOLUÇÃO	
RETIRADA A3/E3	
ADIÇÃO de 1/3 DESFOSFORANTE	
DISSOLUÇÃO	
RETIRADA DE A4/E4	
RETIRADA DE A5/E5	
VAZAMENTO - TÉRMINO	

TEMP. (°C)
1317
1323
1420
1479
1435
1642
1557
1294
1325
1498
1458
1507

DATA	CORRIDA	PRESSÃO D'AGUA	REFRATÁRIO	QUALIDADE	TAP - TO - TAP	TEMP.VAZAMENTO
20/05/95		55psi	MgO	18-8	3h:10min	

Nº CORRIDA
08

OBSERVAÇÕES: metodologia - BaCO₃

TEMPO DE REACÃO: 10min

C = 4%

CARGAS		
MATERIAL	1ª CARGA	2ª CARGA
SUCATA	2860g	2080g
GRAFITE	223,5g	

ADIÇÕES NO FORNO		
	MATERIAL	QUANTIDADE
FLUXO DESSIL.	Fe ₂ O ₃	15g
	CaO	195g
	BaCl ₂	80g
FLUXO DESFOSE	CAPEPA	100g
	BaCO ₃	200g
	BaCl ₂	300g

TEMP. DA H ₂ O (REFRIG.)	
TEMPO	TEMP (°C)
12:50	20

ENERGIA	
TEMPO	POTENCIA
12:42	—
12:49	11
13:13	11
13:30	11
14:06	11
14:08	12
14:52	9
14:57	9
15:04	9
15:11	9
15:21	9
15:33	9
15:39	9
15:49	9
15:55	9
16:07	9
16:17	9
16:30	9
16:45	10

EVENTOS		TEMP. (°C)
Início dos Eventos		
CARGA - 1 / CARBURAÇÃO		
FUSÃO da CARGA - 1		
FUSÃO da CARGA - 2		
RETIRADA DE A0		1360
FLUXO de DESSILICAÇÃO		1537
DISSOLUÇÃO do FLUXO		1427
RETIRADA DE A1/E1		
ADICÃO DE 1/3 DESFOSFORANTE		
DISSOLUÇÃO		1447
RETIRADA DE A2/E2		
ADICÃO DE 1/3 DESFOSFORANTE		
DISSOLUÇÃO		1501
RETIRADA DE A3/E3		
ADICÃO DE 1/3 DESFOSFORANTE		
DISSOLUÇÃO		1474
RETIRADA DE A4/E4		1386
RETIRADA DE A5/E5		1450
VAZAMENTO - TÉRMINO		

DATA CORRIDA	PRESSÃO D'ÁGUA	REFRATÁRIO	QUALIDADE	TAP - TO - TAP	TEMP. VAZAMENTO
20/05/85	55psi	MgO	18-8	3h 41min	

Nº CORRIDA	OBSERVAÇÕES: Metodologia - BaCO ₃
09	TEMPO DE REAÇÃO: 10min C = 5%

CARGAS		
MATERIAL	1ª CARGA	2ª CARGA
QUICATA	3040g	1960g
GRAFITE	280,1g	

ADIÇÕES NO FORNO		
	MATERIAL	QUANTIDADE
FLUXO DESSIL.	Fe ₂ O ₃	15g
	CaO	195g
	BaCO ₂	90g
FLUXO DESFOSE	CAREPA	100g
	BaCO ₃	200g
	BaCO ₂	300g

TEMP. DA H ₂ O (REFRIG.)	
TEMPO	TEMP. (°C)
13:54	

ENERGIA	
TEMPO	POTENCIA
13:50	-
13:54	8
14:50	13
15:08	13
15:10	13
15:15	13
16:01	10
16:	9
16:14	
16:22	8
16:39	7
16:41	10
16:52	9
17:05	9
17:10	9
17:28	10
17:41	9
17:52	9
18:08	10

EVENTOS
Início dos Eventos
CARGA-1 / CARBURAÇÃO
FUSÃO DA CARGA-1
FUSÃO DA CARGA-2
RETIRADA DE AO
FLUXO DE DESSILICIAÇÃO
DISSOLUÇÃO
RETIRADA DE A1/E1
ADICÃO DE 1/3 DESFOSFORANTE
DISSOLUÇÃO
RETIRADA DE A2 (E2 NÃO FOI POSSÍVEL)
ADICÃO DE 1/3 DESFOSFORANTE
DISSOLUÇÃO
RETIRADA DE A3/E3
ADICÃO DE 1/3 DESFOSFORAÇÃO
DISSOLUÇÃO
RETIRADA DE A4/E4
RETIRADA DE A5/E5
VARAMENTO - TÉRMINO

TEMP. (°C)
1387
1448
1383
1410
1285
1200
1423
1469
1459

DATA CORRIDA	PRESSÃO D'ÁGUA	REFRATÁRIO	QUALIDADE	TAP - TO - TAP	TEMP. VAZAMENTO
23/05/95	55psi	MgO	18-8	3h:58min	

8.2 - Figuras

RENDIMENTO DO CROMO

METODOLOGIA DO CARBONATO DE SÓDIO

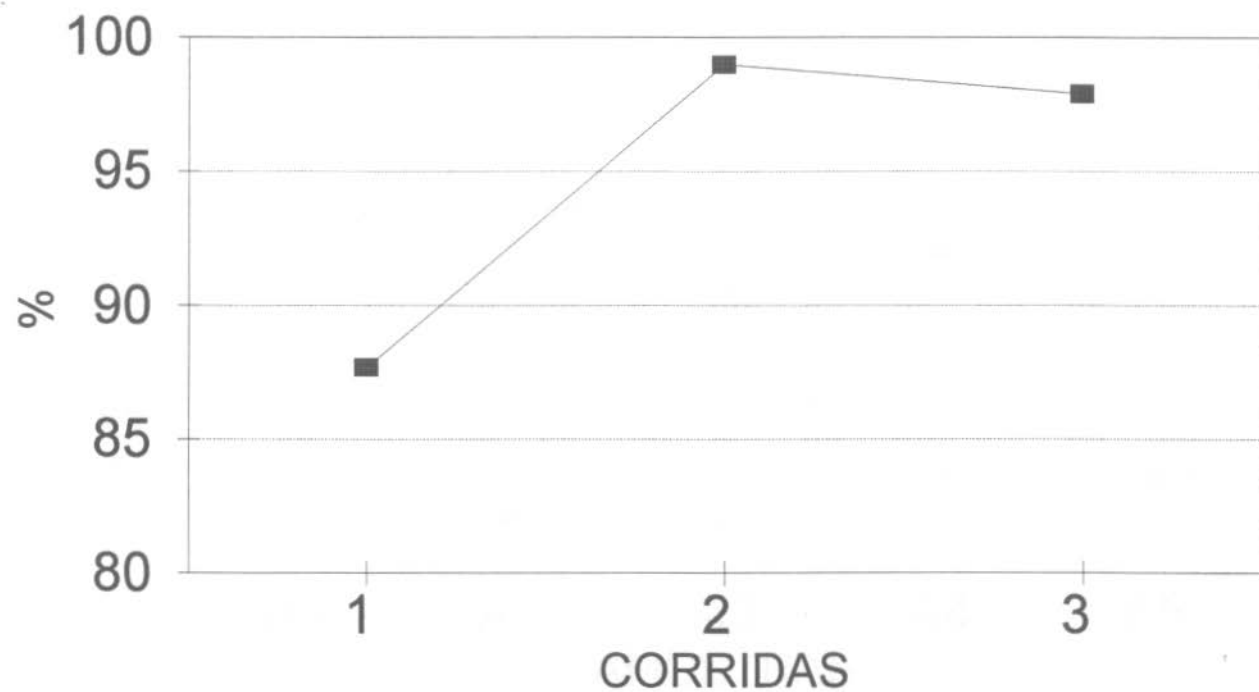


Figura - 1

Rendimento do Cr para a metodologia Na_2CO_3

GRAU DE DESFOSFORAÇÃO

METODOLOGIA DO CARBONATO DE SÓDIO

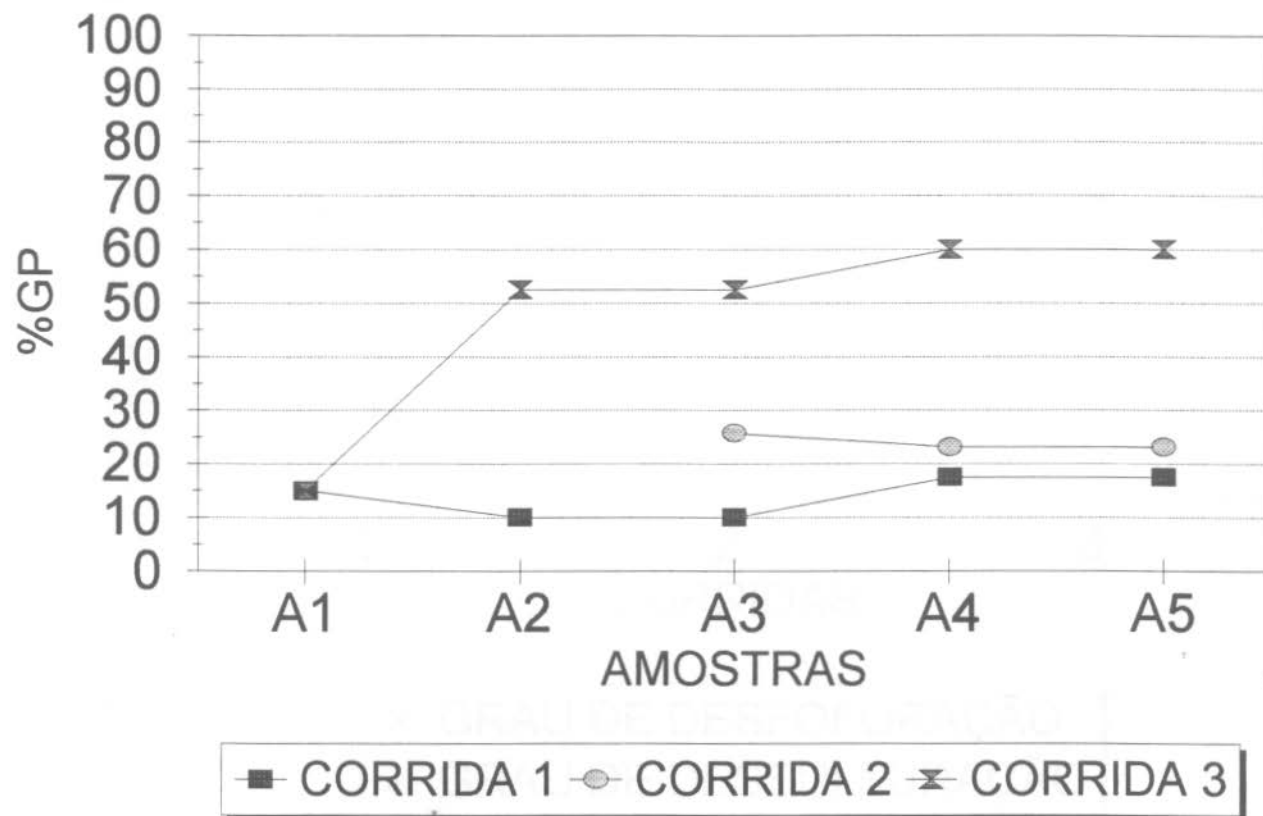


Figura - 2

G.P. ao longo das corridas 1, 2 e 3

GP E GS TOTAIS

METODOLOGIA DO CARBONATO DE SÓDIO

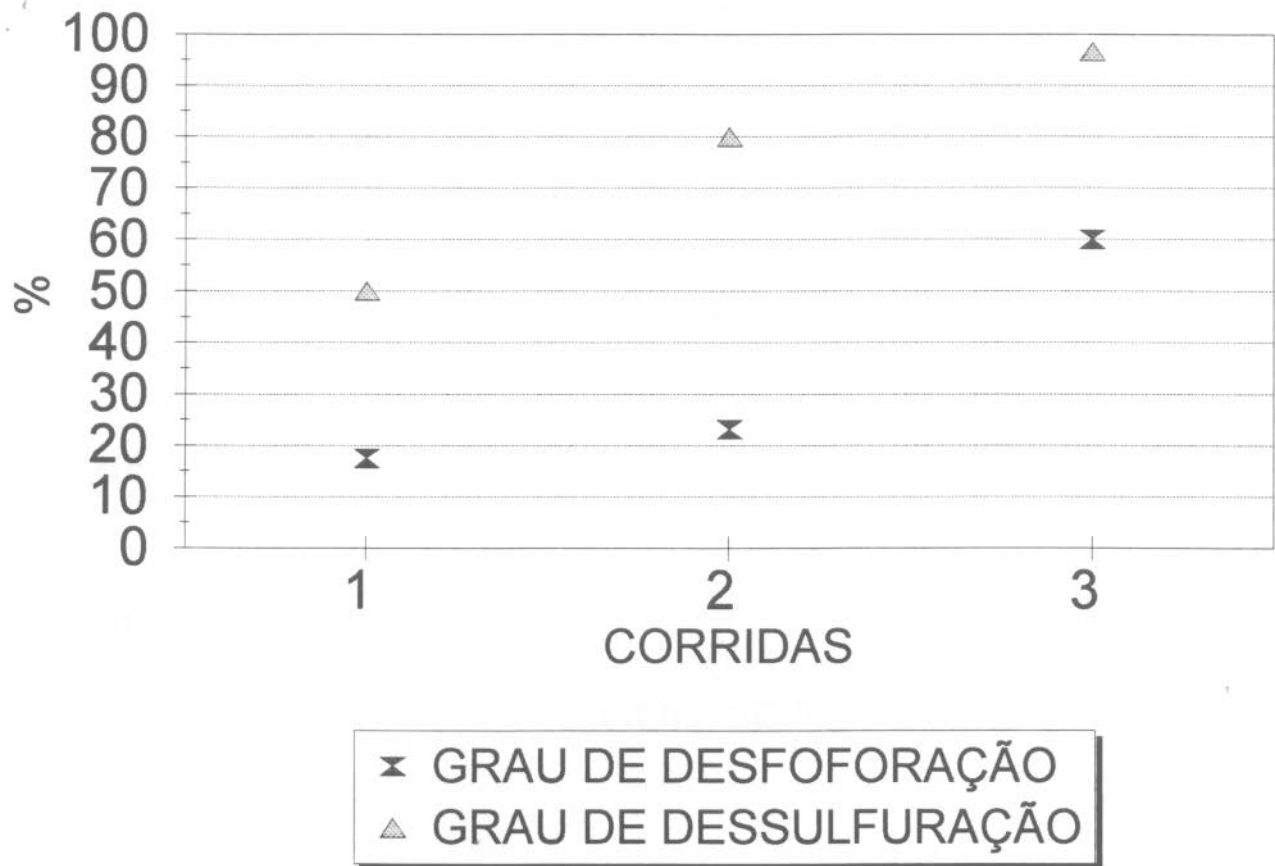


Figura - 3

G.P. e G.S. totais para cada corrida da metodologia Na_2CO_3

RENDIMENTO DO CROMO

METODOLOGIA DO CARBONATO DE LÍTIO

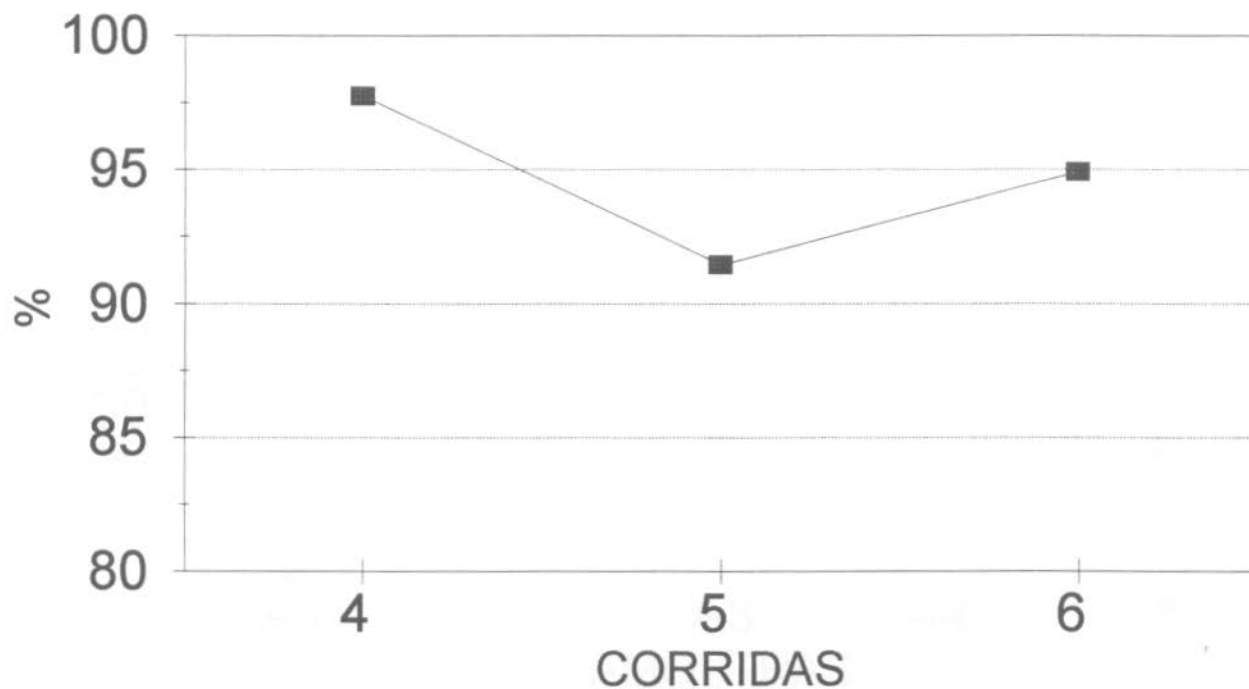


Figura - 4

Rendimento do Cr para a metodologia Li_2CO_3

GRAU DE DESFOSFORAÇÃO

METODOLOGIA DO CARBONATO DE LÍTIO

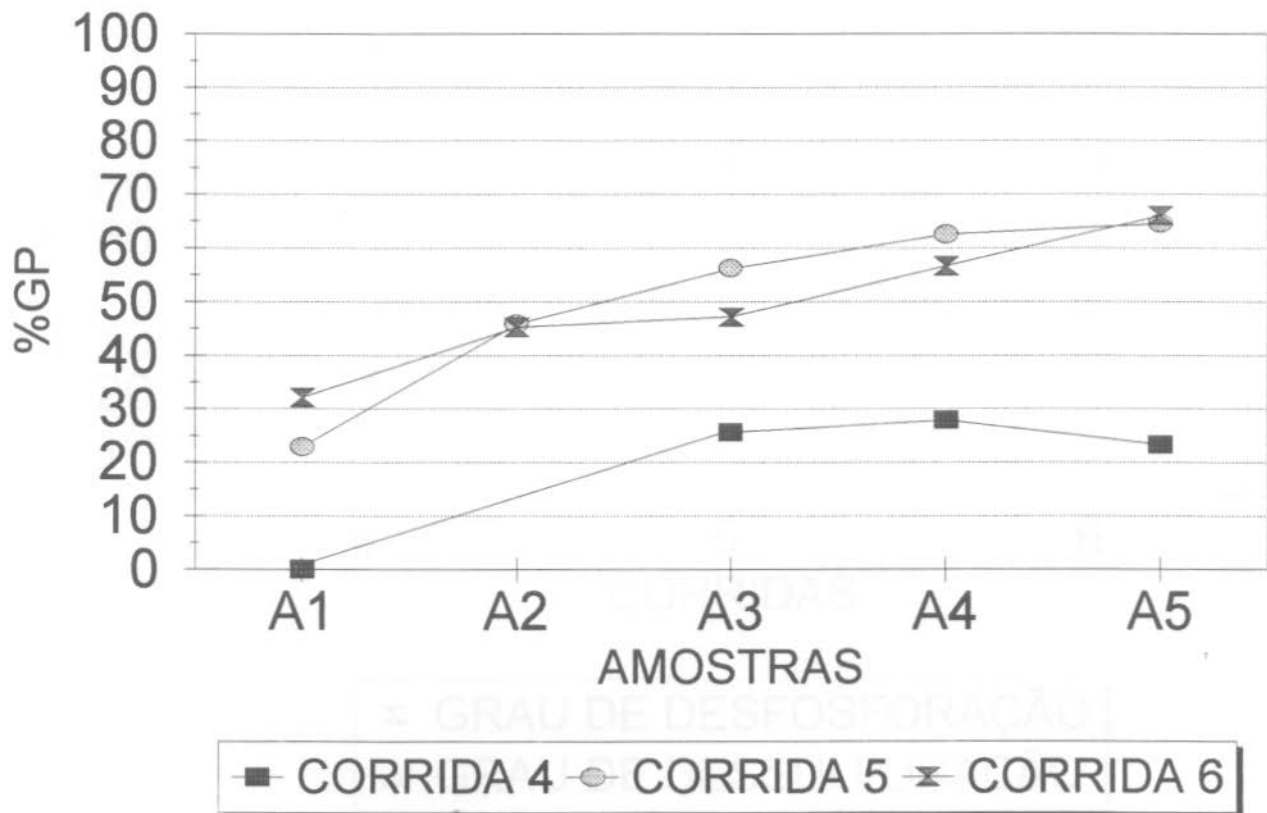


Figura - 5

G.P. ao longo das corridas 4, 5 e 6

GP E GS TOTAIS

METODOLOGIA DO CARBONATO DE LÍTIO

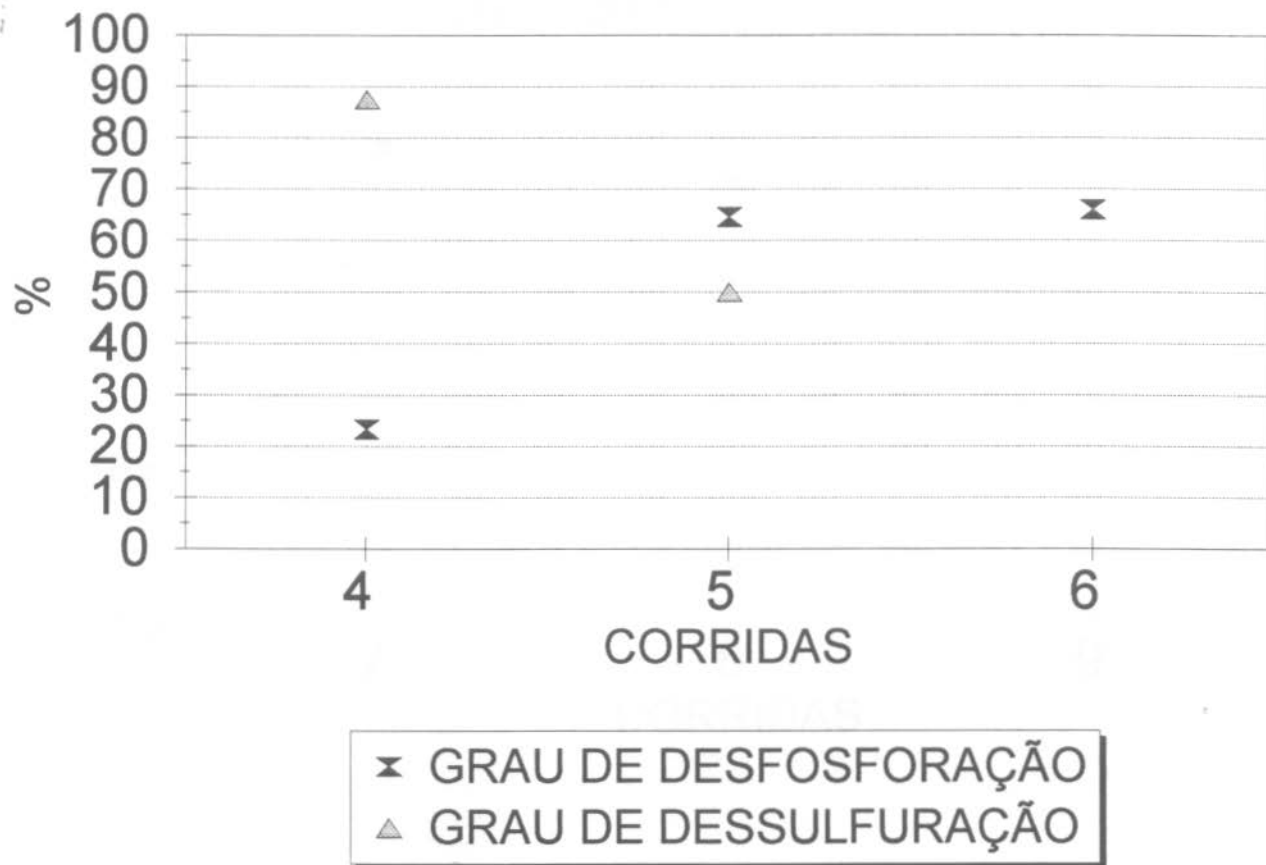


Figura - 6

G.P. e G.S. totais para cada corrida da metodologia Li_2CO_3

RENDIMENTO DO CROMO

METODOLOGIA DO CARBONATO DE BÁRIO

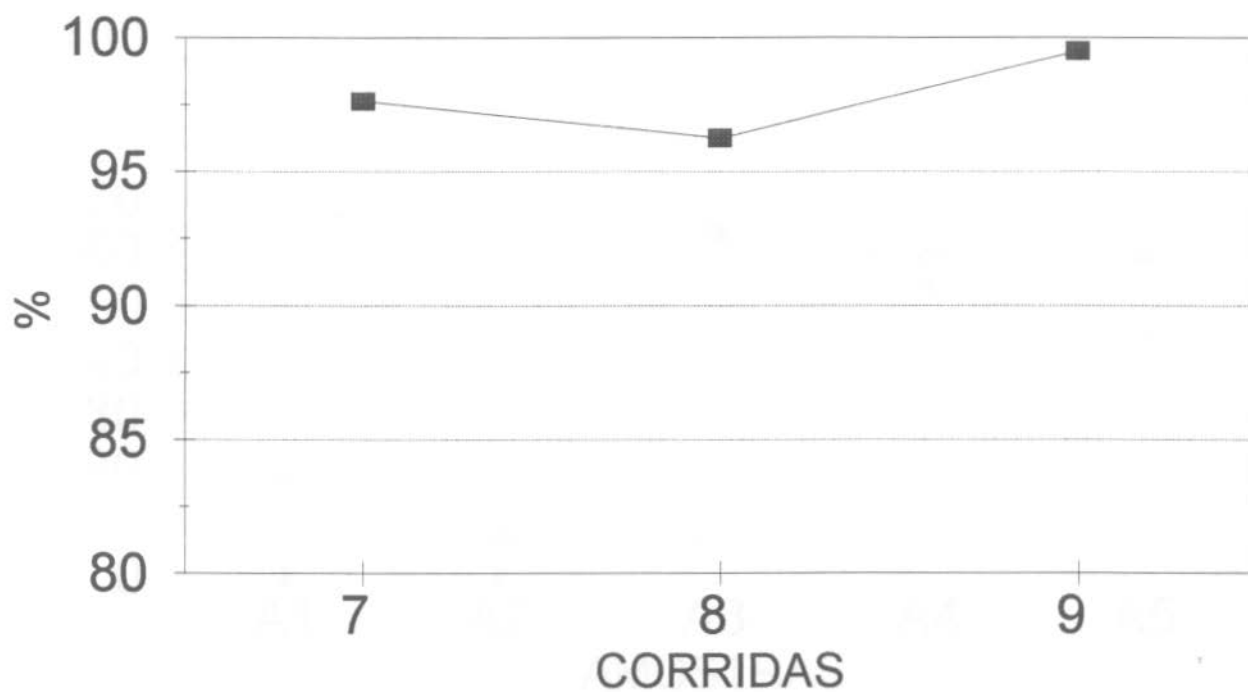


Figura - 7

Rendimento do Cr para a metodologia BaCO₃

GRAU DE DESFOSFORAÇÃO

METODOLOGIA DO CARBONATO DE BÁRIO

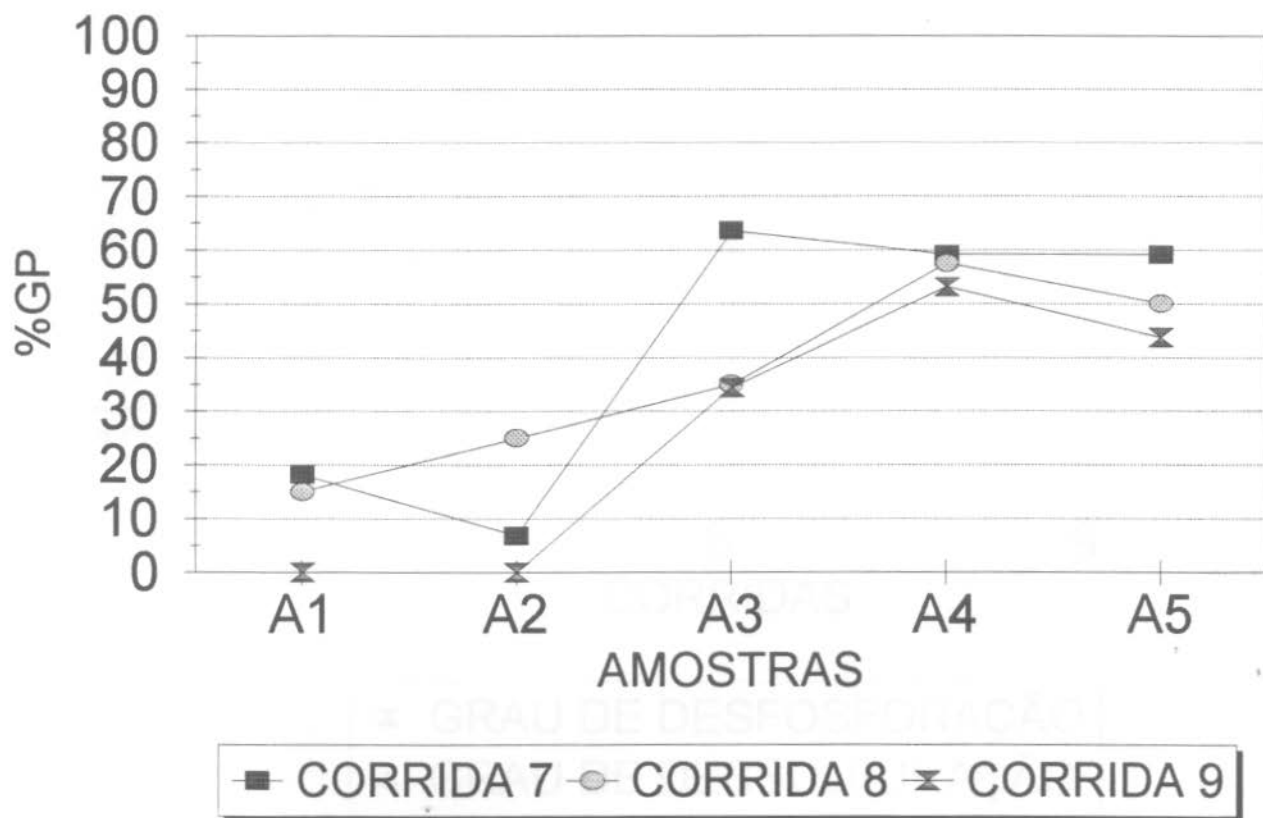


Figura - 8

G.P. ao longo das corridas 7, 8 e 9

GP E GS TOTAIS

METODOLOGIA DO CARBONATO DE BÁRIO

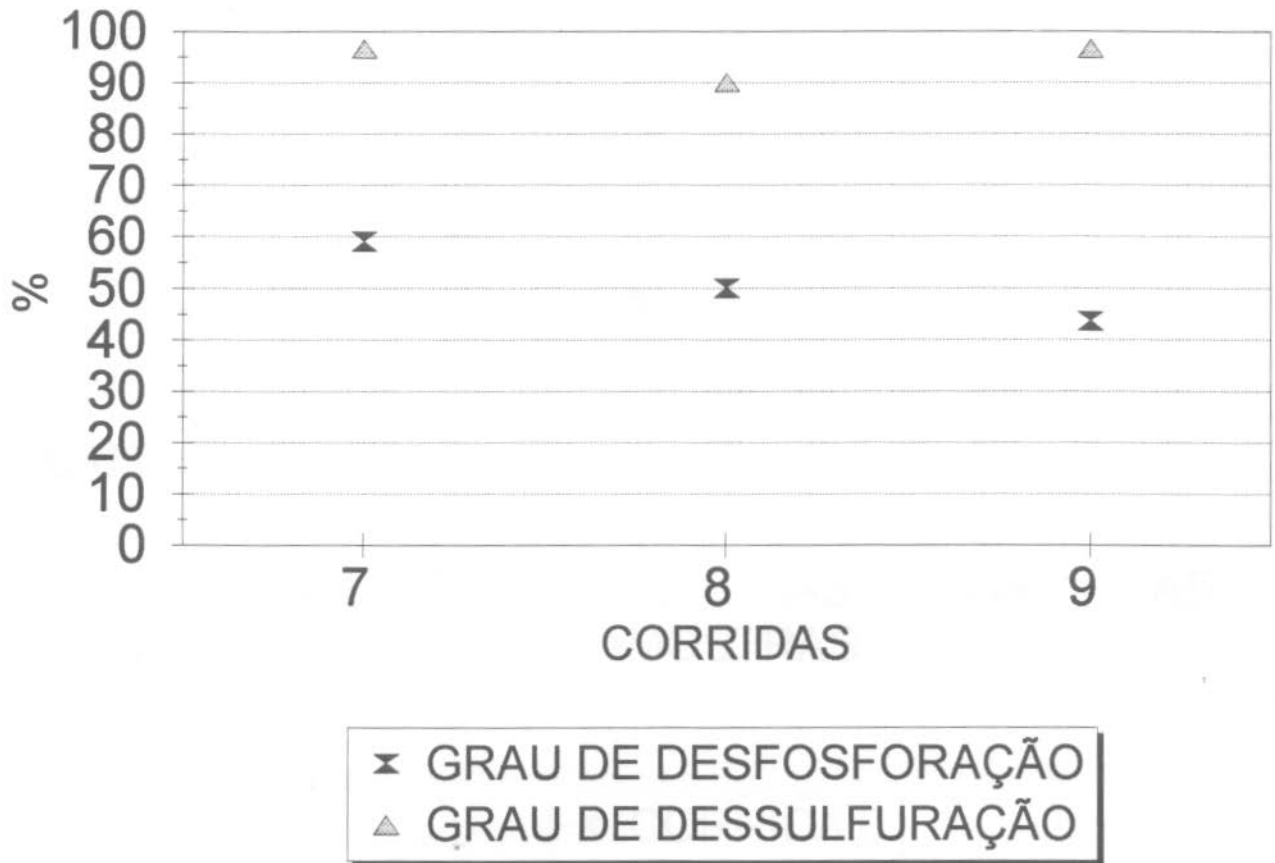


Figura - 9

G.P. e G.S. totais para cada corrida da metodologia BaCO_3

ANÁLISE DA MELHOR CORRIDA

COMPORTAMENTO DE P

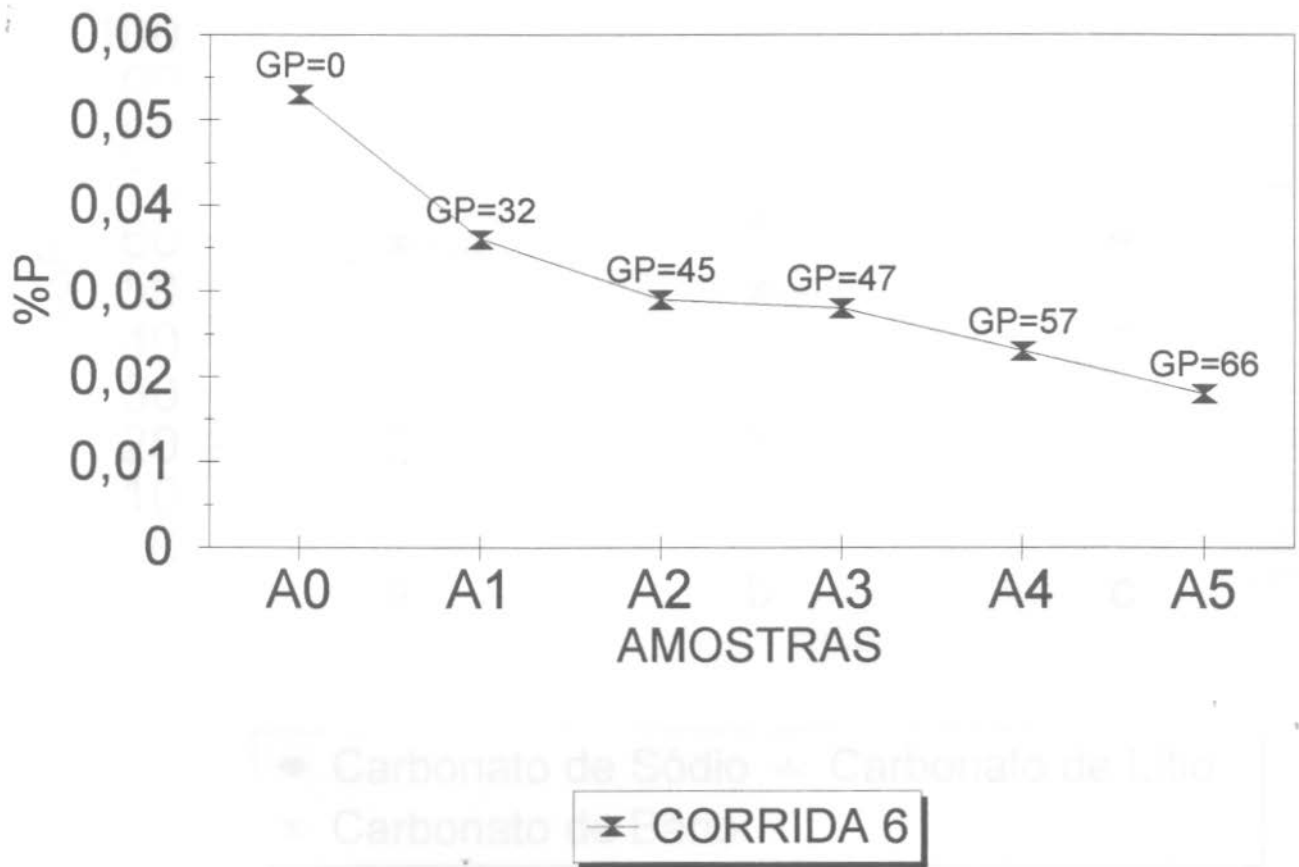


Figura - 10

Análise do Melhor Resultado

COMPARAÇÃO DAS METODOLOGIAS

Grau de Desfosforação Totais

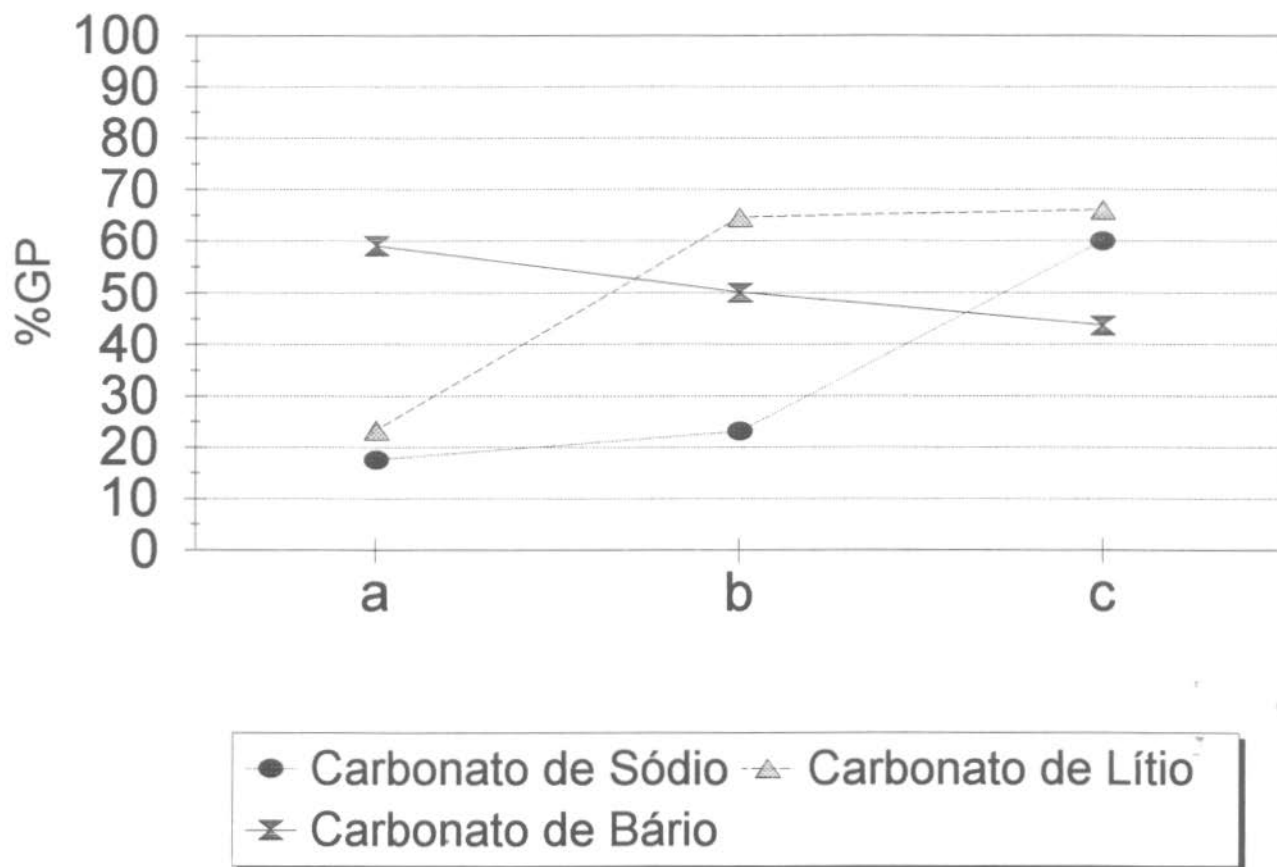


Figura -11

Comparação das três metodologias quanto ao GP total obtido, onde a,

b e c representam o %C obtido na amostra A0