



A NITRETAÇÃO A PLASMA APLICADA COMO PROCESSO ANTICORROSIVO EM FERRAGENS METÁLICAS UTILIZADAS NO SISTEMA ELÉTRICO

**Heloisa Regina Turatti Silva¹,
Paola Egert², Rachel Faverzani Magnago³,
Carlos Speller¹¹, Alessandro Dadam¹²**

RESUMO

A corrosão é um processo eletroquímico que tem gerado grandes perdas econômicas ao setor elétrico. O contato da superfície das peças metálicas com a atmosfera é um dos grandes responsáveis pelo processo de corrosão, principalmente se a atmosfera for agressiva, como aquelas provenientes de regiões salinas. Neste trabalho, a nitretação a plasma é utilizada como processo de tratamento superficial em ferragens metálicas utilizadas nas redes de distribuição e transmissão de energia elétrica, com o intuito de avaliar sua eficiência como processo anticorrosivo. Resultados mostram a relação do tempo do processo de nitretação a plasma com a formação das camadas nitretadas, camada de compostos e de difusão, para diferentes geometrias das peças. O trabalho também apresenta a dependência desta geometria com a formação da camada nitretada, onde se evidencia que a uniformidade desta camada de nitretos resulta em uma maior eficiência frente à corrosão metálica.

Palavras-chave – Nitretação, Plasma, Corrosão, Tratamento Superficial.

¹ Engenheira Química pela UFSC (1996), Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais pela UFSC (1999) e Doutora em Ciência e Engenharia dos Materiais pela UFSC (2003). Professor III da Universidade do Sul de Santa Catarina. E-mail: helofloripa2004@yahoo.com.br

² Doutora em Ciência e Engenharia de Materiais pela UFSC, Mestre em Física experimental também pela UFSC e graduada em Física- Licenciatura Plena pela Faculdade de Biociências- PUCRS. Professora e pesquisadora da Universidade do Sul de Santa Catarina (Unisul). E-mail: paola.ortiz@unisul.br

³ Doutora (2002) em Química Orgânica. Mestre em Química Orgânica UFSC (1996). Química Industrial pela Universidade Federal de Santa Maria (1993), professora da Universidade do Sul de Santa Catarina (UNISUL). E-mail: rachelfaverzanimagnago@gmail.com

¹¹. Bacharel e Mestre em física pela Universidade de Brasília, Docteur d'État ès-Sc. Phys. em física de plasmas pela Université de Paris XI (Paris-Sud) (1983), foi professor da UnB, UFPE, ITA e Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Foi também pesquisador visitante do National Institute of Standards and Technology e da Université de Paris Sud. Atualmente é colaborador em projetos de pesquisa da UNISUL e da UFSC. E-mail: cv_speller@yahoo.com.br

¹² Engenheiro Mecânico pela UFSC (1994) e Mestre em Engenharia Mecânica na área de ciências térmicas pela UFSC (2005). E-mail: alessandropd@celesc.com.br

1 INTRODUÇÃO

A preocupação com o meio ambiente tem levado a comunidade científica à procura por novas tecnologias que desponham como soluções mais viáveis, com respostas mais rápidas e que atendam as exigências da sociedade em relação à interação do homem com o meio ambiente. São as chamadas tecnologias limpas. Dentre estas tecnologias, os processos que utilizam o plasma como fonte de energia, podem ser destacados. Um plasma, formado através de uma descarga elétrica gerada em um ambiente gasoso, pode ser utilizado para diversas aplicações, principalmente em metalurgia, meio ambiente e materiais avançados (BINDER, et al; 2015). Aplicações de plasma no tratamento de lixo hospitalar (REF), resíduos tóxicos orgânicos e inorgânicos (REF), recuperação de alumínio e silício de escórias (REF), estão estabelecidas e trazem contribuições efetiva ao meio ambiente.

Na metalurgia, o tratamento a plasma aparece como uma alternativa de substituição aos processos industriais hoje utilizados, tais como a nitretação e a nitrocementação que tem o objetivo de melhorar propriedades como resistência ao desgaste e a corrosão em superfícies de metais. Outro processo utilizado para resolver questões relacionadas à corrosão de metais é a galvanização. Neste processo, o contato com resíduos tóxicos e a formação de lama galvânica contaminada com metais pesados acarretam um problema ambiental muito sério. Porém, técnicas de tratamentos superficiais por plasma têm se mostrado promissoras na modificação de superfícies dos metais, trazendo soluções eficazes ao problema da corrosão, sem causar qualquer comprometimento ou dano ao meio ambiente. Depósitos superficiais realizados por plasma (descarga elétrica em mistura gasosa), tais como no caso do processo de nitretação produzidos em diferentes materiais, como, por exemplo, aço carbono, aços ligas, entre outros, têm tido destaque nas mais diversas aplicações tecnológicas, visto que resultam em propriedades individuais a cada material. Às propriedades mecânicas do metal estão associadas às características especiais da camada superficial resultante do processo utilizado, conferindo ao material, por exemplo, uma maior resistência à corrosão (BELAHSEN; et al.; 2013 e 2014).

Em se tratando da corrosão, processo que atinge principalmente os metais, estima-se que no Brasil, os prejuízos anuais causados pela corrosão chegam a somas equivalentes a 3,5% do produto interno bruto (PIB), algo em torno de 4,844 trilhões de reais. Já nos Estados Unidos, os prejuízos causados pela corrosão metálica atingem em média 276 bilhões de dólares anuais (FILHO, 2015). Avalia-se que um terço deste valor poderia ser economizado com o uso de materiais mais resistentes à corrosão e pela utilização de técnicas mais adequadas de combate à corrosão. Sabe-se que a atmosfera é um dos principais fatores que causam o problema, que se dá principalmente pela presença do oxigênio, da umidade, da radiação solar e dos contaminantes atmosféricos (H_2CO_2 , H_2SO_3 e HNO_3). Nas regiões próximas à orla marítima, este problema é ainda mais crítico, devido à salinidade. Os materiais usados nos sistemas de fornecimento de energia elétrica, por estarem expostos às condições atmosféricas, estão sujeitos a este tipo de degradação. Em decorrência disto, muitos gastos são gerados na manutenção dos metais utilizados no sistema elétrico e na reposição do material danificado ao longo do tempo pela ação da atmosfera.

Uma possível solução a estes problemas é a geração de novos materiais que apresentem uma maior resistência a corrosão, aprimorando assim, a eficiência e a qualidade da oferta desta energia. Quando a oxidação de metais é evitada reduz-se a manutenção dos equipamentos, proporciona-se maior eficiência do sistema existente, economiza-se capital, bem como reduz-se a extração de matéria prima e seus impactos ambientais negativos. Um processo bastante utilizado para resolver questões relacionadas à corrosão de metais é a galvanização. Neste processo, o contato com resíduos tóxicos e a formação de lama galvânica contaminada com metais pesados acarretam um problema ambiental muito sério. Porém, técnicas de tratamentos superficiais por plasma têm se mostrado promissoras na modificação de superfícies dos metais, trazendo soluções eficazes ao problema da corrosão, sem causar qualquer comprometimento ou dano ao meio ambiente. Depósitos superficiais realizados por plasma (descarga elétrica em mistura gasosa), tais como no caso do processo de nitretação produzidos em diferentes materiais, como, por exemplo, aço carbono, aços ligas, entre outros, têm tido destaque nas mais diversas aplicações tecnológicas, visto que resultam em propriedades individuais a cada material.

Às propriedades mecânicas do metal estão associadas às características especiais da camada superficial resultante do processo utilizado, conferindo ao material, por exemplo, uma maior resistência à corrosão (BELAHSEN; et al.; 2013 e 2014).

Assim, este trabalho apresenta um estudo sobre a utilização do plasma, ou uma descarga elétrica em nitrogênio, no processamento de materiais usados no fornecimento de energia elétrica tais como cintas, parafusos, entre outros e a exploração de suas potencialidades para produzir materiais tratados superficialmente de forma a obter propriedades superficiais especiais.

2 DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL

Os tratamentos a plasma de peças/ferragens metálicas confeccionadas em aço-carbono AISI 1020, utilizadas nos sistemas de transmissão de energia elétrica, apresentando diferentes geometrias, foi realizado com a aplicação de uma descarga elétrica em nitrogênio de forma a garantir nestes componentes uma maior resistência à corrosão. O estudo está relacionado às variações produzidas no tempo de processo, mantendo os demais parâmetros macroscópicos da descarga elétrica, pressão, tensão e corrente elétrica constantes. Assim, o estudo é realizado a partir de diferentes condições de tempo de tratamento, em uma mistura gasosa de 75%N₂+25%H₂, onde são utilizados os valores de 1h, 2h, 3h, 6h, 8h, 9h e 12h de processo, à temperatura de 540°C. A pressão utilizada no reator a plasma é 3 Torr e o fluxo da mistura gasosa é de 3,33cm³/s. Com relação à geometria das peças, utilizam-se: cinta para poste circular, sela para cruzeta, parafuso, porca, arruela, sapatilha e suporte "L"(Figuras 1 a e b), cedidas pela MILANO ESTRUTURAS METALICAS LTDA, fornecedora da CELESC de ferragens galvanizadas. Assim, para este estudo, o fluxo gasoso, a mistura gasosa, a temperatura e a pressão são mantidos constantes, e avalia-se a influência do tempo de tratamento e a geometria da peça sobre as camadas de nitretos formadas durante o processo de nitretação a plasma e seu posterior comportamento frente ao problema da corrosão metálica.

A nitretação à plasma é realizada em reator de corrente contínua (cc), onde as espécies químicas de uma mistura gasosa são ionizadas e reagem com a superfície metálica, formando a camada protetora. São utilizadas, peças/ferragens sem qualquer tratamento,

O sistema experimental conta com um reator de plasma, projetado e construído com dimensões e geometria ideais para este estudo. Consta de uma câmara cilíndrica de aço inox com 50 cm de altura e 50 cm de diâmetro (Figuras 1 c e d). Estas dimensões são escolhidas de forma a acomodar eletrodos internos onde são apoiadas as ferragens e onde será então aplicada a descarga elétrica.



Figura 1 - Sistema experimental a plasma e ferragens metálicas.

Fonte: Autores, 2014.

Esta câmara é bombeada através de um sistema de vácuo, garantindo a pressão e a manutenção da mistura gasosa de 75% N₂+25% H₂ desejada, em regime de fluxo. Após a realização dos processos nas peças metálicas, um estudo comparativo entre os processos de nitretação à plasma e o processo de galvanização é realizado. Para o estudo comparativo entre o processo de nitretação a plasma e o processo de galvanização, como forma de tratamento superficial de ferragens metálicas, utilizam-se as técnicas de microscopia eletrô-

nica de varredura (MEV) para caracterizar a microestrutura das camadas de nitretos (espessura, homogeneidade) e ensaios de névoa salina para avaliar o comportamento do material frente à corrosão.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As peças tratadas por plasma nas diferentes condições foram analisadas por microscopia eletrônica de varredura e os resultados mostram que a microestrutura formada nas amostras tratadas a plasma, apresentam camadas típicas de nitretos, conforme pode ser observado na Figura 2.

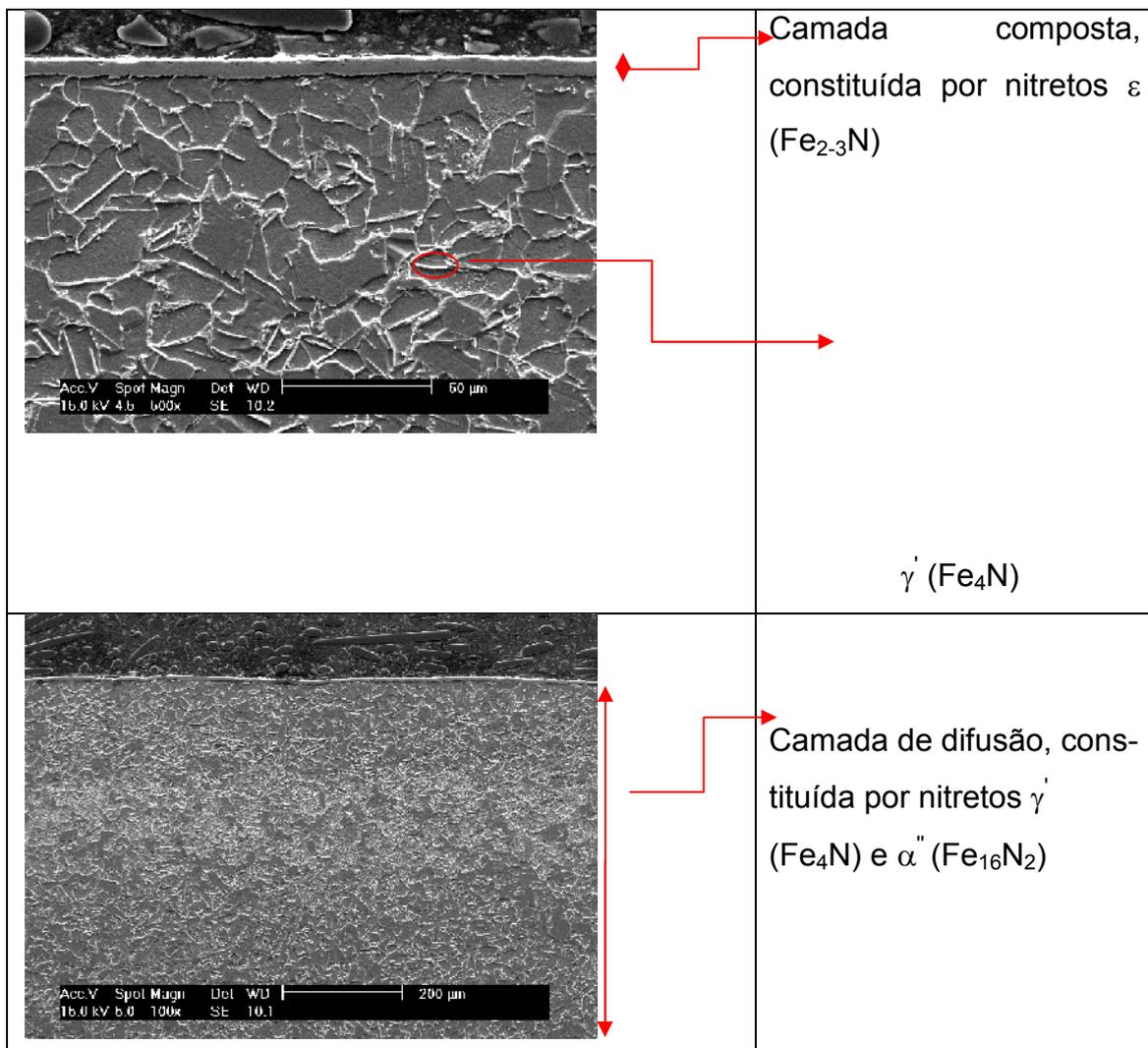


Figura 2 – Micrografia de ferragem fabricada em aço-carbono AISI 1020, suporte "L", nitretado a 540°C, suporte L, por 1h. Fonte: Autores, 2014.

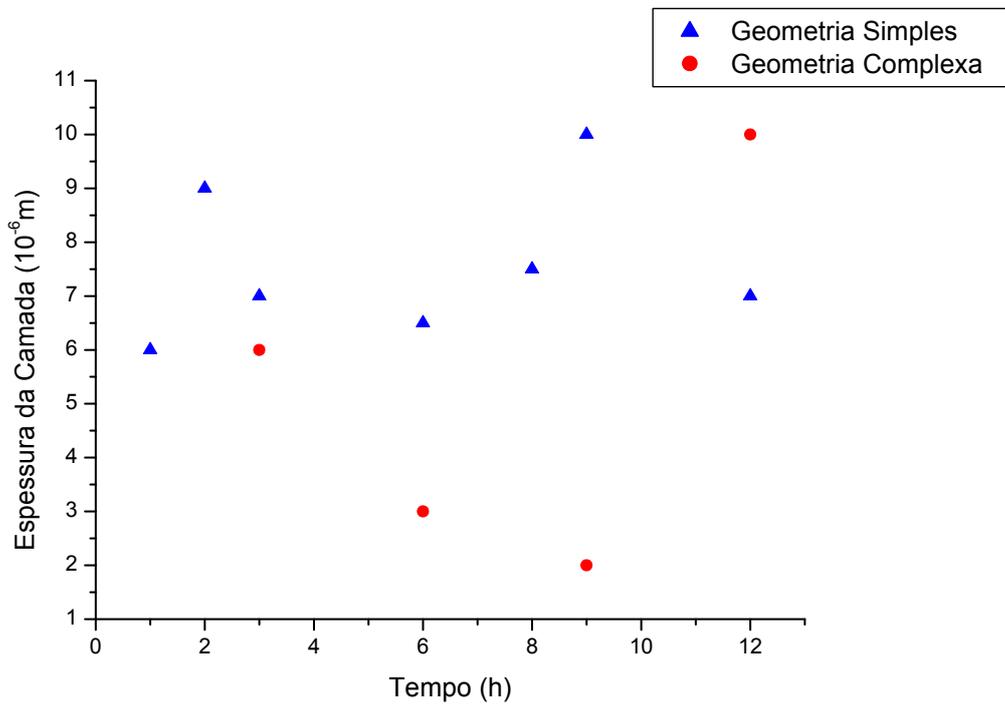
Nas micrografias apresentadas observa-se a formação das camadas composta e de difusão, com a presença das fases γ' (Fe_4N), ϵ (Fe_{2-3}N) e α'' (Fe_{16}N_2).

Durante as análises a espessura e a uniformidade das camadas produzidas nas peças metálicas tratadas a plasma foram estudadas. Observou-se que em regiões de geometria mais complexa (região dos dentes das porcas e parafusos) não foi alcançado uma uniformidade na camada composta. De maneira geral, peças com geometrias mais simples, apresentam camada composta mais uniforme que peças metálicas de geometria com maior complexidade. Identifica-se, portanto, uma dependência nos resultados obtidos, com relação a geometria do material.

Desta forma, por simplificação, os resultados são aqui apresentados a partir de um agrupamento em relação às diferentes geometrias das peças. As ferragens, cintas, suporte L, chapas e arruelas são agrupadas como “geometrias simples” e parafusos e porcas, como “geometrias complexas” (Figura 1 a e b).

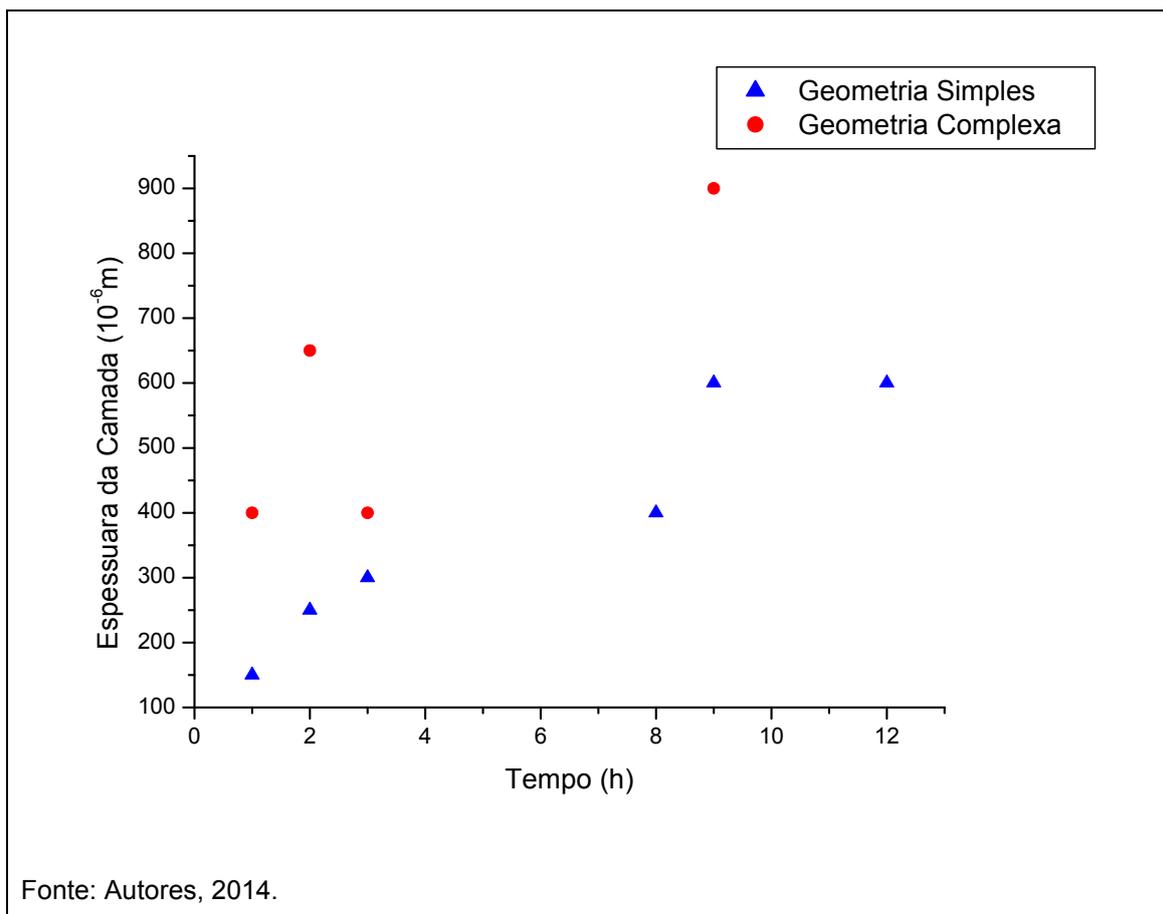
Para avaliar os resultados fez-se uma análise das espessuras de camadas compostas e de difusão com relação aos tempos de tratamentos. Nos gráficos 1 e 2 são apresentadas as espessuras das camadas composta e da camada de difusão, para diferentes tempos empregados nos processos de nitratação a plasma.

Gráfico 1 - Espessura da camada composta em função do tempo de tratamento



Fonte: Autores, 2014.

Gráfico 2 - Espessura da camada de difusão em função do tempo de tratamento



A. Camada composta - Geometria simples

Verifica-se que a espessura variou entre 6 μm a 10 μm , mostrando que não há uma dependência clara da espessura da camada composta com o tempo utilizado no processo. As peças tratadas por tempos mais curtos apresentam uma camada de aproximadamente 6 μm . Ao compararmos os valores alcançados para as espessuras da camada composta, observamos que não há modificações nestas, na medida em que ocorre um aumento no tempo de tratamento.

Veja, por exemplo, o caso do suporte em L, no tempo de 1 hora apresentou 6 μm enquanto que no tratamento de 2 horas a camada chegou a 9 μm . Este resultado pode ser visto nas Figuras 3 a e b. No entanto, observa-se no gráfico 1 que esta variação não está clara. Peças tratadas por tempos mais longos chegam a apresentar valores para espessura da camada composta menor do que peças tratadas em tempos mais curtos. Vale comentar que Belahs-

sen, 2013 traz em sua publicação que uma espessura de 5 μm em aço nitretado por 4 horas já apresenta-se como uma barreira frente ao problema de corrosão.

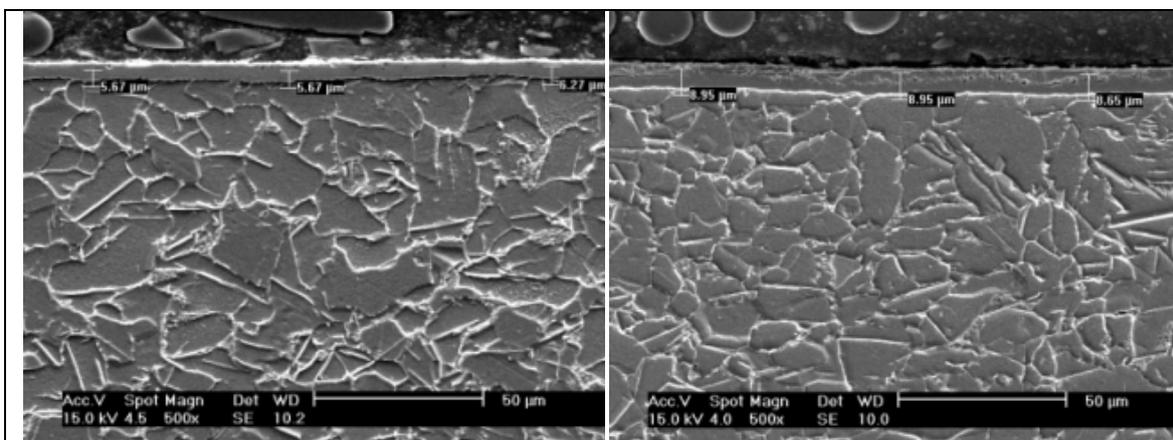


Figura 3.a – Micrografia mostrando a camada composta de um suporte L, nitretado por 1h.

Figura 3.b – Micrografia mostrando a camada composta de um suporte L, nitretado por 2h.

Fonte: Autores, 2014.

B. Camada composta - Geometria complexa

Nos materiais com geometrias complexas, como as camadas não são uniformes, a análise de espessura de camada composta fica comprometida. Nas Figuras 4 a e b podem ser evidenciadas a não uniformidade destas. Vale salientar, que a análise realizada no microscópio eletrônico permite uma avaliação da peça inteira, as fotomicrografias são tiradas de uma região representativa da amostra, expressando claramente a não uniformidade das camadas. Como a camada composta precisa ser uniforme para isolar, através de uma camada superficial fechada, e garantir uma adequada proteção da peça contra a corrosão, a geometria e outras possíveis variáveis que estejam interferindo nesta formação devem ser consideradas.

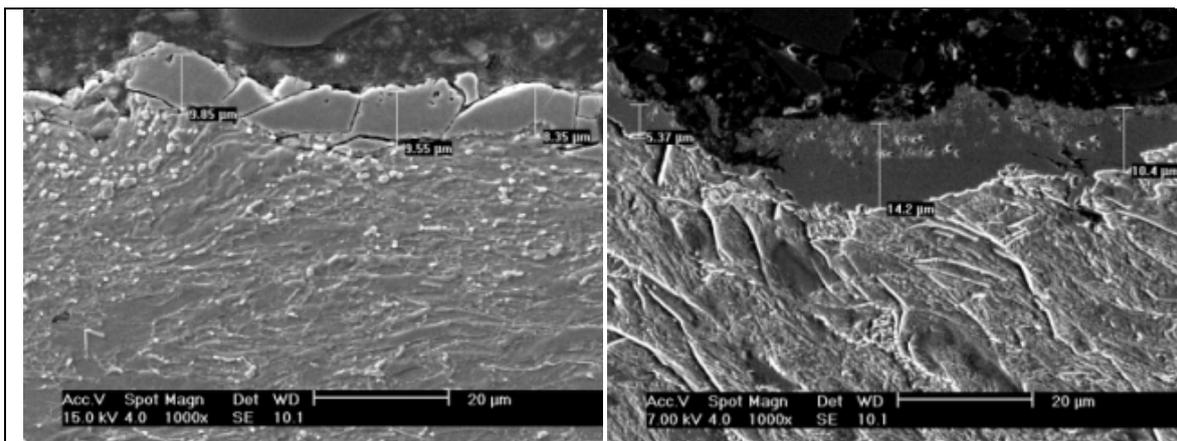


Figura 4.a – Micrografia mostrando a camada composta de um parafuso, nitretado por 3h.

Figura 4.b – Micrografia mostrando a camada composta de uma porca, nitretada por 9h.

Fonte: Autores, 2014.

C. Camada Difusão

O processo de formação das camadas de nitretos resulta de mecanismos de difusão de átomos de nitrogênio no material. Esta, por sua vez, dependerá das variáveis como tempo, temperatura e tipo de material em que são constituídas as ferragens utilizadas no estudo, aqui não alterado. Tanto o aumento do tempo, como o aumento de temperatura contribui na difusão dos átomos de nitrogênio para dentro de matriz ferrosa e portanto para um aumento na camada na ferragem tratada. Assim, menores temperaturas podem trazer melhores resultados na uniformidade da camada composta, que pode estar perdendo nitrogênio através da difusão deste para o interior do material. De fato, isto pode ser evidenciado nas fotos 5 a e b, quando observa-se que peças onde a camada composta não é favorecida, a camada de difusão apresenta uma maior espessura.

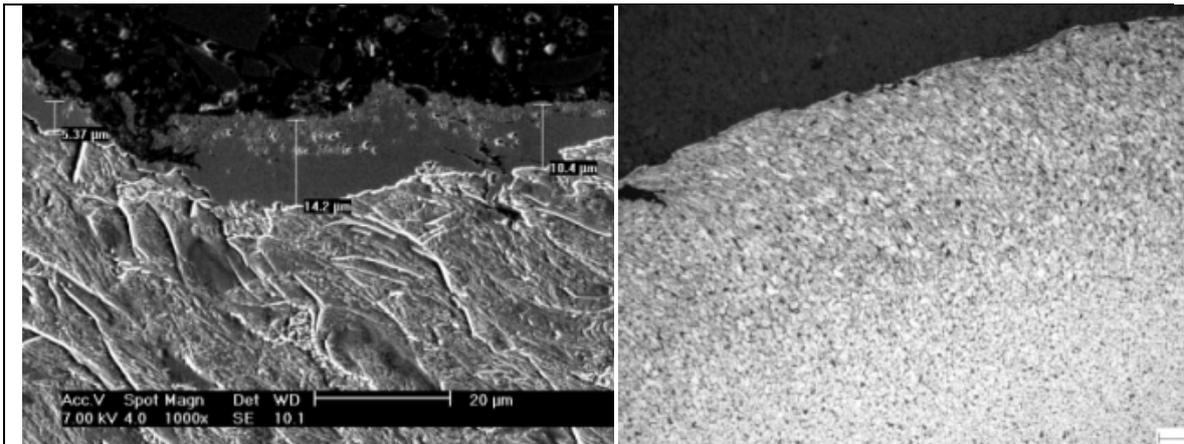


Figura 5.a – Micrografia mostrando a camada composta de uma porca, nitretada por 9h.

Figura 5.b – Micrografia mostrando a camada de difusão, de aproximadamente 600µm, de uma porca, nitretada por 9h.

Fonte: Autores, 2014.

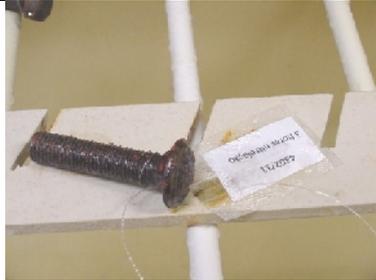
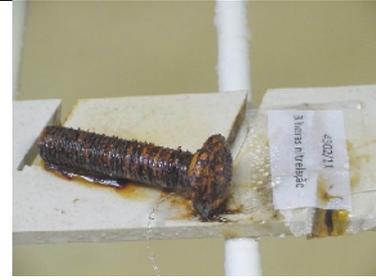
Também no gráfico 2, verifica-se um discreto aumento na espessura da camada de difusão em função do tempo de tratamento, tanto para comportamento de peças com geometria simples, como peças com geometrias complexas. Ocorre que para estas peças apresentarem uma resistência à corrosão, a formação de uma camada composta deve se sobressair à formação de uma camada de difusão.

C. Corrosão

As amostras após o tratamento de nitretação a plasma passaram por exposição à névoa salina, proveniente da nebulização de solução de cloreto de sódio à 5% à temperatura de $35 \pm 3^\circ\text{C}$ conforme método baseado na norma NBR 8094/1983. O equipamento utilizado foi a câmara de Névoa Salina da marca BASS, modelo USC-MP-01/2003.

O ensaio foi feito com a exposição de 1, 3, 24, 48 e 72 horas na câmara salina e fotos foram realizadas em cada um destes tempos de exposição, conforme metodologia citada por Ranalli et al (2009). Os resultados obtidos estão apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultados de exposição à névoa salina da amostra nitretada em diferentes tempos.

1 h exposição	3 h exposição	24 h exposição
3 h de nitretação		
		
6 h de nitretação		
		
8 h de nitretação		
		
9 h de nitretação		
		

Fonte: Autores, 2014.

Os resultados mostram que os pontos de fragilização são principalmente nas regiões de geometria complexa, corroborando resultados já observados na microestrutura estudada.

A amostra que foi submetida a 6 h de tratamento de nitretação a plasma apresentou um resultado melhor de resistência à corrosão. Realizamos, então, a continuação da exposição da peça à névoa salina, com 48 e 72 h. Todos os resultados obtidos para a exposição da névoa salina na peça com 6h de tratamento de nitretação estão apresentados na tabela 2.

Tabela 2 – Resultados de exposição à névoa salina da amostra nitretada por 6 h.



1 h Exposição Névoa Salina



3 h Exposição Névoa Salina



24 h Exposição Névoa Salina



48 h Exposição Névoa Salina



72 h Exposição Névoa Salina

Fonte: Autores, 2014.

Sugere-se que este melhor resultado tenha sido obtido em função da homogeneidade da camada de compostos formada em regiões de geometria não complexas, conforme já discutido anteriormente.

É facilmente encontrado na literatura que a nitretação a plasma é um processo que confere camadas compostas bastante homogêneas. Mas as amostras utilizadas na literatura se apresentam normalmente com geometria simples e pequenas dimensões. No caso deste estudo estamos passando o processo para uma situação real, e observando o efeito do processo nestas peças.

Também vale ressaltar que em amostras nitretadas a proteção contra a corrosão é física, logo a uniformidade das camadas para este tratamento é importante.

D. Comparativo entre os processos termoquímicos (nitretação e galvanização)

Embora as camadas nitretadas não tenham alcançado uma uniformidade esperada, observou-se que as camadas galvanizadas também não apresentam esta característica. Este resultado pode ser observado nas Figuras 6 a e b.

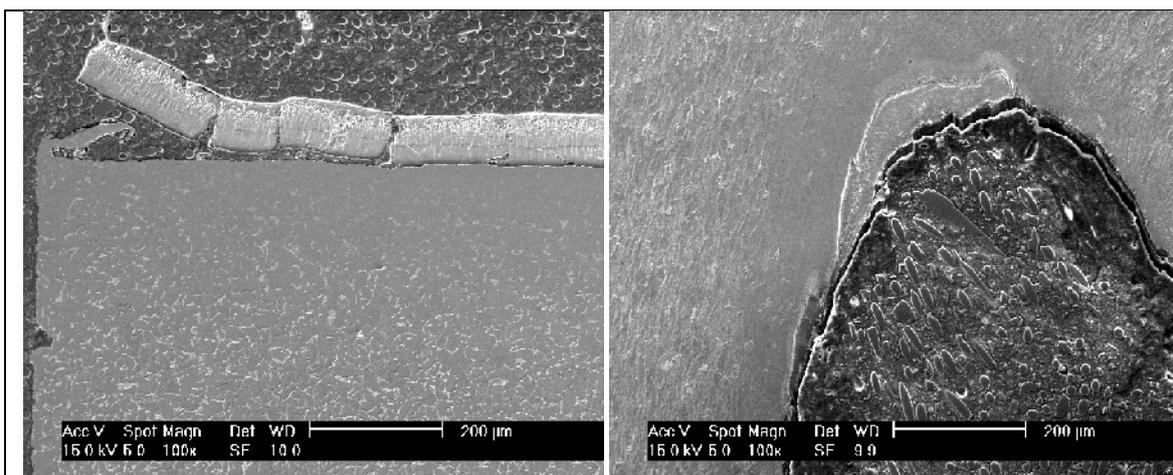


Figura 6.a – Microscopia mostrando a camada não uniformidade da camada galvanizada

Figura 6.b – Microscopia evidenciando a irregularidade da camada galvanizada na região dentada.

Fonte: Autores, 2014.

O resultado de exposição à nevoa salina é apresentado na tabela 3:

Tabela 3 – Resultados de névoa salina para peças galvanizadas.

Geometria	Tempo de Exposição	Observações
suporte em L	24h-96h	Corrosão Branca
	120h-168h	Corrosão Branca com Amarelamento nos pontos
	192h	Início de Corrosão Ferrosa
Parafuso	24h-96h	Corrosão Branca
	120h-168h	Corrosão Branca com Amarelamento nos pontos
	192h	Início de Corrosão Ferrosa
Porca	24h-96h	Corrosão Branca
	120h-168h	Corrosão Branca com Amarelamento nos pontos
	192h	Início de Corrosão Ferrosa

Fonte: Autores, 2014.

Uma melhor resposta à corrosão em peças galvanizadas foi observada, isto se dá em função da proteção à corrosão em amostras galvanizadas não

ser somente física, mas também química. Pois o zinco em função de ter um menor potencial de corrosão assume a função de anodo de sacrifício.

4 CONCLUSÕES

Analisando-se todos os resultados, pode-se concluir o seguinte:

1. As geometrias interferem significativamente na qualidade da formação da camada composta. A nitretação a plasma é um processo que confere camadas compostas homogêneas, porém com geometria simples e pequenas dimensões. Neste estudo o processo utilizou ferragens metálicas do sistema elétrico.
2. Os tempos de tratamento não trazem contribuição para o processo. Como é observado nos resultados, não há diferenças significativas na espessura de camada composta, logo para os tempos estudados não parece ter significativa influência no processo, quando se objetiva sua aplicação como processo anticorrosivo de superfícies metálicas.
3. Os ensaios de câmara salina dificultaram a avaliação das amostras nitretadas, com relação a resistência à corrosão. Neste caso a irregularidade de camada branca, permitiu a corrosão do ferro. Sabe-se que a homogeneidade da camada branca é a responsável pela proteção à corrosão. Neste caso o estudo deve seguir na direção de buscar parâmetros que tragam a homogeneidade da camada branca.

PLASMA NITRIDING APPLIED AS ANTICORROSIVE PROCESS IN METALLIC HARDWARE USED IN THE ELECTRICAL SYSTEM

ABSTRACT

Corrosion is an electrochemical process that has generated great economic losses to the electric sector. The contact of the metallic parts surface with the atmosphere is one of the main responsible for the corrosion process, mainly if the atmosphere is aggressive, like those coming from salt regions. In this work, plasma nitriding is used as a surface treatment process in metallic hardware used in the electric power distribution and transmission networks, in order to evaluate its efficiency as an anticorrosive process. Results show the relationship of the time of the plasma nitriding process with the formation of the nitrated layers, layer of compounds and diffusion, for different geometries of the pieces. The work also shows the dependence of this geometry with the formation of the nitrated layer, where it is shown that the uniformity of this layer of nitrates results in a greater efficiency against metallic corrosion

Key words - Nitriding, Plasma, Corrosion, Surface Treatment.

REFERÊNCIAS

BALLES, A. C.; SCHREINER, W. H.; MAURÍLIO DA SILVA, J.; FONTANA, L. C.; Nitretação a Plasma Como Meio Alternativo ou Complementar à Oxidação Negra na Proteção à Corrosão do Aço de Baixo Teor de Carbono; **Revista Materia**, v. 9, n. 4, pp. 360 – 369, 2004.

BELAHSEN, O.; CHALA, A.; BENRAMACHE, S.; DJAMEL, B.; FOUED, Ch.; Effect of Gas Mixture N-H on Microstructure and Microhardness of Steel 32CDV13 Nitrided by Plasma; **International Journal of Engineering**, v. 27, n. 4, pp.621-624, 2014.

BELAHSEN, O.; CHALA, A.; BENRAMACHE, S.; BENSAL, D.; CHABANE, F.; Microstructure and Corrosion Behavior of Steel Nitrided by Plasma; **Journal of Science and Engineering**, v. 2(1), pp.7-12, 2013.

BINDER, C; BENDO, T.; HAMMES, G.; KLEIN, A. N.; MELLO, J. D. B, **Effect of Nature of Nitride Phases on Sliding Wear of Plasma Nitrided Sintered Iron**, *Wear*, Volumes 332–333, Pages 995–1005, 2015.

BRUSAMARELLO, V.J., HUDSON, J.L., SCULLY, J.R., LUNT, T., MIKHAILOV, A.S, "Spatial interactions among localized corrosion sites", **Journal of Electrochemical Society**, v. 149, n. 5, pp. B163 - B173, 2002.

EGERT, P. **Estudo da Nitretação por Plasma: correlação plasma-superfície**, Tese de Doutorado, (2000).

FILHO, F. A. M. R., **Estudo Comparativo de Resistência à Corrosão entre Ligas Metálicas Ferrosas e Não Ferrosas**, Monografia, 2015.

LAMPE, T.; Eisenberg, S.; Laudin, G.; Compound Layer Formation During Plasma Nitriding and Plasma Nitrocarburising – **Surface Engineering**, vol.9 nº1 pg.69-76, 1993;

PAVANATI, H. C. **Sinterização de Ferro Puro com Enriquecimento Superficial Simultâneo de Cromo em Descarga Elétrica em Regime Anormal**. Tese de Doutorado - PGMAT, UFSC, Florianópolis, 2005.

SEEBER, A. , **Desenvolvimento de um sistema experimental para o estudo da interação plasma-superfície no processo de nitretação de aços convencionais utilizando técnicas de espectrometria de massa**, Dissertação de mestrado, Curso de pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, UFSC,(1997).

RANALLI, G. A.; Pallone, A. S. N.; Pereira, V. F.; Oliveira, R. G.; Mariano, N. A. **Efeitos da nitretação por plasma com pós-oxidação e por banho de sal na resistência à corrosão de um aço ferramenta**; *Matéria (Rio J.)* vol.14 nº.2 Rio de Janeiro Aug. 2009.