

# AVALIAÇÃO DO AÇO SAE 4144 NITRETADO À PLASMA E NITROCARBURIZADO <sup>1</sup>

Clarissa Growoski Féder<sup>2</sup>  
Humberto Ogata<sup>3</sup>  
Ana Sofia C.M D'Oliveira<sup>4</sup>

## Resumo

Este trabalho tem como objetivo comparar superfícies do aço SAE 4144 nitretadas a plasma e nitrocarbureadas. Foram realizados ensaios de desgaste e fadiga para avaliação do desempenho das superfícies, além da caracterização das microestruturas e dureza HV1 obtidas dos dois processamentos. No ensaio de desgaste, amostras cilíndricas de 10 mm de diâmetro foram submetidas a 500 e 3000 m de distância com uma carga de 2 kg e velocidade de 0,02 m/s. Foi medida a perda de massa para cada distância. O ensaio de fadiga foi realizado com uma frequência de 15 Hz e uma força máxima de 30 N. Para a caracterização das superfícies utilizou-se microscopia ótica para avaliação das microestruturas, microscopia eletrônica de varredura, difração de Raio-X para identificação das fases e ensaio de dureza HV1. A caracterização das microestruturas mostrou que a amostra nitretada a plasma apresenta a camada branca com metade da espessura produzida na nitrocarbureação, porém apresenta uma camada de difusão (550HV) de 0,2 mm. O perfil de dureza dos dois processamentos mostra uma diferença de aproximadamente 200 HV a 0,10 mm da superfície. No ensaio de desgaste a amostra nitrocarbureada teve menor perda de massa à pequenas distâncias e à distâncias maiores a perda de massa foi menor para a amostra nitretada à plasma. O ensaio de fadiga foi influenciado pela qualidade do material, com presença de inclusões.

**Palavras-chave:** Nitretação; Desgaste; Fadiga; Caracterização.

## EVALUATION OF SAE 4144 STEEL PLASMA NITRIDED AND NITROCARBURIZED

### Abstract

The aim of this work is to compare SAE 4144 steel nitrided surfaces. Two processes were used: plasma nitriding and nitrocarbureation. Surfaces were characterized for their microstructures by optical microscopy, Vickers hardness profile under 1 kg load and their performance assessed by sliding wear of a nitrided piece against a 58 HRC disk and fatigue tests. Microstructure evaluation confirmed predictions from the literature. Structures comprise a compound layer on the surface and a diffusion layer immediately below this one. Plasma Nitrided parts exhibited a narrower compound layer and a diffusion layer (550HV1) which was not found in the nitrocarbureated parts. Hardness profiles confirmed the differences between the nitriding processes selected with plasma nitriding surfaces exhibiting significantly higher hardness. The almost 200 HV difference can be associated with the compound structures observed in each surface. Sliding wear results showed that for shorter distances the mass loss was smaller for the nitrocarbureated parts and for the longer distance this behavior changed and plasma nitrided surface exhibited lower mass loss. The fatigue test was influenced by the quality of the material which had inclusions.

**Key words:** Nitrided; Sliding wear; Fatigue; Characterization.

<sup>1</sup> Contribuição técnica apresentada na 61º Congresso Anual da ABM, de 24 a 27 de julho de 2006, Rio de Janeiro – RJ

<sup>2</sup> Engenheira Mecânica, Robert Bosch Latin America- Curitiba-PR

<sup>3</sup> Engenheiro Industrial Mecânico, Robert Bosch Latin America- Curitiba-PR

<sup>4</sup> Professora Titular do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Paraná, PhD

## INTRODUÇÃO

Os processos de nitretação e nitrocarburização, depois da cementação, são os mais importantes processos termoquímicos para tratamento de componentes industriais nos quais uma camada superficial de elevada resistência ao desgaste e elevada tensão residual de compressão são requeridas.

A nitretação difere de outros processos de tratamento térmico ou termoquímico principalmente por ser executado em baixas temperaturas, normalmente em torno de 500°C, o que resulta em baixa deformação do componente tratado.<sup>[1]</sup>

As principais características conferidas pela camada nitretada são alta resistência à fadiga, ao desgaste e à corrosão, além de elevada dureza superficial e baixo coeficiente de atrito.<sup>[1]</sup>

Os aços utilizados para nitretação geralmente possuem elementos de liga como o alumínio, cromo, vanádio, molibdênio e tungstênio que formam nitretos estáveis.<sup>[2]</sup>

De modo geral, anteriormente ao processo de nitretação os aços são temperados e revenidos quando o objetivo é atender especificações de tenacidade do componente.

O processo de nitretação normalmente produz uma camada superficial denominada camada branca ou camada de compostos e uma camada de difusão logo abaixo desta, Figura 1. A camada branca é composta por nitretos e/ou carbonitretos  $\gamma$  ( $\text{Fe}_4\text{N}$ ) e  $\epsilon$  ( $\text{Fe}_{2-3}\text{N}$ ). Através da alteração de parâmetros como a temperatura e o tempo, a espessura da camada branca pode ser controlada podendo até mesmo ser eliminada se isto for interessante para a aplicação da peça. A camada de difusão é formada por nitrogênio em solução intersticial na ferrita e sua espessura depende do processo de nitretação e dos elementos de liga presentes no aço.<sup>[3]</sup>

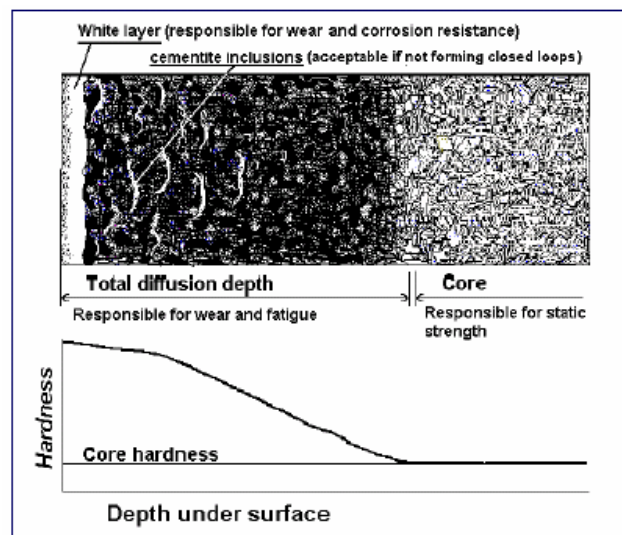


Figura 1. Camada nitretada de um aço ligado.<sup>[5]</sup>

O processo de nitrocarburização consiste em adicionar amônia à atmosfera carbonetante que, por dissociação, adiciona nitrogênio à superfície do aço, simultaneamente à adição de carbono. O carbono, tanto da atmosfera como do próprio material, auxilia na formação do nitreto  $\epsilon$ .<sup>[4]</sup>

Na nitretação a plasma o nitrogênio é adicionado à superfície metálica através de uma descarga iônica ("glow") entre o cátodo (peça) e o ânodo (forno) formando um

plasma na superfície da peça propiciando a difusão do nitrogênio para o interior da mesma.

O objetivo deste trabalho é comparar superfícies nitretadas processadas industrialmente por estas duas técnicas correlacionando características de superfície como as microestruturas desenvolvidas e a dureza com o desempenho à fadiga e ao desgaste.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Os processos e as peças tratadas termicamente são desenvolvidos pela Robert Bosch – Sistemas Diesel e, portanto, não serão totalmente detalhados. Os processos são desenvolvidos de acordo com especificações de produto e as peças foram tratadas nestas condições para os dois processos.

O aço utilizado neste trabalho foi o SAE 4144M cuja composição química é apresentada na Tabela 1.

**Tabela 1.** Composição química do aço SAE 4144M (% em peso)

<i>C</i>	<i>Mn</i>	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>Si</i>	<i>Cu</i>	<i>Cr</i>	<i>Ni</i>	<i>Mo</i>
0,42 - 0,46	0,90 - 1,00	0,025	0,010 - 0,020	0,20 - 0,30	0,35	1,15 - 1,30	0,25	0,25 - 0,35
		max.			max.		max.	

As peças foram temperadas e revenidas antes da nitretação com uma temperatura de austenitização de aproximadamente 850°C e a temperatura de revenimento em torno de 600°C.

Os parâmetros de processo são apresentados na Tabela 2.

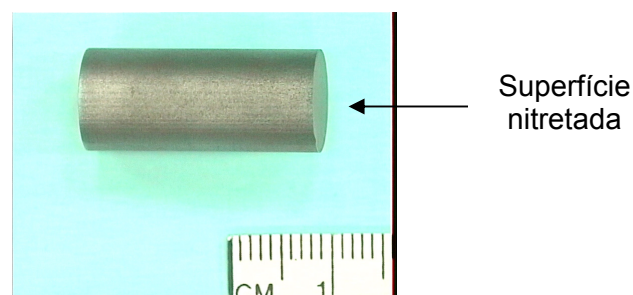
**Tabela 2.** Parâmetros de processo

	<i>Temperatura(°C)</i>	<i>Tempo (h)</i>	<i>Concentração dos gases</i>
<i>Nitrocarburação</i>	570	4	4% CO <sub>2</sub> – 96% NH <sub>3</sub>
<i>Nitretação à plasma</i>	520	24	100% N <sub>2</sub>

As amostras foram retiradas das peças por eletroerosão. A avaliação da microestrutura foi feita na seção transversal por microscopia ótica. Para tanto, as amostras foram preparadas segundo procedimentos padrão de metalografia. O ataque químico utilizado foi Nital 2%.

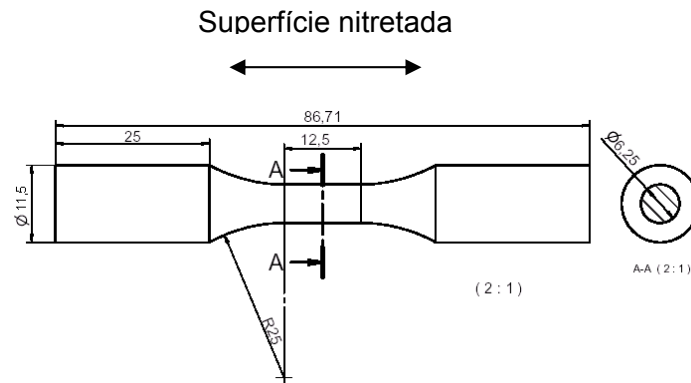
A análise das superfícies por difração de Raio-X permitiu identificar as fases presentes em função de cada processo.

Para o ensaio de desgaste por deslizamento foram utilizados os corpos de prova cilíndricos, de 10 mm de diâmetro, como mostrados na Figura 2.



**Figura 2.** Corpo de prova utilizado para o ensaio de desgaste.

Neste ensaio a superfície nitretada das amostras foi submetida a uma carga de 2 kg sobre um disco de dureza 58 HRC com velocidade de 0,02 m/s. Foi calculada a perda de massa para duas distâncias percorridas: 500 e 3000 metros. O ensaio de fadiga foi realizado com frequência de 15 Hz e força máxima de 30 N. A Figura 3 mostra o corpo de prova utilizado para os ensaios.



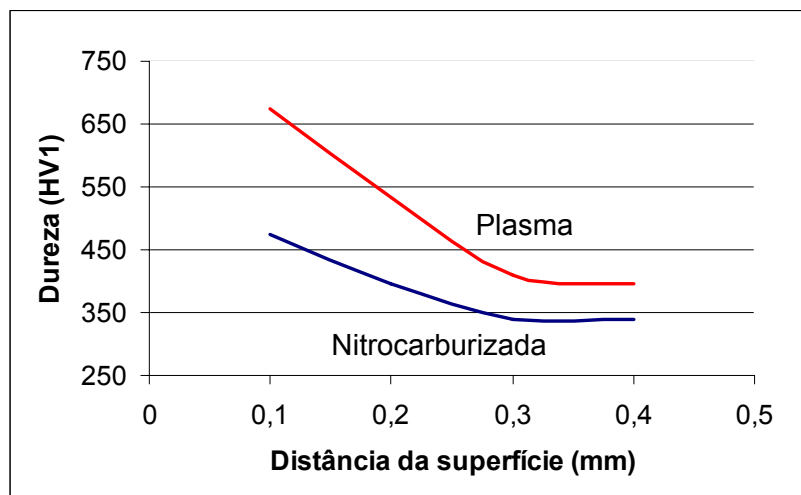
**Figura 3.** Corpo de prova utilizado para o ensaio de fadiga.

Para efeitos de comparação corpos de prova somente beneficiados (temperados e revenidos) foram também testados à fadiga. Para completar, realizou-se a análise da superfície de fratura através de microscopia eletrônica de varredura.

## RESULTADOS

### Caracterização das superfícies

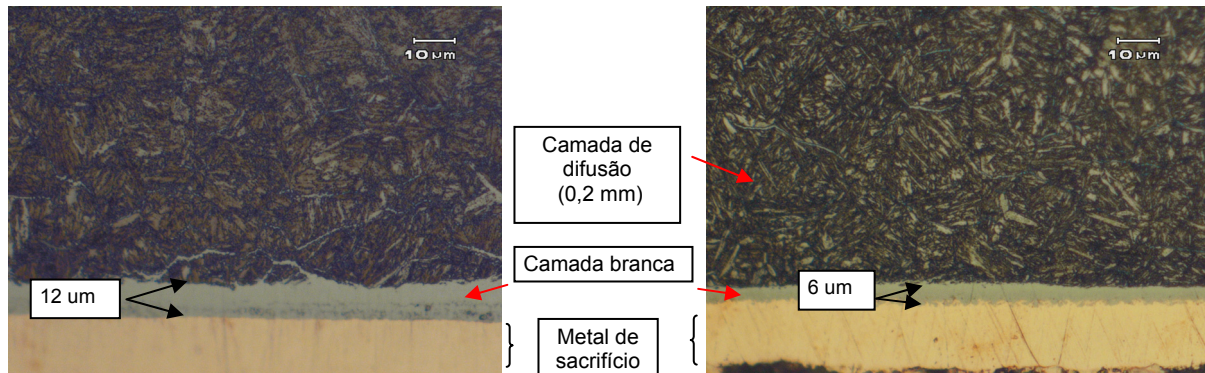
O perfil de dureza das superfícies nitrocarburizadas e nitretadas a plasma é apresentado na Figura 4.



**Figura 4.** Perfis de dureza

Observa-se uma diferença significativa de aproximadamente 200 HV entre as duas amostras. Verifica-se ainda, que apenas o processo a plasma produziu uma camada de difusão de 0,2 mm de espessura, sendo esta delimitada pela região onde se obtém dureza de 550 HV conforme a norma N67W (Norma Bosch).

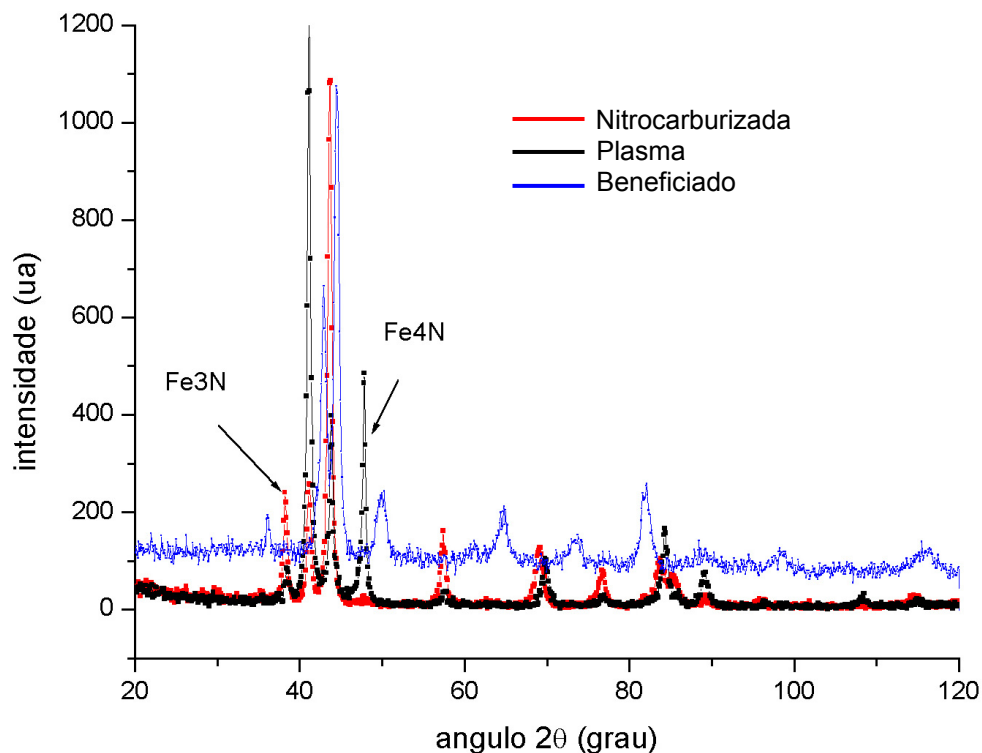
A análise das microestruturas desenvolvidas após processamento pelas técnicas utilizadas revela que após nitretação a plasma a camada branca é menos espessa do que após nitrocarburação, confirmando o que se encontra na literatura. Uma das razões da camada branca após nitrocarburação ser mais espessa é a presença de descontinuidades provenientes da impureza dos gases utilizados no processamento. As figuras 5 e 6 identificam as duas camadas.



**Figura 5.** Microestrutura da amostra nitrocarbuzada

**Figura 6.** Microestrutura da amostra nitretada a plasma

O resultado da difração de Raio-X, Figura 7, mostra que as fases encontradas na superfície nitretada são de fato decorrentes do processo de nitretação, já que não estavam presentes no aço antes do processamento. A amostra nitrocarbuzada apresentou maior quantidade do nitreto  $\epsilon$  ( $\text{Fe}_3\text{N}$ ) e a amostra nitretada a plasma maior quantidade de nitreto  $\gamma$  ( $\text{Fe}_4\text{N}$ ).



**Figura 7.** Difração de Raio-X

## Desempenho das Superfícies

As características das superfícies foram determinantes no desempenho ao desgaste e à fadiga. Na Figura 8 apresentam-se os resultados dos testes de fadiga.

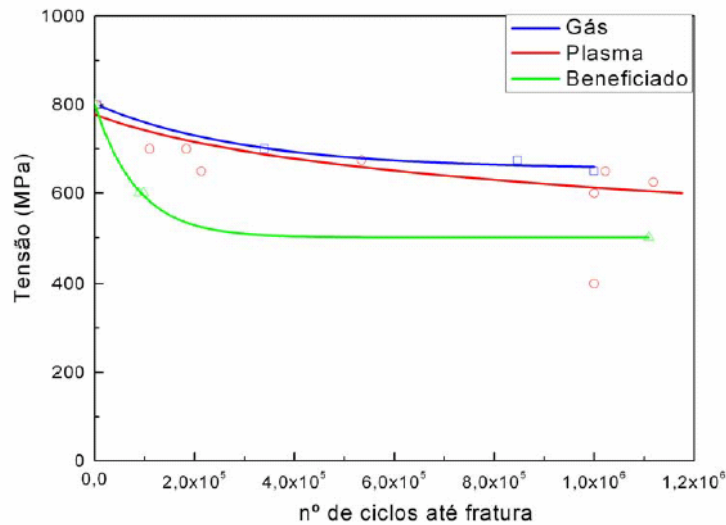


Figura 8. Resultados do ensaio de fadiga

Verifica-se que ocorre uma melhoria no desempenho dos componentes nitretados em relação ao aço na condição beneficiada. Este comportamento é atribuído à presença de tensões compressivas esperadas após o processo de nitretação. No entanto, os resultados decorrentes dos processos de nitretação não apresentaram diferenças significativas na vida à fadiga. A análise da superfície de fratura permitiu esclarecer este fato ao revelar a presença de inclusões que contribuíram para o início de trincas, Figura 9. Ou seja, a qualidade do material foi decisiva no desempenho das peças nitretadas, sendo secundário o papel do processo de nitretação.

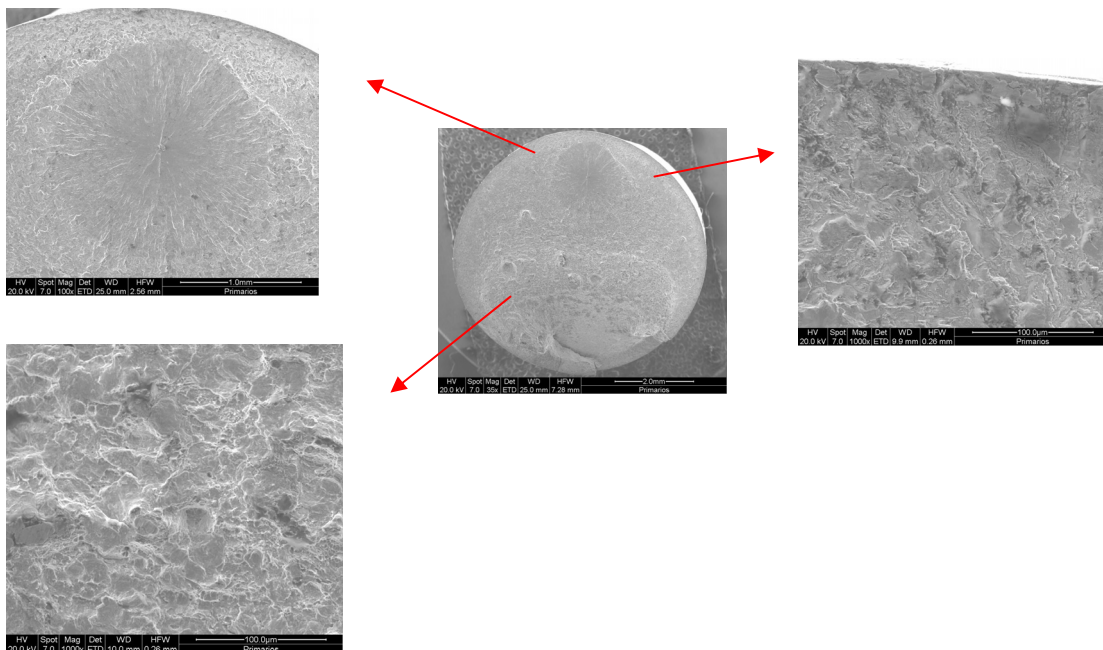
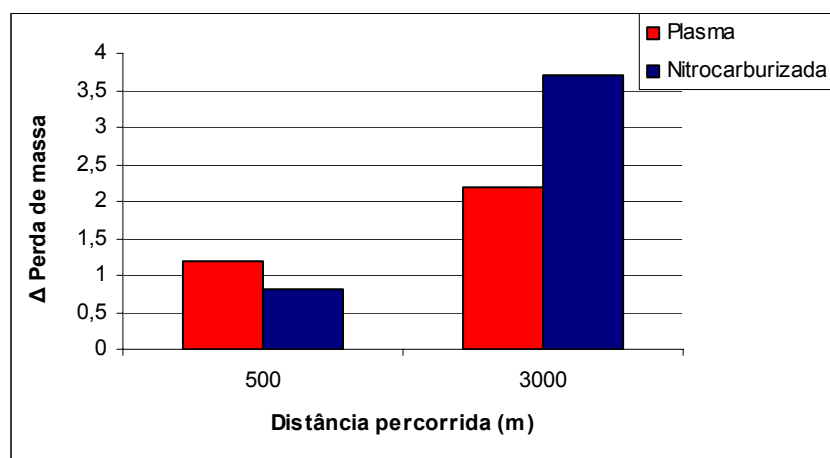


Figura 9. Análise da superfície de fratura

A influência do processo de nitretação é clara no desempenho ao desgaste, Figura 10.



**Figura 10.** Resultados do ensaio de desgaste

Observam-se comportamentos distintos em função da distância percorrida para as superfícies nitrocarburizadas e nitretadas a plasma. As primeiras apresentam melhor desempenho para distâncias menores e o comportamento se inverte após deslizamentos de 3000 metros. Neste caso as características das superfícies apresentam efeito determinante, sendo que o melhor desempenho após deslizamentos de 500 metros pode ser associado à maior espessura da camada branca exibida pela superfície nitrocarburizada. À medida que a distância percorrida aumenta e a camada branca é consumida o comportamento é determinado pela presença da camada de difusão que em função da sua dureza reduz a perda de massa.<sup>[5]</sup>

Os resultados mostram que a especificação do processo de nitretação é função direta do desempenho esperado para o componente, visto que para esforços diretamente dependentes das características da superfície, como o teste de desgaste por deslizamento se obtém um comportamento distinto daquele medido em volume (superfície e núcleo).

## CONCLUSÕES

A nitretação a plasma resulta em uma dureza maior quando comparada à nitrocarburização. Além disso, sua estrutura apresenta uma camada de difusão e a camada branca resultante deste processo é menos espessa.

A nitretação melhora a vida à fadiga do aço, porém os dois processos estudados apresentaram comportamento similar no ensaio de fadiga decorrente da presença de inclusões no material.

O desempenho em relação ao desgaste é associado à presença ou não de uma camada de difusão e às características da camada branca.

## Agradecimentos

Os autores agradecem a Roberto Bosch Latin America – Divisão Diesel, localizada em Curitiba pela disponibilização de recursos tanto humanos quanto de equipamentos. Agradecemos também a Universidade Federal do Paraná e o Lactec pela realização dos ensaios.

## REFERÊNCIAS

- 1 CHIAVERINI, V., **Aços e Ferros Fundidos**, São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2005.
- 2 DAVIS J.R., **Surface Engineering of Carbon and Alloy Steels**, ASM Handbook, Volume 5, Surface Engineering, 1992.
- 3 BELL, T., **Gaseous and Plasma Nitrocarburizing of Steels**, ASM Handbook, Volume 4, Heat Treating, 1992.
- 4 O'BRIEN, J.M., GOODMAN, D., **Plasma (Ion) Nitriding of Steels**, ASM Handbook, Volume 4, Heat Treating, 1992.
- 5 Hutchings, I. M., **Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials**, CRC Pr I LlC1992
- 6 LILIENTAL, W.K., TYMOWSKI, G.J., TARFA, N., **Melhorando propriedades mecânicas superficiais de ligas ferrosas através da nitretação a gás controlada e automática**, Nitrex Metal Inc., St. Laurent, Quebec, Canadá, 1990.
- 7 KNERR C. H., ROSE T. C., FILKOWSKI J. H, **Gas Nitriding of Steels**, ASM Handbook, Volume 4, Heat Treating, 1992.
- 8 CHIAVERINI, V., **Tratamentos Térmicos das Ligas Metálicas**, São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2003.