

PROPRIEDADES DE AÇOS FUNDIDOS ABNT 41XX E 86XX MODIFICADOS COM Nb; METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO E RESULTADOS EXPERIMENTAIS PRELIMINARES.

Eder Franco Suzczynski  
Surajit Chatterjee  
Arno Müller  
Dept. Metalurgia - E.E. UFRGS  
Av. Osvaldo Aranha, 99  
90.000 - Porto Alegre, RS.

RESUMO

São apresentados a metodologia experimental de avaliação de propriedades mecânicas adotada no estudo de aços ABNT 41XX e 86XX modificados com Nb no estado fundido e beneficiado bem como alguns resultados preliminares já obtidos com lingotes de laboratório.

ABSTRACT

The experimental methodology to evaluate the mechanical properties of ABNT 41XX and 86XX steels modified with Nb in the as cast and heat treated conditions and the first preliminary results obtained in a laboratory scale, are presented.

## 1. INTRODUÇÃO

A maioria dos trabalhos realizados até hoje com aços ao Nb referem-se as propriedades físicas obtidas após tratamentos termomecânicos mais ou menos elaborados, realizados fora das aciarias.

Poucos são os trabalhos que tentam correlacionar os problemas de adição de Fe-Nb ao banho com a segregação do Nb e seus carbonetos na estrutura bruta de fusão e a qualidade dos tarugos laminados posteriormente. Esta falta de informação pode levar à suposição de que os problemas na aciaria não existem o que é errôneo, pois sabe-se que mediante uma boa prática na aciaria consegue-se uma distribuição ótima de Nb e de carbonetos na massa do lingote, aumentando-se a qualidade do mesmo (5)(6).

Para se chegar a uma conclusão mais concreta da possibilidade ou não, da utilização de Nb como um substituto do Mo em aços fundidos de baixa liga tipo ABNT 41XX e 86XX foram planejadas experiências que tentarão levantar características de fundição, solidificação e estado sólido dos mesmos, através de testes tais como:

- Fluidez
- Análise térmica
- Susceptibilidade à trincas a quente (STQ)
- Perfis de Segregação
- Temperabilidade
- Propriedades mecânicas

e dos quais se apresentam resultados preliminares.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Adição de Nb, solidificação, estrutura bruta de fusão e susceptibilidade a trincas a quente (3)(4)(9)(12)(13)(14)(19)(21)(27)(29).

A influência do tamanho das lingotérias sobre a microestrutura de lingotes em geral foi analisada por Laren and Fredriksson (23).

Teores de Nb maiores que 0,2% provocam o refino dos grãos, encurtando as dendritas e reduzindo o crescimento secundário em aços de médio C e hipereutetóides(7). Este mesmo fenômeno ocorre em aços ferríticos quando o Nb é adicionado juntamente com Ce, havendo além do mais uma esferoidização das fases em excesso e produzindo grãos mais limpos e finos (25).

A distribuição de Nb em lingotes de aço pode ser estudada mediante técnicas radiográficas mediante as quais se verificou que ele se encontra distribuído preferencialmente ao longo dos contornos de grãos da austenita primária, tanto no estado bruto de fusão como laminador a quente nos aços baixo C ou Mn (20).

A distribuição dos sulfetos foi estudada por Braun et al (16) e a solubilidade do Nb em aços ao Cr, Mo, Ni foi calculada (11).

As trincas a quente tem origem na contração impedida durante a solidificação. Os aços microligados em geral são sensíveis ao fenômeno(24) podendo inviabilizar o processo de lingotamento contínuo com moldes curvos(2). Elas aparecem entre o metal ainda líquido e as dendritas já solidificadas. As possibilidades de contornar o problema são:

- evitar a contração impedida
- baixar a temperatura de vazamento
- baixar a velocidade de vazamento

Adicionando-se Nb juntamente com Ce, La e Zr na forma de microadições consegue-se duplicar a STQ em aços austeníticos fundidos Cr-Ni (8)(10).

A Tab. 1, mostra a influência de vários fatores sobre a suscetibilidade à trincas a quente.

Na fig. 1 estão representados os principais dispositivos utilizados por vários autores para a determinação da STQ qualitativa dos aços. Para o presente trabalho será adotado o modelo f.

## 2.2. Efeito do Nb no estado sólido (15)(17)(18)(31)(30)

Pequenas adições de Nb aumentam a temperabilidade dos aços que contenham Mo em baixas concentrações(28). Existe dúvidas se este efeito se mantém para aços com teores de Nb de 0,01 e 0,02%, com e sem a presença de Mo. Para valores mais elevados de Nb, em torno de 0,1% o efeito na temperabilidade diminui.

O Nb é considerado um estabilizador da ferrita, junto com o V e Mo. Mantém com este último um efeito sinérgico pelo qual o Mo substitue parcialmente o Nb no NbC somando desta forma sua dissolução durante a austenitização. (22)

Como o Nb é um forte estabilizador da ferrita, é quase certo que este elemento retarde a formação da perlita, diminuindo a sua presença na matriz.

Esta última informação ainda é uma hipótese, porque não foram realizadas experiências específicas para comprovação.

Ela é levantada devido ao efeito do Nb se, ele comprovadamente é um estabilizador da ferrita, a presença de perlita deverá ser menor, para aços equivalentes.

Para o caso da simples adição de Nb a aços ao carbono, não existe nada concreto sobre a influência deste elemento na temperatura  $M_i$  martensita. Mas para aços ao Mo, a presença de 0,030% de Nb abaixa em 10°C a temperatura  $M_i$  desses aços(28).

Nesta percentagem, 0,03% de Nb, este elemento se solubiliza todo na austenita, não havendo quase a formação de carbonetos ou de carbonitretos, os quais se formados teriam uma tendência a elevar a  $M_i$  do aço, principalmente na presença de Mo.

Essas evidências não estão totalmente comprovadas, carecendo de um estudo mais profundo. Logo não se conhece perfeitamente de

Tabela 1 - Grau de influência das variáveis do processo sobre a S.T.Q. de aços comerciais.

Variável	Grau de influência	Opinião entre os aciaristas e pesquisadores.
Enxofre	Provoca aumento considerável na S.T.Q. Faz-se necessário uma dessulfuração.	Existe unanimidade
Carbono	Aumenta a S.T.Q. quando o seu teor é menor que 0,1%.	Na opinião de A. de Sy ( ) existe uma influência combinada de C, S, Mn e Al.
Alumínio	A presença de Al em aços com % S 0,01, provoca aumento na S.T.Q.	Não existe unanimidade de pensamento.
Desoxidação do banho	O melhor seria a degaseificação por meio de um gás, pois ela não provoca a formação de produtos desoxidados na forma de película. Quanto maior a temperatura de desoxidação, mais eficiente ela será.	Existe bastante consenso de que os óxidos SiO <sub>2</sub> , MnO, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> nas formas líquida ou sólida aumentam a S.T.Q.
Hidrogênio	Aumenta a STQ. Para minimizar o teor de H <sub>2</sub> no banho, pode-se: <ul style="list-style-type: none"> <li>- superaquecer o banho</li> <li>- desoxidar em tempos curtos;</li> <li>- empregar matérias primas e ferro-ligas secas;</li> <li>- o processo a vácuo pode manter o teor de H<sub>2</sub> bem abaixo</li> </ul>	Existe unanimidade sobre a influência do H <sub>2</sub> na S.T.Q. Deve-se evitar atribuir ao H <sub>2</sub> todas as falhas sem antes verificar a influência de outros fatores.
Outros Elementos de liga	Aumentam a STQ em determinadas concentrações, em parte devido a combinações com outros elementos de liga. P.ex.: Cr em aços ao Mn, pode influir na STQ.	Não existe regra geral. As experiências na planta são importantes em cada caso.

sobre a influência de adições de Nb transformações perliticas e Martensíticas.

Alguns autores evidenciaram que pequenas quantidades de Nb, contendo outros elementos formadores de carbonetos, aumentam a dureza secundária de aços, e estabiliza os carbonetos formados. Certas quantidades maiores de Nb, em aços ferramentas, formam carbonetos NbC, e também de carbonetos do tipo  $M_6C$  e  $M_{23}C_6$  (28)(30); embora não tenha ficado evidenciado que favoreça o aumento da dureza secundária. Também, existem evidências de que aços ao Nb apresentam uma certa dificuldade em reduzir a sua dureza quando revenidos entre 550 e 770°C (28)(31).

Finalmente deve ser acrescentado que alguns autores não notaram modificações na temperatura de transição da fratura dútil frágil de aços contendo Nb, e os correspondentes sem a presença de Nb (28).

### 3. TÉCNICA EXPERIMENTAL

As ligas estão sendo produzidas em um forno a indução de 25 kVA com capacidade de 15 kg. Os corpos de prova para metalografia, dureza, e análise química possuem o formato piramidal medindo 40 x 40 x 160 mm.

A análise térmica visa obter o ponto de fusão da liga, seu intervalo de solidificação e suas transformações alotrópicas. Utiliza-se um aparelho comercial adaptado ao caso e se permite uma variação de  $\pm 10^\circ\text{C}$  na temperatura de vazamento que é de 1650°C em todos os casos. O superaquecimento foi padronizado em 50°C.

As propriedades mecânicas são medidas em corpos de prova extraídos do bloco padrão segundo ABNT EB 125/79. Para a medida da sensibilidade a trincas a quente (STQ) foi escolhido o modelo f da Fig. 1 e para a fluidez o método da espiral com bacia de vazamento.

Os tratamentos térmicos programados são as utilizadas para o aço ABNT 4140 normal: Normalização a 900°C, 2h; Têmpera de 900°, 1000° e 1100°C após 2h em água; Revenimento a 450°C, 500 e 550°C após a têmpera.

A temperabilidade será determinada pelo ensaio Jominy e as curvas de transformações de fases (TTT) por meio de dilatométrica.

As análises químicas serão convencionais auxiliadas por microscopia eletrônica de varredura e microsonda eletrônica.

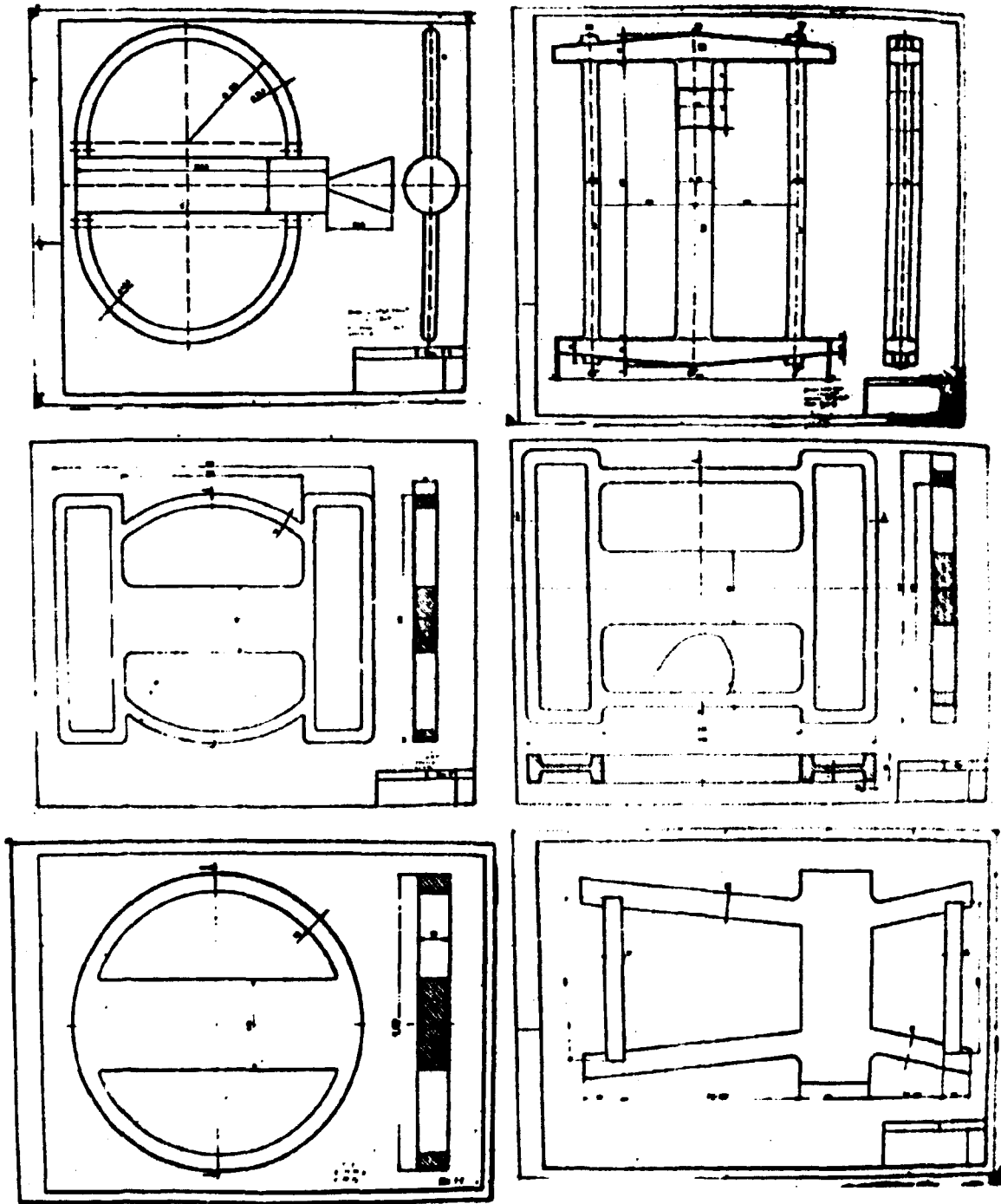


Fig. 1 - Dispositivos empregados para o teste de susceptibilidade a trincas a quente (STQ). Foi adotado o modelo *f*

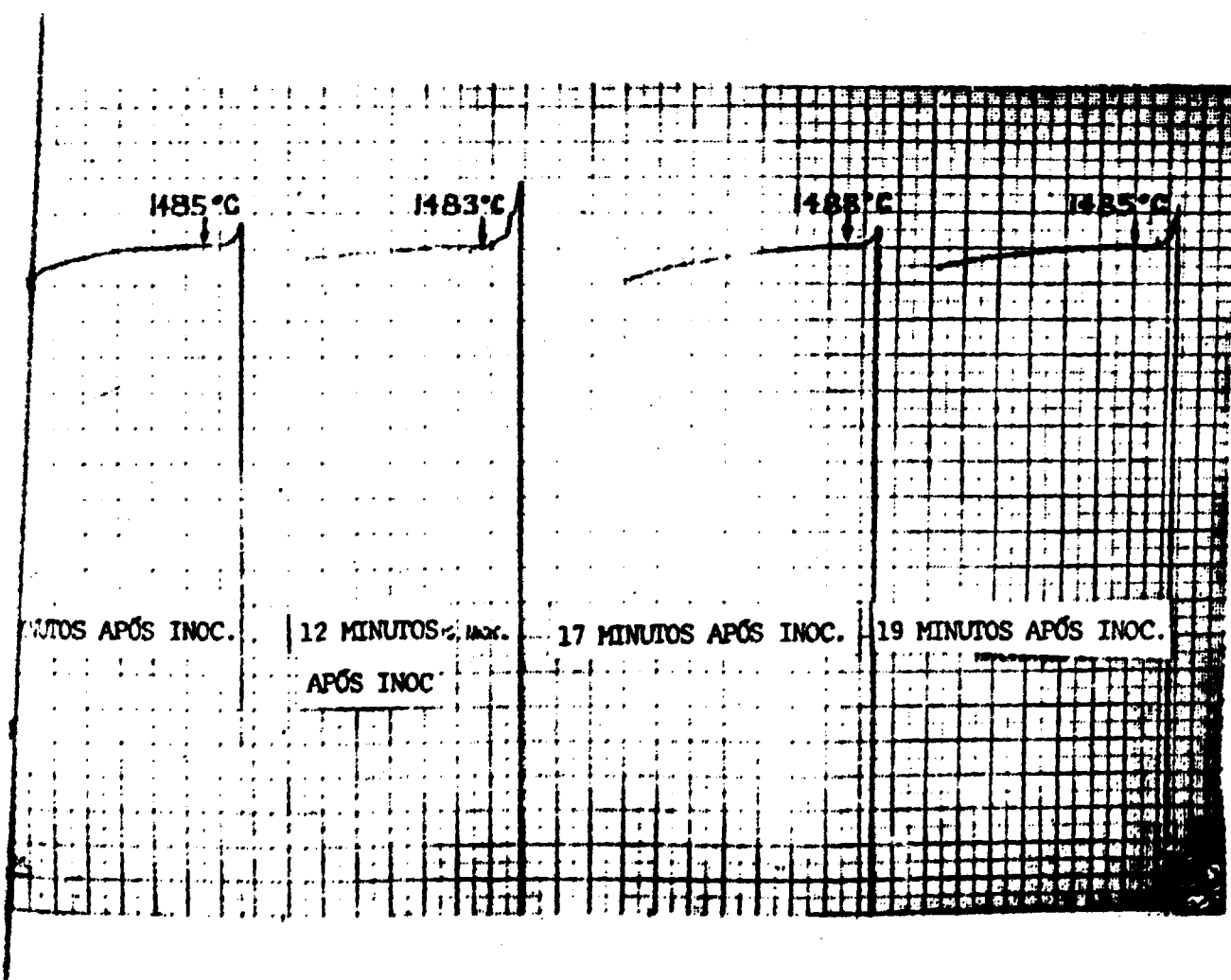
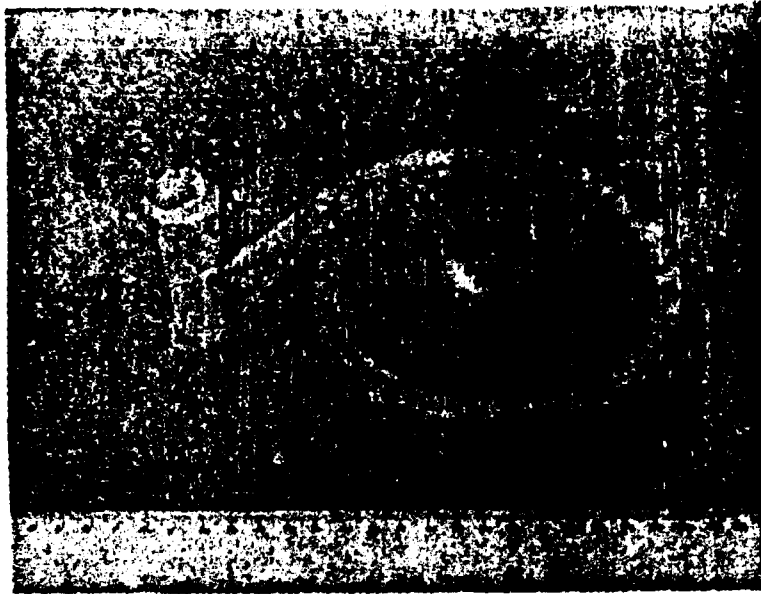
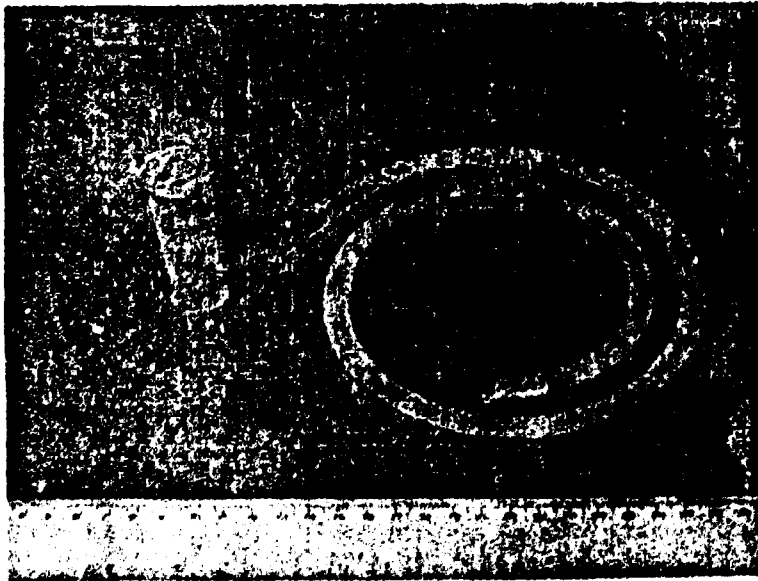


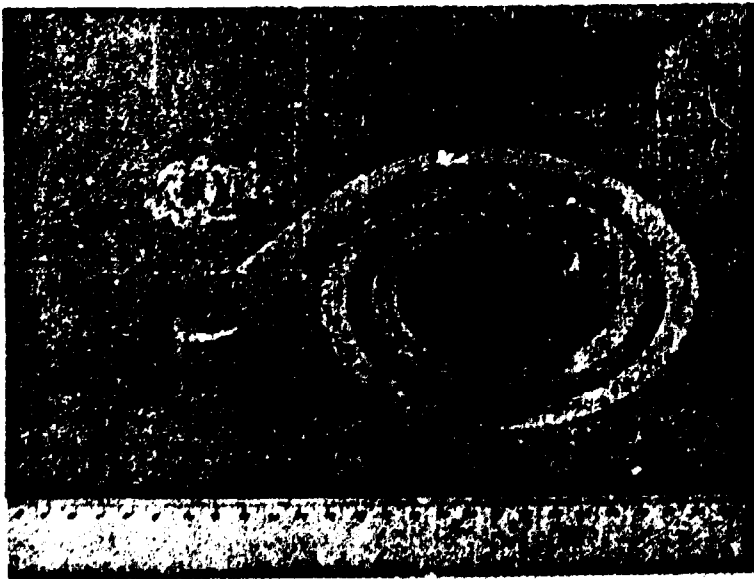
Fig. 2 - Curvas de esfriamento do aço ABNT 4140 modificado (0,1%Nb + 0,1%Mo) após vários tempos de inoculação. Verifica-se o patamar de solidificação não se alterou sensivelmente.



a



b



c

Fig. 3 - Influência do Nb na fluidez do aço ABNT 4140,  $T_v = 1650^{\circ}\text{C}$ :  
a) ABNT normal; b) 0,1% Nb + 0% Mo; c) 0,2% Nb + 0% Mo



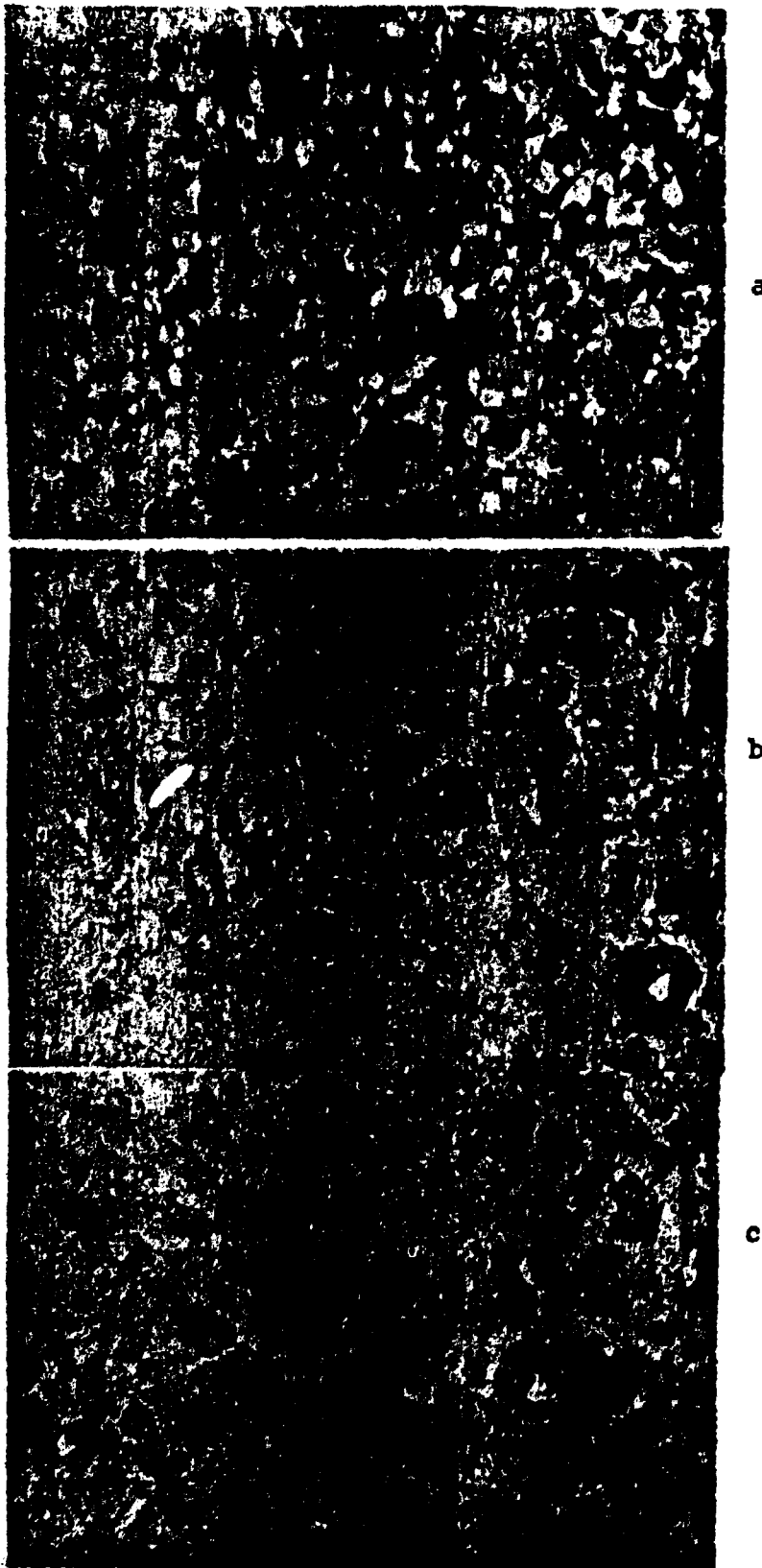
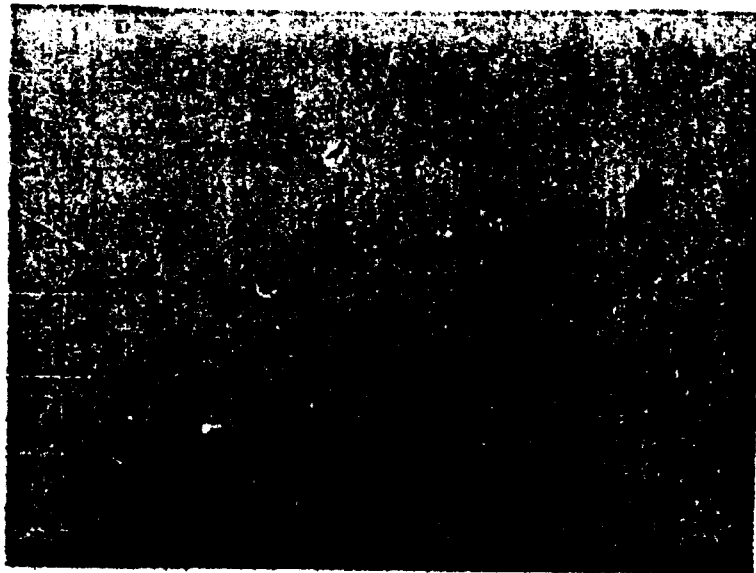
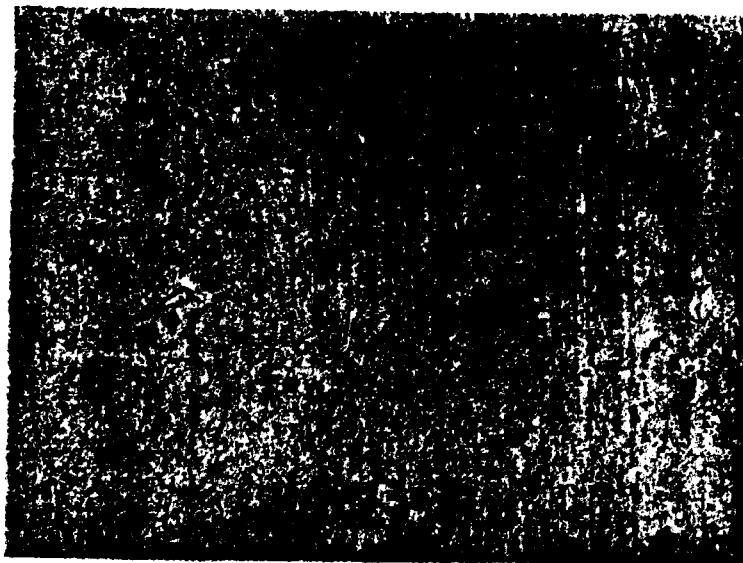


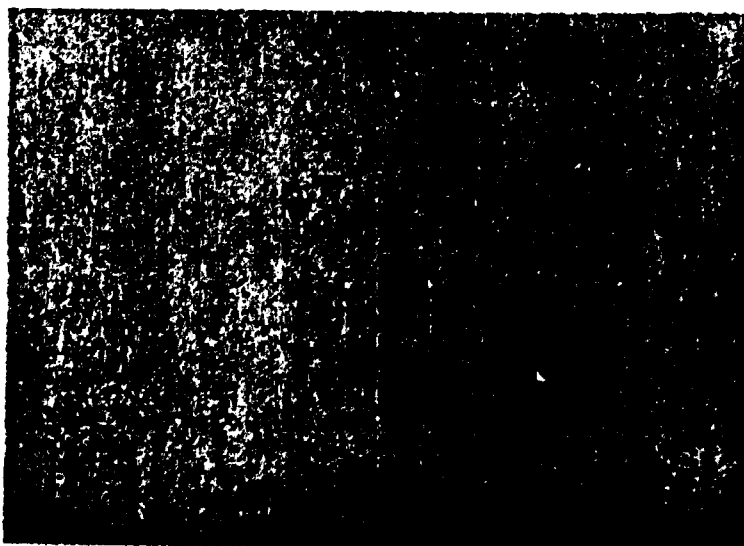
Fig. 4 - Influência do teor de Nb nas estruturas fundidas e normalizadas a 900°C - 2h; do aço ABNT 4140; a) normal; b) 0,1% Nb e 0% Mo; c) 0,2% Nb e 0% Mo. Ataque: Nital - 200x.



a



b



c

Fig. 5 - Aparecimento de carbetos nos contornos de grãos com o aumento do teor de Nb em aço ABNT 4140 fundido e normalizado 900°C - 2h:  
a) ABNT 4140 normal; b) idem, com 0,1%Nb + 0%Mo; c) íbidem, com 0,2%Nb + 0% Mo.

Sem escala - 200x

## RESULTADOS (PRELIMINARES) E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 encontram-se os resultados das análises químicas dos lingotes obtidos até o momento.

Tabela 2 - Composição química do aço ABNT 4140 normal e modificado utilizados neste trabalho.

ELE- MEN- TO	C	S	P	Mn	Si	Cr	Mo	Nb	
TT - 46	0,43	0,018	0,031	0,81	0,49	0,92	0,20	0,01	ABNT 4140
TT - 47	0,44	0,015	0,029	0,77	0,56	0,86	0,02	0,11	ABNT 4140 Mod.
TT - 48	0,44	0,016	0,029	0,77	0,48	0,84	0,02	0,22	ABNT 4140 Mod.

Na Fig. 2 são apresentadas as curvas de esfriamento de aço com 0,1% Nb + 0,1% Mo e a sua evolução após vários tempos de inoculação. Verifica-se que o patamar de solidificação não se altera mesmo após 30 minutos.

Na Fig. 3, verifica-se o aumento significativo da fluidez do aço ABNT 4140 modificado.

Nas figs. 4 e 5, pode-se apreciar a influência da modificação com Nb nas subestruturas dos corpos de prova fundidos e normalizados a 900°C - 2h. Os carbonetos ou carbonitretos ausentes na Fig. 5a parecem nos contornos de grãos quando teor de Nb atinge 0,1%. A proporção de ferrita e o tamanho de grão aumentaram de forma similar.

Na tabela 3 estão os valores de dureza obtidos com a modificação do aço ABNT 4140 e o posterior tratamento térmico da estrutura bruta de fusão.

Tabela 3 - Variação da dureza (Rc) de CP obtidos após modificação do aço ABNT 4140 e tratamento térmicos posterior da estrutura bruta de fusão (média de 10 valores).

TRAT. TÉR MICOS	Normalizado a 900°C-2 h	Normalizado + Temperado de 860°C em água	Normalizado + Temperado + Revenido 520°C-1h
TT - 46	19,1	56,5	34,7
TT - 47	17,7	55,5	29,1
TT - 48	13,4	55,0	29,7

A estrutura temperada foi martensítica em todos os casos, não havendo dissolução dos carbonetos.

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados que são preliminares permitem apreciar, de forma limitada, a influência do Nb no aço ABNT 4140 modificado quando seu teor aumenta até 0,2%:

- fluidez aumenta
- a dureza após normalizado, diminui
- a dureza após normalizado e temperado se mantém constante
- a dureza após normalizado e temperado e revenido tende a diminuir
- não existe evidências de "fading" mesmo após 19 minutos da inoculação.

## 6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos à CBMM, à FINEP e à Amadeo Rossi/S.A., sem as quais não teria sido possível realizar o trabalho.

## BIBLIOGRAFIA

1. Park, I.M., Fujita I, Asakura, K. "Microstructure and Creep Rupture Properties of a low Si-12 Cr-Mo-V - 0,05 Nb Steel" Trans Iron Steel Inst. Jan., 1980, 20(2), 99-107.
2. Mintz B. and Arrowsmith, "the hot ductility behavior of C - Mn - Nb - Al Steels and its relation to crack propagation during straightening of Concast Strand", Met. Technol. 1979.
3. Wagner, H.G. et al, "Investigation of the structure of amorphous sputtered Nb sub 3 Si", Third International Conference on Rapidly Quenched Metals, Univ. Sussex, Brighton 3-7 Jul. 1978.

4. Serosh, E. "Effect of Small additions of V and Nb in Low alloy Structural Steels containing C 0,4-0,5%", Thesis, Tec.Univ. Aachen, 1977, 148p.
5. Navnyko, P.P. et al, "The behaviour of Nb when deoxidizing Nb containing Steels", Metall. Koksokhim, 1978, (58), 70-72.
6. Astaf'ev, A. et al "Influência de Fatores Metalúrgicos na heterogeneidade de Carbetos em aço fundidos hipereutetóides" Russ. Cast. Prod. 1972, nº 2.
7. Filipova, T.F., Kostrykina, A.I., "Infl. Nb additions on Prop. Cast Medium Carbon and Hyper eutectoid Steels", Russ. Cast. Prod. 1974, nº 3.
8. Braun, M.P. "Einfluss des Mikrolegierens auf Struktur und Hitzebeständigkeit von Stahlguss", Litejnoc proizvodstvo 1977, nº 2, 11/12.
9. Kniaginina, G., "Influência de microadições de elemento de liga sobre as propriedades de aços fundidos e aço", Przegl. odlewn nº 29 (1979) nº 4 p. 95/101.
10. Fukni Y. et al "Influência do Ti, Nb e Mischmetall na resistência à fluência de um aço austenítico fundido com cerca de 25% Cr e 20% Ni", Stahl Eisen Z. u Bücherschau, 1979, nº 21 pg. 801.
11. Cottowold, M. "Cálculo da solubilidade de fases de Nb em aço ao Cr, Mo, Ni e Nb" - Arch Eisenhut, 50, (1979) nº 7, 289/92).
12. Leger, M.J., "Aços fundidos para empregos a baixa temp. (-70°C)", Fonderie, nº 392 pg. 279/90.
13. Kühn H.M., "Anpassung der Schmelzpraxis im Lichtbogen ofen an besondere Probleme der Stahlgießerei", Giesserei 60 (1973) nº 12 pg. 358/63.
14. Wellner, P. Mukherjee, A. Mayer H. "Mikrolegierter Stahl als Gusswerkstoff". Techn Rdsch. Sulzer 58 (1976) nº 2, pg. 69/73.
15. Motz, J. "Aushärtbarer Mn legierter perlitarmer Stahl, guss", Konstr. und Giesserei 1977 nº 1, pag. 24/34.
16. Braun, M.P. et al; Geringe Legierungszusätze um Stahl 25 Chzgml, Litejnor Proizvodstvo 1970, nº 1, 15/17.
17. Malinocka, Ja. N. et al "Gefuge von Stahlguss mit Nb Zusätzen", Heat Treatm. (1970) nº 3/4, pag. 248/50.
18. Semjam, V.; "Melhoria nas propr. Mec. de aços normalizados mediante adição de microligados"; Livanstvo 18(1971) nº 100 pag. 268/77.

19. Heisterkamp, F. and Keown, "Nb moves into High Speed tool Steels", CBMM Report oct. 1978 Reprinted from Metals Materials.
20. Sandler, Ni, et al; "Examination of the distribution of Nb in Steel using a radioactive isotope", Russ Met. n° 3, 1968.
21. Pieske, A. Montenegro, C., Castro, C.P., "Efeitos do Nb em Ferro Fundido Cinzento", Metalurgia ABM, Mar. 1976, 169-175.
22. Garber, R. "Effects of C content and prior Austenite grain size on Hydrogen Embrittlement of 1 Cr 0,75Mo 0,025%Nb Steel in Aqueous Sulfide Environment", III Int.
23. Laren, I. and Fredriksson H.", "Relations between Ingot Size and Microsegregation", Scand. Jour. Met. 1, (1972), 59-68.
24. Gray, M.J. "The Technology and application of Nb in HSLA Steels", Conf. CBMM/ABM, RJ., mar 11, 1974.
25. Shmatko, M.N. et alii, "Quality of a ferritic steel ingot containing Ce and Nb", Steel in USSR, Sept. 1973, 735.
26. Guobner et al "Effect of Process Variables on Mechanical Properties and Sulfide Stress of AISI 4135 Modified Steel".
27. De Souza, C.H.C., Falleiros, I.G.S., Barbosa, C.A. e Mori, F.Y. "Uso de Nb como substituto do Vanádio em Aços Rápidos", Metalurgia ABM, Jan. 82.
28. Avillez, R.R. "Potencial do uso de Nb como elemento de liga em aços para beneficiamento", Fundação de Tecnologia Industrial - 1981.
29. Mori, F.Y., Barbosa, C.A., Souza, M.H. e Falleiros, I.G.S. "Controle do T. C. austenítico de um aço para trabalho a quente através da adição de Nb", metalurgia ABM, Dez/77, 743.
30. Nolasco, C.A., Bordignan, P.J. e Oliveira, E.Q., "Niocor - Aço ARBL ao Nb com elevada resistência à corrosão", - Metalurgia ABM - Dez/76.
31. Nolasco, C.A., Bordignan, P.J. "Maior Precipitação de Nb na Austenita: Alternativa para laminação controlada em Aços ARBL", Metalurgia ABM - março/78.