

**BREVE DISCUSSÃO DO COMPONENTE “RUGOSIDADE” EM AÇO CARBONO SAE 1045 e SAE 1035 NITRETADOS PELOS PROCESSOS: SAL, GÁS e PLASMA**

Jan Vatauk <sup>(1)</sup>  
J.C.Vendramim <sup>(2)</sup>  
Luiz A.Bloem S.Jr. <sup>(3)</sup>

Resumo

Dos processos de nitretação disponíveis à indústria metal-mecânica brasileira – Banho de Sal, Gás e Plasma Pulsado – torna-se de fundamental importância conhecer comportamento da superfície, em termos de rugosidade, porosidade, composição da camada composta (epsilon e gama linha) quando se objetiva maximizar propriedades agregadas como resistência ao desgaste, corrosão e fadiga.

O presente trabalho mostra, de forma resumida, os resultados obtidos em termos de “rugosidade” no material SAE1045 e SAE1035 quando nitretados pelos processos: “banho de sal”, “gás” e “plasma pulsado”.

Abstract

The nitriding process available in the Brazilian industry are salt bath, gas and pulsed plasma. The surface behavior must be investigated in relation to this process in term of roughness porosity with the layer composition (phase), in order to increase wear resistance corrosion and fatigue.

This work deals with the nitriding process effect on the roughness of an SAE1045 and SAE1035 steel.

---

(1) Prof.Dr.Eng.Metalurgista – TMS – Tecnologia de Materiais e de Superfícies

(2) Eng.Metalurgista – TMS – Tecnologia de Materiais e de Superfícies

(3) Chefe Engenharia de Amortecedores – Cofap Suspensão

## **Introdução**

A unificação dos mercados mundiais pela globalização das economias, ocorrida mais intensamente a partir do início da década de noventa, trouxe implicações para indústria como a competitividade necessária, na busca de processos de fabricação e pesquisas objetivando redução de custos industriais. Para o caso da indústria metal-mecânica, em particular para o produto “anéis de pistão” <sup>(1)</sup>, uma tendência que no Japão já existia desde a década de oitenta, tomou conta dos fabricantes a nível mundial, qual seja a fabricação de “anéis de pistão” em aços inoxidáveis martensítico nitretado em substituição aos outros revestimentos sem comprometimento das condições de funcionamento a nível tribológico.

A tendência a substituição dos tratamentos termoquímicos de carbonitretação pela nitretação, naqueles componentes onde a resistência mecânica não assume grande importância, começou a crescer no início da década de noventa – principalmente após advento, e consolidação em escala industrial, da nitretação sob plasma pulsado e nitretação a gás com controle do potencial de nitretação através de sondas – e confirma esta tendência de crescimento no final deste milênio. Dessa forma, paradigmas começam a ser rompidos em função de melhores resultados obtidos com a nitretação, elevando esta a um patamar de grande interesse para resolver problemas associados aos fenômenos de desgaste e corrosão, principalmente quando o componente custos aponta na direção da sua redução em função da baixa temperatura do processo.

A nitretação, devido permitir ser realizada a baixas temperaturas, resulta em mínima variação dimensional e nenhuma, ou quase, alteração nas propriedades mecânicas do núcleo da peça agregadas por qualquer tratamento térmico anterior (feitas certas ressalvas, por exemplo temperatura de revenimento inferior à temperatura do tratamento de nitretação), encontra campo fértil para se desenvolver, seja no que se refere aos diferentes processos de nitretação ou condições de sua execução.

O presente trabalho propõe discutir, de forma sintética, para cada tipo de nitretação disponível à indústria brasileira, uma das várias propriedades agregadas pela nitretação – a rugosidade - que ainda é objeto de pesquisa e não se encontra completamente “esgotado”, em termos de explicação efetiva da sua ocorrência, e que, em função do material, condições da execução do processo e superfície original, apresenta resultados e comportamentos “diferenciados”. Esse breve estudo para discussão do efeito rugosidade nos três processos de nitretação está circunscrito apenas para aço carbono SAE 1045.

## **2. Processos de nitretação**

### **2.1- Nitretação pelo processo “Banho de Sal”**

Processo de oferta de nitrogênio atômico para superfície ferrosa em meio líquido constituído, principalmente, de sais fundidos de cianato e cianeto de sódio, ou potássio. Essa composição de sais fundidos oferece, também, átomos de carbono para superfície ferrosa, constituindo-se, assim, de um processo de nitrocarbonetação.

A nitretação é desenvolvida à temperatura de 570°C por tempo variando entre 5 e 120 minutos, com resfriamento podendo ser efetuado ao ar, água ou sal fundido de hidróxidos e nitratos, dependendo do tipo de material e/ou geometria das peças <sup>(2)</sup>.

O equipamento é constituído de um cadinho de aço revestido de titânio, ou revestido de aço inoxidável. Para presente trabalho a nitretação ocorreu num cadinho com dimensões de 600x1600mm <sup>(3)</sup>.



Figura 1- Equipamento de nitretação em banho de sal, 600x1600mm

## 2.2 – Nitretação pelo processo “Gás” (ciclo curto)

Transporte de nitrogênio atômico através da dissociação catódica do gás amônia ( $\text{NH}_3$ ) na superfície ferrosa.

A atmosfera utilizada nesse processo denominado de “Ciclo Curto” é constituída de Amônia, Nitrogênio e Dióxido de Carbono e, portanto, também com oferta de carbono para superfície ferrosa, constituindo-se, assim, de processo de nitrocarbonetação.

A nitrocarbonetação a gás de ciclo curto é conduzida à temperatura de 570°C, com tempo total podendo variar de 2 a 6 horas, dependendo do tipo de material ferroso e, geralmente, em duas etapas, ou seja, variando-se apenas a vazão de  $\text{CO}_2$  (sempre da ordem de 5-10% da composição em amônia) na primeira etapa (2/3 do tempo total) e dobrando essa vazão para 1/3 do tempo total restante. Maior volume de gás  $\text{CO}_2$  tem por finalidade aumentar a cinética de crescimento da “camada branca”.

Para presente trabalho foi utilizado equipamento de dimensões 600x600x900mm.

### 2.3 – Nitretação pelo processo “Plasma Pulsado”

Consiste do transporte de nitrogênio atômico num ambiente de mistura de gases “ionizados” <sup>(4)</sup>, conforme ilustra a figura de um desses equipamentos, abaixo.



Figura 2- Equipamento de nitretação iônica, 750x2000mm

A aplicação de uma tensão elétrica num ambiente fechado contendo gás nitrogênio, hidrogênio e, eventualmente, gás metano e, ou, argônio sob baixa pressão, ioniza essa mistura gasosa formando o que se denomina “Plasma”. Plasma pode ser definido como uma mistura de partículas positivas, negativas e neutras, ou seja, íons, elétrons, átomos e moléculas. O processo é denominado de “plasma pulsado” porque a tensão aplicada varia em função do tempo (microsegundos) para evitar uma sobrecarga de energia (temperatura elevada) em pontos mais sensíveis (regiões delgadas, por exemplo) da superfície ferrosa garantindo, assim, *estabilidade do plasma*.

O presente estudo de nitretação para aço SAE 1045 foi conduzido num equipamento de dimensões 750x2000mm <sup>(5)</sup>.

### 3. Técnica Experimental

O material utilizado para este estudo foi uma barra de aço SAE1045 de dimensões 20x100mm com seguinte composição:

Tabela 1- Composição química do aço SAE 1045

C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo
0,41	0,73	0,25	0,042	0,021	0,003

#### 3.1 – Banho de Sal

Parâmetros do processo de nitretação em banho de sal utilizados para os aços SAE 1045, tabela 2; e resultados alcançados, tabela 3

Tabela 2- Parâmetros de processo nitretação em banho de sal, aço SAE 1045

Temperatura	570° C
Tempo à temperatura	01h30'
Resfriamento	Água

Tabela 3- Resultados obtidos para nitretação em banho de sal, aço SAE 1045

Camada Branca	0,016 mm
Porosidade	30-40%
Dureza HV0,2	542

#### 3.2 – Gás (ciclo curto)

Parâmetros de processo de nitretação sob mistura gasosa utilizados para o aço SAE 1045, tabela 4; e resultados alcançados, tabela 5

Tabela 4- Parâmetros de processo de nitretação sob mistura gasosa, aço SAE 1045

Temperatura	570° C	NH <sub>3</sub>	N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
Tempo total	120 minutos	Nm <sup>3</sup> /h	Nm <sup>3</sup> /h	Nm <sup>3</sup> /h
Fase 1 (mistura gasosa)	80 minutos	4,5	4,5	0,3
Fase 2 (mistura gasosa)	40 minutos	4,5	4,5	0,6
Resfriamento	Sob N <sub>2</sub>			

Tabela 5- Resultados obtidos para nitretação sob mistura gasosa, aço SAE 1045

Camada Branca	0,015-0,018 mm
Porosidade	5%
Dureza HV0,2	582

### 3.3 – Plasma Pulsado

Parâmetros de processo utilizados para nitretação sob plasma pulsado, ou iônica, aço SAE 1045, tabela 6; e resultados alcançados, tabela 7

Tabela 6- Parâmetros de processo para nitretação iônica, aço SAE 1045

Temperatura	550° C
Tempo à temperatura	03h00
Mistura Gasosa	N2 (60l) +H2 (30l) + CH4 (250ml)
Pressão	160 Pa
Tensão (U)	440V
Pulso (duração)	100 µs
Pulso (repetição)	150 µs
Resfriamento	Nitrogênio ( <i>rápido</i> )

Tabela 7- Resultados obtidos com a nitretação iônica, aço SAE 1045

Camada Branca	0,010-0,012 mm
Porosidade	Isento
Dureza HV0,2	576

Após medição de rugosidade da superfície nitretada, antes e após a nitretação, para aço SAE 1045, efetuou-se processo de oxidação em todas as amostras para conhecer efeito desse processo na rugosidade.

A oxidação foi executada em banho de sal constituído de hidróxidos e nitratos à temperatura de 380° C, por tempo de 20 minutos e, na sequência, resfriamento em água.

Para o aço SAE1035, composição química conforme tabela 8, foi determinada a variação absoluta de rugosidade Rz nos três processos de nitretação (nitretação com os mesmos parâmetros de processo utilizados para aço SAE 1045), em função de várias condições de polimento: lixa d'água (120 a 600), Diamante (1 a 6µ) e Alumina.

A tabela 9, apresenta as várias condições de polimento utilizados para aço SAE 1035 e respectiva rugosidade Rz (média) alcançada.

Tabela 8- Composição química aço SAE1035

C	Si	Mn	Cr	Ni
0,34	0,15	0,65	0,038	0,02

Tabela 9- Condição de polimento e rugosidade para aço SAE 1035

<b>Tipo de Polimento</b>	<b>Rugosidade Rz (média)</b>
L120-lixar d'água	3,56+-0,6
L320-lixar d'água	0,84+-0,15
L600-lixar d'água	0,37+-0,03
D6 $\mu$ -Diamante	0,10+-0,01
D1 $\mu$ -Diamante	0,06+-0,01
Alumina	0,09+-0,03

#### 4. – Resultados

A tabela 10 resume os resultados encontrados de rugosidade antes da nitretação, após nitretação somente e, finalmente, oxidação da superfície nitretada do aço SAE1045.

Tabela 10 – Rugosidade ( $\mu$ m) para todas as amostras aço SAE 1045  
Média de 5 medidas, em aparelho de medição por agulha.

<b>Condição</b>	<b>Rz</b>	<b>Ra</b>
<b>Polida antes nitretação - sal</b>	0,42	0,029
<b>Nitretação - <i>Banho Sal</i></b>	5,38	0,414
<b>Banho de Sal+Oxidação</b>	6,65	0,435
<b>Polida antes nitretação - gás</b>	0,31	0,017
<b>Nitretação - <i>Gás</i></b>	1,14	0,151
<b>Gás + Oxidação</b>	0,90	0,110
<b>Polida antes nitretação - Plas</b>	0,38	0,024
<b>Nitretação - <i>Plasma</i></b>	0,73	0,096
<b>Plasma + Oxidação</b>	0,59	0,093

A figura 3 apresenta variação absoluta da rugosidade Rz, para amostras do aço SAE 1035, nitretadas em banho de sal, mistura gasosa e plasma, ou iônica, nas mesmas condições que aço SAE 1045, porém variando as condições de acabamento superficial. Essa figura ilustra o comportamento da rugosidade Rz para aço SAE 1035 para os três processos de nitretação: banho de sal, gás e iônica.

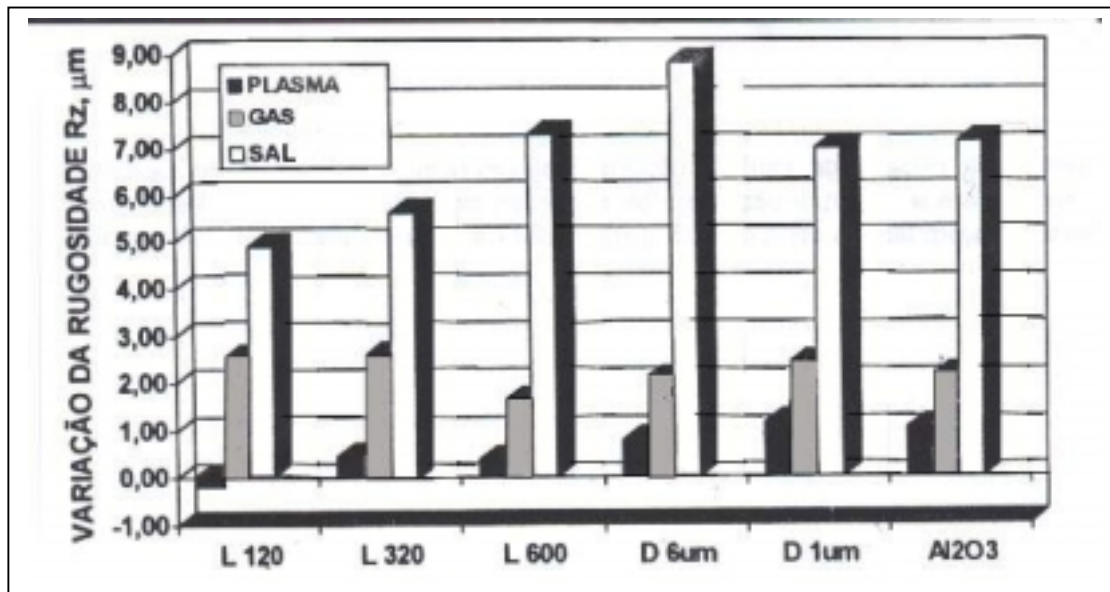


Figura 3- Variação da rugosidade Rz ( $\mu\text{m}$ ) em função do acabamento superficial, para aço SAE 1035, nitretado em banho de sal, gás e iônica

## 5. Discussão

A tabela 10 mostra que a maior variação de rugosidade é encontrada para processo de nitrocarbonetação em banho de sal, sofrendo acréscimo, também, após oxidação. O mesmo não acontece para os processos de nitretação em gás e plasma pulsado. Uma tentativa de explicar esse comportamento da superfície nitretada em banho de sal após oxidação está, provavelmente, na “coalescência” dos poros, contribuído fortemente pela concentração desses na camada branca, e associada à instabilidade da *fase epsilon* na faixa de temperatura de nitretação que tem nitrogênio recombinao para nitrogênio molecular<sup>(6)</sup>.

A oxidação da camada branca melhora resistência a corrosão, sendo comum recorrer a esse processo quando se deseja melhorar essa propriedade.

A rugosidade para os processos gás e plasma pulsado não mostram tendência de crescimento após oxidação, pelo contrário, a rugosidade experimenta redução, podendo ser atribuído, muito provavelmente, ao “fechamento” dos poucos poros presentes à superfície, com resultado inverso ao produzido para camada nitretada formada pelo banho de sal.

Outro aspecto que podemos observar da tabela 10 é a pouca variação da rugosidade Rz para processos de nitretação em atmosfera de amônia e gás ionizado, corroborando para fortalecer tese que tenta explicar redução da rugosidade. Trata-se de uma efetiva vantagem desses processos em relação à nitretação em banho de sal, entre tantas outras.



A figura 3 apresenta variação absoluta da rugosidade Rz para várias condições de acabamento superficial, destacando-se a nitretação sob plasma pulsado como o tratamento de menor variação nessa propriedade, seguido muito de perto pela nitretação a gás para o caso de acabamento superficial em L120 e L320.

A nitretação em banho de sal, efetivamente, ao contrário dos outros processos, comporta-se mal para qualquer situação de acabamento superficial.

Vale, no entanto, fazer uma ressalva no tocante à rugosidade e resistência à corrosão das ligas nitretadas. De maneira bastante frequente se encontra no mercado afirmações referentes a vantagens de um processo em relação ao outro de acordo com os interesses de venda. Por exemplo, a melhora gerada na resistência a corrosão pela nitretação nos aços carbonos não ocorre nos aços inoxidáveis, pois o oxigênio reage com o cromo reduzindo o teor deste na matriz, causando piora da resistência a corrosão, pelo menos quando se trata da região de difusão. As características topográficas, por seu turno, também devem ser analisadas *caso a caso*, pois ligas que apresentam maior resistência à corrosão são menos afetadas pelos processos mais agressivos como, por exemplo, a nitretação em banho de sal, reduzindo, deste modo, a diferença de comportamentos entre os diferentes processos, e, dependendo da aplicação, a escolha entre os processos deve ser cuidadosamente analisada.

A questão dos custos de fabricação podem ser mandatórios na escolha da técnica de nitretação aplicada.

## 6. Conclusão

Processos de nitretação sob plasma pulsado e gás resultaram em pouca variação da rugosidade (Rz), para este trabalho.

A oxidação das camadas nitretadas pelos processos plasma pulsado e gás mostram tendência para redução da rugosidade (Rz), após oxidação em banho de sal fundido.

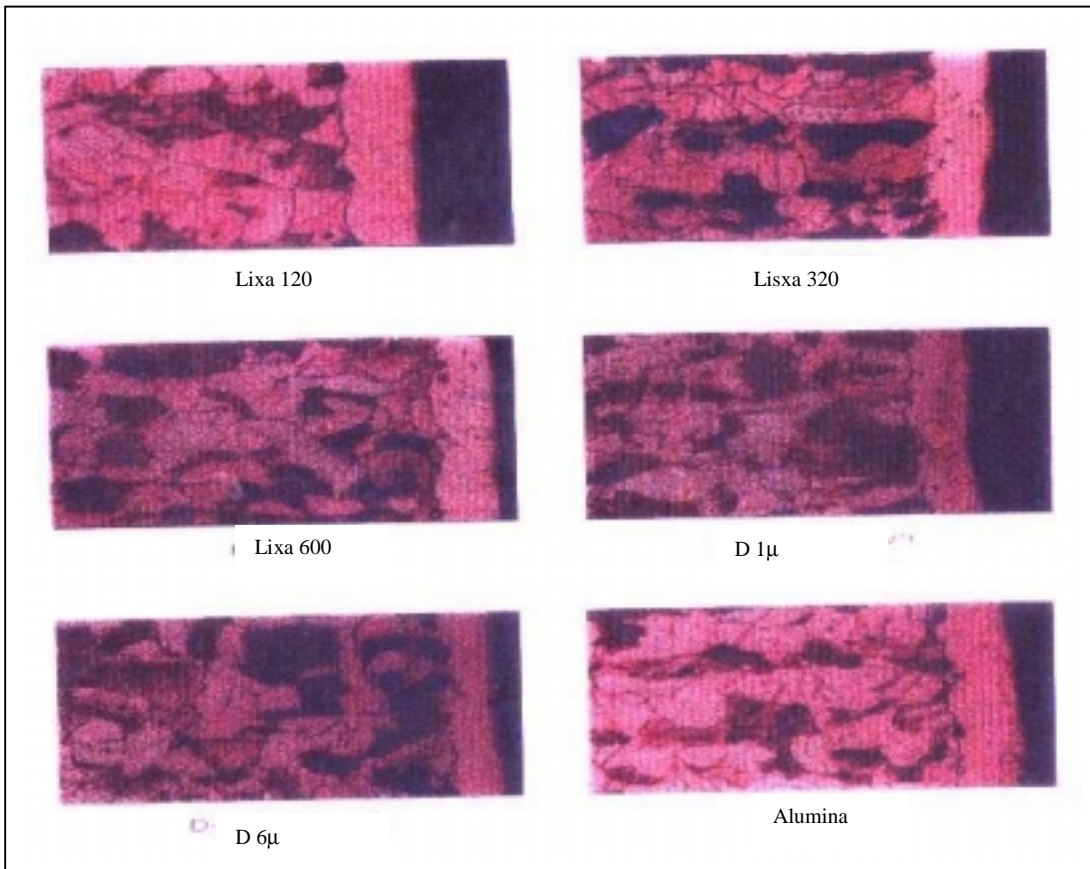
Processo de nitrocarbonetação em banho de sal desenvolve maior porosidade que os processos gás e plasma pulsado.

\* \* \* \* \*

## **Referências Bibliográficas**

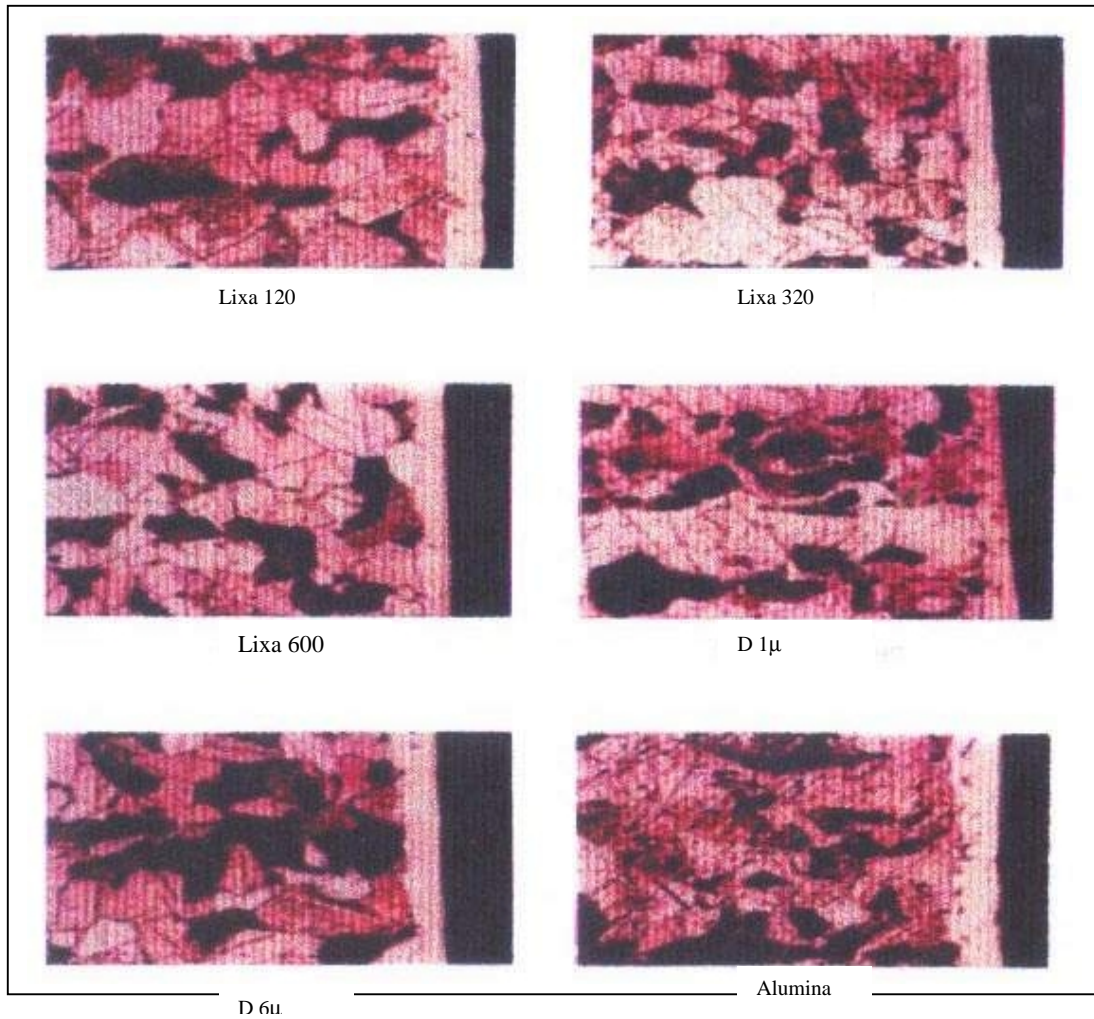
- (1) - “Nitretação em anéis para motores” – Publicação interna Cofap Cia.Fabricadora de Peças, 1988- Prof.Dr.J.Vatavuk.
- (2)– “A técnica da nitretação em banho de sal sem formação de camada branca para aço trabalho a quente”– Informativo Técnico Brasimet, 1996 - Eng. J.C.Vendramim
- (3) – Fotografia gentilmente cedida pela Brasimet Com.Ind.SA
- (4)– “Fundamentos da Nitretação sob Plasma Pulsado” – Informativo Técnico “Brasimet”,1995- Eng.J.C.Vendramim
- (5) – Fotografia gentilmente cedida pela Brasimet Com.Ind.SA
- (6) – Kinetics of nitriding with and without white-layer formation – K.H.Jack – Heat Treatment-The Metals Society, December 77, pg 249

Anexo 1



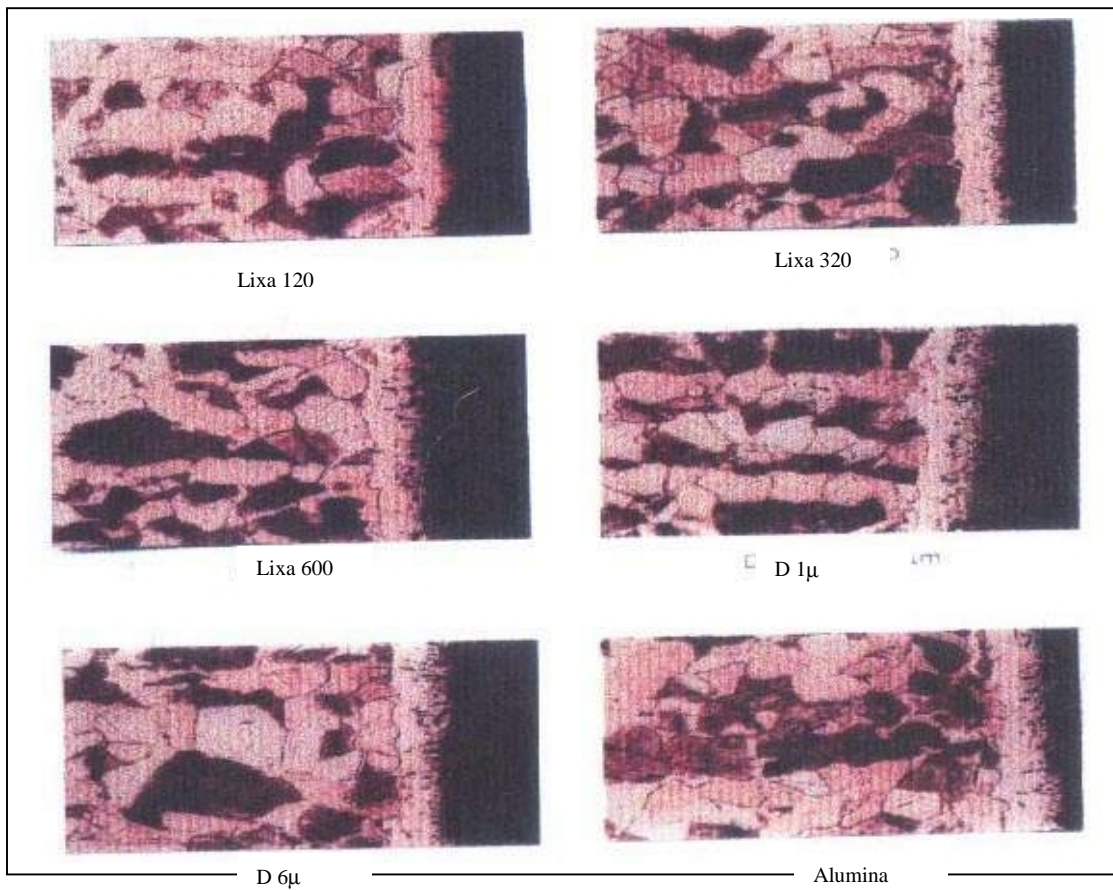
Microfotografia, aumento 450x – Nitrocarbonetação sob gás

Anexo 2



Microfotografia, aumento 450x - Nitrocarbonetação sob Plasma Pulsado

Anexo 3



Microfotografia, aumento 450x - Nitrocarbonetação Banho de Sal