
Copyright 2008, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2008, em Recife/PE, no mês de maio de 2008.

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

Estudo da influência do acabamento interno na corrosão de tubos de cobre

A. C. N. de Jesus¹, R. Magnabosco², I. Costa³

Abstract

Copper tubes manufactured with ASTM C12200 (99.9% Cu-0015-0040% P) are used worldwide in the transport of potable water. The largest number of leakages in these types of pipelines is due to pitting, which is usually related to the water quality. One of the parameters that might influence pitting corrosion of copper tubes is their inner surface finishing. The lubricating oils used in the manufacture of copper tubes contain carbon and this forms a deleterious film during annealing of these tubes. This film helps the formation of local action cells on the internal surface of the pipeline. The objective of this study is to investigate the effect of internal surface finishing of copper tubes used commercially for transport of water on their corrosion resistance. The corrosion resistance was investigated using electrochemical tests in naturally aerated 0,12 mol L⁻¹ sodium chloride solution, at 25 °C. The inner surface of the tubes was observed previous to and after the electrochemical tests, by scanning electron microscopy (SEM). The effects of the following surface finishing were investigated: degrease, sand blasted, and as fabricated (without surface treatment). A loop was also built to investigate the effect of the surface finishing under conditions near to those found in practical situations. The results of this study indicated that the treatments that reduce the carbon content on the surface are beneficial to corrosion resistance. However, other features introduced by surface treatment, such as the increase in surface roughness due to sand blasting leads to decreased corrosion resistance. The surface treatments that resulted in increased corrosion resistance were those that also resulted in lower carbon levels at the surface, namely degrease and annealing.

¹Mestre, Engenheiro Metalurgista - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN/CNEN-SP), Av. Prof. Lineu Prestes, 2242 – Cidade Universitária – 05422-970 – São Paulo – SP;

²Doutor, Engenheiro Metalurgista - Centro Universitário da FEI, Av. Humberto A. Castelo Branco, 3972, São Bernardo do Campo - SP - 09850-901 – rodrmagn@fei.edu.br

³Doutora, Engenheira Química-Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN/CNEN-SP), Av. Prof. Lineu Prestes, 2242 – Cidade Universitária – 05422-970 – São Paulo – SP;

Resumo

Tubos de cobre ASTM C12200 (99,9%Cu-0,015-0,040%P) são utilizados mundialmente no transporte de água potável. Um dos parâmetros que influencia a resistência à corrosão por pite e a corrosão generalizada são as condições de acabamento interno dos tubos. O objetivo deste trabalho é investigar a influência do acabamento superficial no comportamento frente à corrosão de tubos de cobre usados comercialmente. Os tipos de acabamentos superficiais estudados foram: desengraxe, jateamento, e superfície sem tratamento, isto é, na condição obtida após trefilação. A resistência à corrosão foi investigada por meio de ensaios eletroquímicos em meio de cloreto de sódio $0,12 \text{ mol L}^{-1}$. Um *loop* foi montado para simular as condições reais de uso. Antes e depois de todos os ensaios as superfícies dos tubos foram observadas por microscopia eletrônica de varredura. Os resultados obtidos, tanto dos ensaios eletroquímicos realizados quanto a caracterização dos produtos de corrosão das amostras após exposição no *loop*, permitiram concluir que tubos sem tratamento são mais susceptíveis a corrosão por pite e o acabamento desengraxado possui maior resistência a corrosão quando comparado com o acabamento jateado em função do aumento da rugosidade superficial produzida neste acabamento.

Palavras-chave: tubos de cobre, corrosão generalizada, corrosão por pite, acabamento superficial.

1. Introdução

As causas mais comuns para ocorrência de corrosão por pite em tubos de cobre são a qualidade da água (1-4), a utilização em excesso de fluxo de soldagem (5-7), as condições operacionais inadequadas (6), e a formação de um “filme deletério” de carbono na superfície interna. Esta última é menos freqüente, pois a maioria dos fornecedores destes tubos elimina o carbono por diferentes processos de limpeza interna dos tubos, entre os quais se tem o processo de recozimento (8,9). A literatura é unânime em mencionar que um “filme deletério” é formado durante o recozimento dos tubos de cobre, em que ocorre a decomposição dos óleos lubrificantes utilizados para trefilação destes, e este afeta somente a corrosão por pite em água fria (tipo I). Segundo Campbell (10), a presença de um filme de carbono sobre o tubo de cobre promove uma grande área catódica em torno de uma área anódica, formada pela área exposta devido ao rompimento do filme de carbono, na qual ocorre o pite. A redução do oxigênio nas áreas catódicas é possivelmente afetada pelo dióxido de carbono e o bicarbonato de cálcio, ambos agindo como despolarizantes catódicos pela remoção dos íons hidroxila e, portanto, favorecem a redução do oxigênio com nova formação de hidroxila.

No Brasil, o padrão mais usado nos sistemas hidráulicos para tubos de cobre é a têmpera dura (*hard-drawn*), ou seja, estes tubos não passam pelo processo de recozimento. Isso leva à hipótese de que apenas tubos recozidos apresentariam problemas de corrosão causados pelo carbono proveniente do óleo lubrificante.

Em virtude disto, a indústria do cobre sempre se perguntou se é necessário remover os resíduos de óleo lubrificante após o último passe de trefilação dos tubos de têmpera dura (*hard-drawn*). Além disso, os desenvolvimentos tecnológicos introduzindo novos processos de fabricação que resultam em modificações nas condições superficiais dos produtos fabricados, e a necessidade de materiais que atendam à crescente demanda por qualidade, mostram a importância deste estudo. Deste modo, o objetivo deste trabalho é estudar a influência dos acabamentos internos na resistência à corrosão de tubos de cobre.

2. Materiais e Métodos

O tubo de cobre utilizado neste trabalho para preparação de corpos-de-prova possui a seguinte composição química, dada na Tabela 1.

Tabela 1– Composição química do tubo de cobre usado neste estudo.

Elemento	(% massa)
Cu	99,97
P	0,03

Foram estudados três tipos de acabamentos diferentes, a saber: condição obtida após a trefilação do tubo, sem remoção de óleo usado no processo, que será chamada de sem tratamento, desengraxamento em tetracloretileno e jateamento com granalha de aço inoxidável.

A superfície das amostras sem tratamento, após o processo de fabricação do tubo, não recebeu nenhum tipo de acabamento e ficaram com um alto teor de carbono superficial provenientes dos óleos lubrificantes do processo de fabricação (trefilação).

As amostras desengraxadas foram extraídas de tubos que passaram por um processo de desengraxe em um tanque de tetracloroetileno, com 7 metros de comprimento e profundidade de 10 metros e com uma divisória separando os locais onde ficam o líquido e o vapor. Primeiramente, o tubo é imerso no líquido desengraxante (tetracloroetileno) por cinco minutos à temperatura ambiente e, em seguida, o tubo é seco em vapor de tetracloroetileno por cinco minutos. O objetivo deste procedimento é remover os lubrificantes provenientes do processo de fabricação.

As amostras com acabamento de jateamento foram extraídas de tubos jateados com granalha de aço inoxidável por cinco minutos. Neste processo, o bocal do revólver de jateamento é conectado a uma das extremidades do tubo. Na outra extremidade, é conectada uma mangueira que coleta as granalhas e as manda de volta para o reservatório para serem utilizadas novamente. O objetivo do jateamento é o de remover os resíduos de óleo lubrificante que ficam na superfície do tubo após os processos de fabricação. O teor de carbono superficial de todas as amostras foi medido para cada condição de superfície ensaiada, utilizando o equipamento Eltra SC-5000 / Surface Carbon Determinator. A preparação das amostras para determinação do teor de carbono superficial foi feita conforme norma BS EN 723 (11).

2.1 Ensaios Eletroquímicos

A confecção dos eletrodos de trabalho foi realizada da seguinte maneira:

- (1) Um tubo com 15 mm de diâmetro externo e 0,5 mm de espessura de parede foi seccionado na transversal, obtendo-se assim um anel com 10 mm de comprimento.
- (2) A superfície externa do anel de cobre foi envolvida com fio de cobre, para contato elétrico, e, em seguida, esta superfície foi recoberta com resina epóxi de cura a frio.
- (3) As áreas laterais do anel de cobre foram recobertas com resina epóxi.

A célula usada nos ensaios eletroquímicos foi uma célula de três eletrodos composta de eletrodo de referência de Ag/AgCl, contra-eletrodo de platina tipo rede com área de aproximadamente 25 cm² e eletrodo de trabalho (amostra). O volume da solução usado em todos os ensaios foi 120 mL e a temperatura foi de (25±1) °C.

Ensaios de polarização cíclica foram realizados em solução de cloreto de sódio, na concentração de 0,12 mol L⁻¹ com taxa de varredura de 0,1 mV/s. Os ensaios de polarização cíclica tiveram o objetivo de avaliar a resistência do filme superficial e a tendência à repassivação associada a cada tipo de acabamento. Todos os ensaios foram feitos em um potenciostato AUTOLAB. As superfícies dos tubos, antes e após os ensaios de polarização, foram observadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV).

2.2 Ensaios realizados em *loop*

Para estudar o efeito de condições mais próximas das de uso dos tubos, foi preparado um *loop* para simulá-las, sendo compostos pelos seguintes itens:

- (1) Duas caixas d'água de 1000 litros.
- (2) Uma resistência para aquecer a água, instalada dentro da caixa d'água inferior.
- (3) Uma bomba para circulação de água.
- (4) Três circuitos, cada um composto por 6 segmentos de tubos. Cada circuito foi utilizado para ensaio de um só tipo de amostra.

As condições adotadas no *loop* foram as seguintes: a água circulava durante 8 horas à temperatura de (70 ± 10)°C e, em seguida, era mantida parada por 8 horas dentro do tubo,

esfriando até atingir a temperatura ambiente. A água de circulação no *loop* foi analisada, e foram obtidas as seguintes características físico-químicas, apresentadas na Tabela 2:

Tabela 2 – Características físico-químicas da água do *loop*.

pH	6,90
Sólidos totais dissolvidos	1270,0 ppm
Alcalinidade total*	80,0 ppm
Dureza Total*	27,0 ppm
Cloretos	298,0 ppm
Sílica Solúvel	14,7 ppm
Sulfatos	192,1 ppm
Ferro Total	1,63 ppm
Zinco Total	1,63 ppm
Cobre Total	0,52 ppm
Alumínio Total	0,05 ppm
Amônia	0,05 ppm
Condutividade	1411,0 μohm

* Como CaCO_3

3 Resultados e Discussões

3.1 Ensaios de Polarização Cíclica

Na Figura 1, são comparados os efeitos de dois tipos de acabamento usando amostras sem tratamento e desengraxadas. Entre os dois tipos de acabamento apresentados na Figura 1, nota-se que maiores densidades de corrente de corrosão foram associadas ao tubo sem tratamento, embora o formato das curvas tenha apresentado algumas similaridades. Um pico anódico é mais bem definido nas amostras desengraxadas, o que pode ser explicado pela maior dificuldade de precipitação de produtos de corrosão nas amostras sem tratamento, que apresentavam um filme de óleo superficial resultante da operação de trefilação. A presença desses produtos na superfície deve ter também influenciado nas maiores densidades de corrente observadas na varredura no sentido reverso relacionadas com as amostras sem tratamento.

A Figura 2 compara as curvas de polarização dos tubos jateados e os tubos sem tratamento. Valores muito próximos de densidade de corrente foram obtidos para estes dois tipos de acabamento superficial.

Com base nos valores de carbono superficial apresentados na Tabela 3 e nos resultados das Figuras 1 e 2, o teor de carbono aparentemente teve efeito prejudicial na resistência à corrosão do tubo de cobre. Isto é sugerido pela comparação dos resultados das amostras sem tratamento com os das desengraxadas. Este efeito todavia não é verificado quando se compara amostras sem tratamento e jateadas. Nota-se que o teor de carbono na superfície é diminuído em cerca de 10 vezes pelo jateamento, e se este fosse o único fator de efeito na resistência à corrosão, amostras com este tipo de acabamento deveriam apresentar densidades de corrente sensivelmente menores, o que de fato não ocorreu. Deve-se ressaltar, todavia, que o jateamento da superfície metálica com partículas abrasivas resulta em aumento na área superficial exposta ao meio corrosivo pelo aumento na rugosidade da superfície, além de causar maior ativação da mesma. Estes resultados indicam, portanto, que além do teor de carbono na superfície, outros fatores também afetam a resistência à corrosão da mesma e estes também devem ser levados em conta na análise dos resultados. Li (12) estudou o efeito da

rugosidade no cobre e concluiu que superfícies mais rugosas têm velocidades de corrosão maiores quando comparadas com superfícies mais lisas.

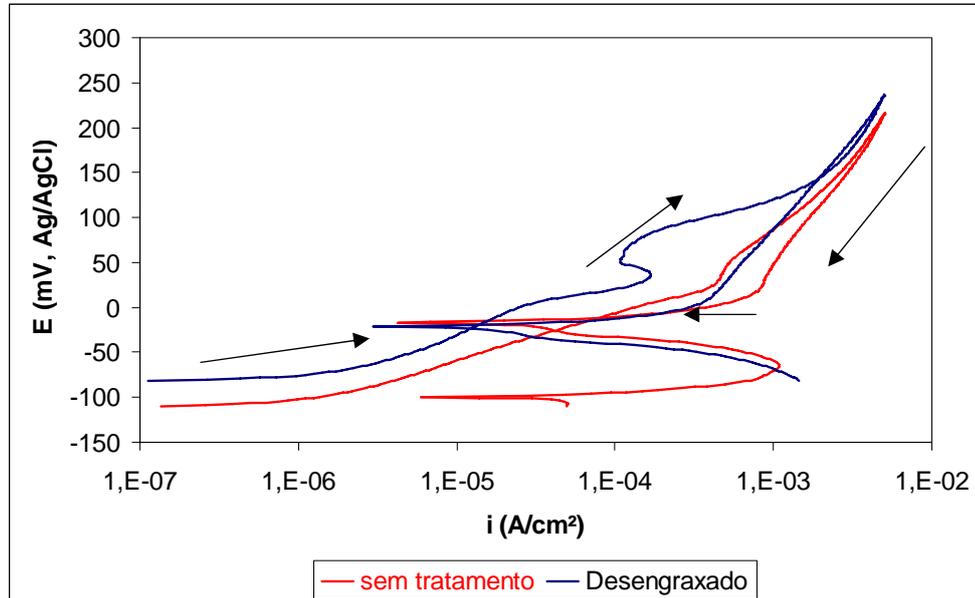


Figura 1. Curvas de polarização para tubos de cobre sem tratamento e desengraxados obtidas em solução 0,12 mol L⁻¹ de NaCl.

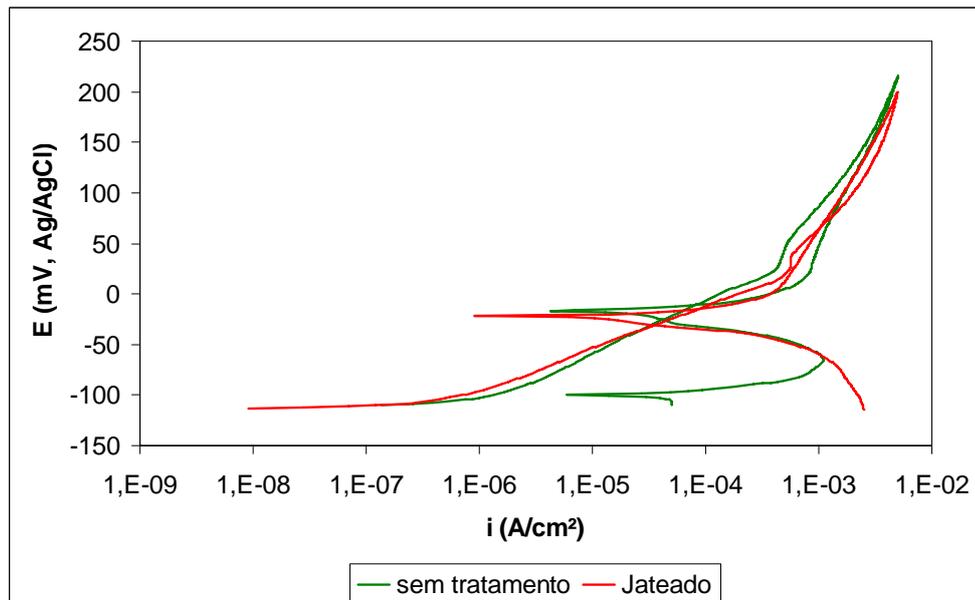


Figura 2. Curvas de polarização potenciodinâmica de tubos de cobre sem tratamento e jateado, obtidas em 0,12 mol L⁻¹ de NaCl.

Tabela 3 – Teor de carbono nos tubos segundo acabamento testado.

Tipo de acabamento	Carbono superficial total (mg/dm ²)	Desvio padrão
Sem tratamento	1,3	±0,1
Jateado	0,133	±0,016
Desengraxado	0,055	±0,010

Segundo Cahoon (13), a diferença entre o potencial crítico de quebra do filme passivo e o potencial de proteção ($E_{br} - E_p$), ou seja, a área da histerese formada na curva de polarização, representa a capacidade do material se repassivar após passar por um processo de corrosão ativa no interior do pite. Neste trabalho, apresentaram histerese apenas amostras desengraxadas, com menor teor de carbono superficial, sugerindo maior tendência à repassivação para esta condição entre as ensaiadas.

Estes resultados sugerem que o teor de carbono superficial é um fator de grande importância na resistência à corrosão de tubos de cobre, independentemente da forma adotada para a sua remoção da superfície, após o processo de fabricação de tubos.

3.2. Observação da superfície

A observação da superfície após ensaios de polarização permitiu notar ataque localizado no tubo sem tratamento, Figura 3, enquanto nas amostras jateadas ocorreu ataque de forma generalizada sobre toda a superfície ensaiada, Figura 4. Na superfície de todas as amostras ensaiadas foi observada a presença de produtos de corrosão precipitados, os quais foram removidos por limpeza em ultrassom.

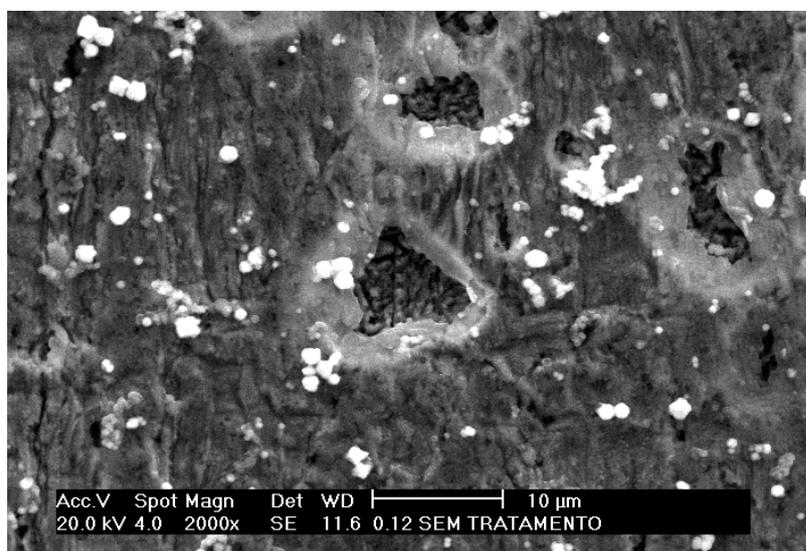


Figura 3. Micrografia da superfície de amostra de tubo sem tratamento após polarização em solução 0,12 mol L⁻¹ de NaCl.

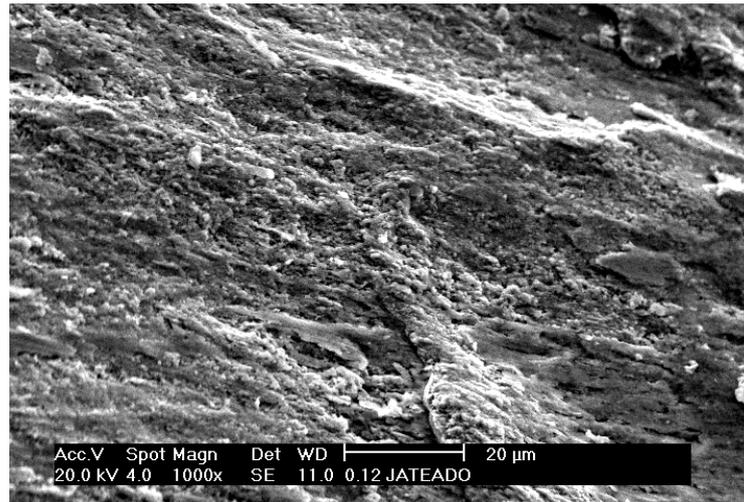


Figura 4. Micrografia da superfície de amostra de tubo jateado após polarização em solução 0,12 mol L⁻¹ de NaCl.

O impingimento da granalha do processo de jateamento elimina as marcas do processo de trefilação e forma sulcos na superfície (Figura 5), que se assemelham com escamas de peixe, os quais desaparecem nas amostras polarizadas (Figura 4). Propõe-se que as mais altas densidades de corrente associadas às amostras jateadas sejam relacionadas à maior rugosidade da superfície destas amostras em relação às associadas aos outros acabamentos testados. Este resultado é confirmado pela literatura (12) que relata aumento da velocidade de corrosão com o aumento da rugosidade no cobre.

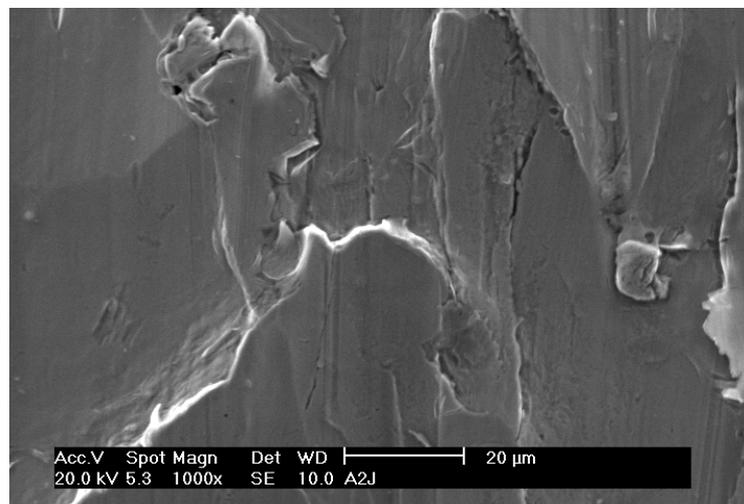


Figura 5. Micrografia da superfície de amostra de tubo jateado antes do ensaio de polarização.

Os resultados do presente trabalho indicam que o teor de carbono superficial de fato afeta o comportamento de resistência à corrosão da superfície interna de tubos de cobre, mas outros fatores, como rugosidade e ativação superficial, originados do tratamento de jateamento para remoção de óleos do processo de fabricação, também afetam a propriedade de corrosão.

Estes resultados, todavia não concordam com os de Fujii (14). Segundo este autor, o carbono residual não tem efeito marcante na resistência à corrosão por pite de tubos de cobre.

3.2 Resultados obtidos no “loop”

3.2.1 Análise Visual

Amostras dos tubos de cobre ensaiados por um ano em um *loop* construído especificamente para ensaios dos tubos em condições mais próximas das de uso, mostraram em suas superfícies internas uma camada de produtos de corrosão de cor esverdeada. A literatura (10) cita que estas camadas de cor esverdeada, na maioria das vezes, são compostas de malaquita. Análise por energia dispersiva (EDS) destes produtos detectou Ca, Cu, O, Si e Al em maiores teores e, em menores teores, os elementos Zn e Fe. O alumínio tem origem no sulfato de alumínio adicionado no tratamento da água, e os elementos silício e cálcio são provenientes da própria água. O zinco e o ferro são oriundos das tubulações das concessionárias fornecedoras de água, que são, na maioria das vezes, de materiais ferrosos galvanizados. Foi possível também visualizar uma camada de produtos de cor marrom/castanha, formada logo abaixo da camada esverdeada, que a literatura classifica como óxido cuproso (15).

Na superfície das amostras desengraxadas foi observada a presença de produtos de corrosão ligeiramente mais porosos que sobre as amostras jateadas. A observação à vista desarmada da superfície interna de todos os tubos ensaiados permitiu notar a ausência de pites na maioria deles, e o desenvolvimento de apenas um pite na superfície de uma das amostras ensaiadas sem tratamento, conforme ilustra a Figura 6.

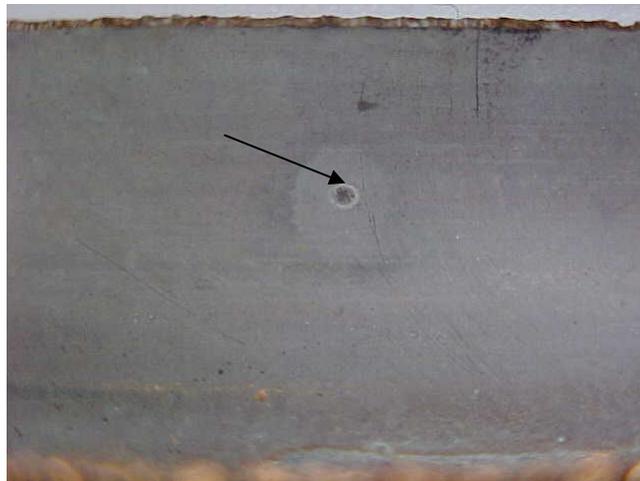
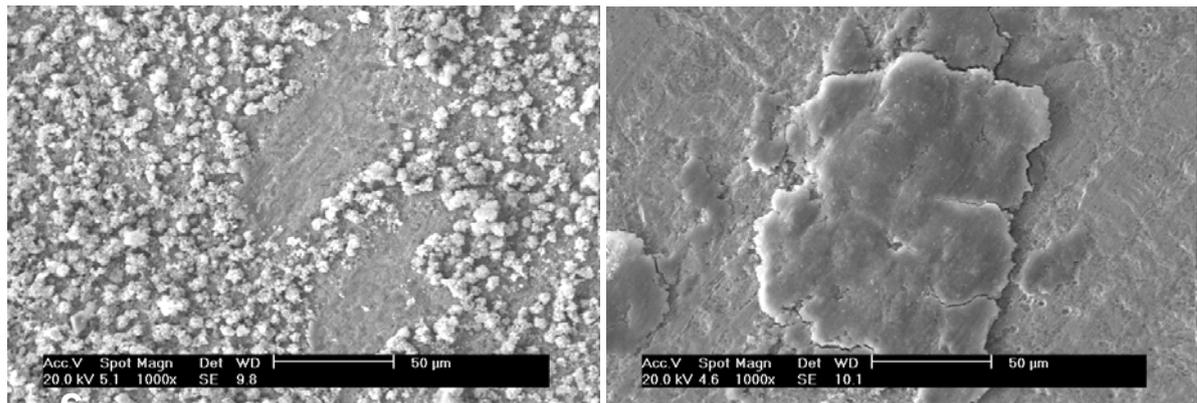


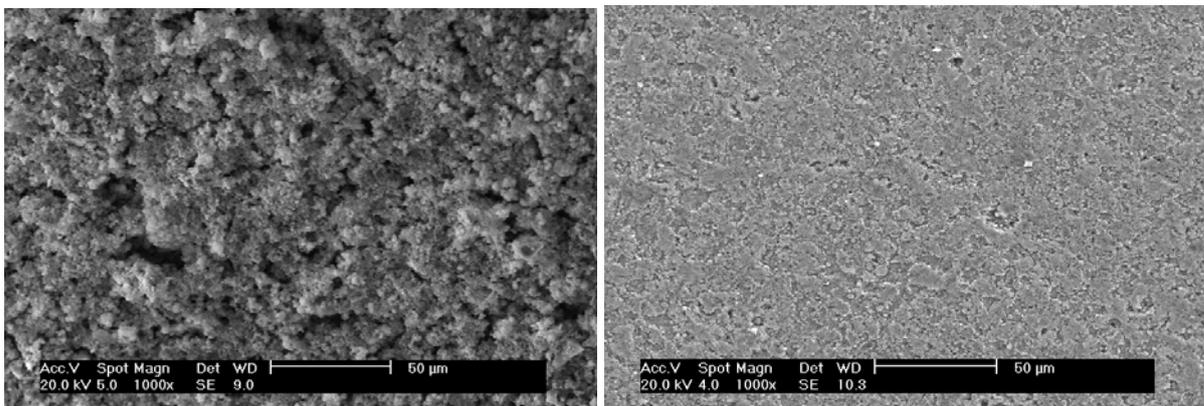
Figura 6 – Pite na superfície interna de amostra de tubo de cobre ensaiado na condição sem tratamento.

3.2.2 Observação das superfícies por MEV

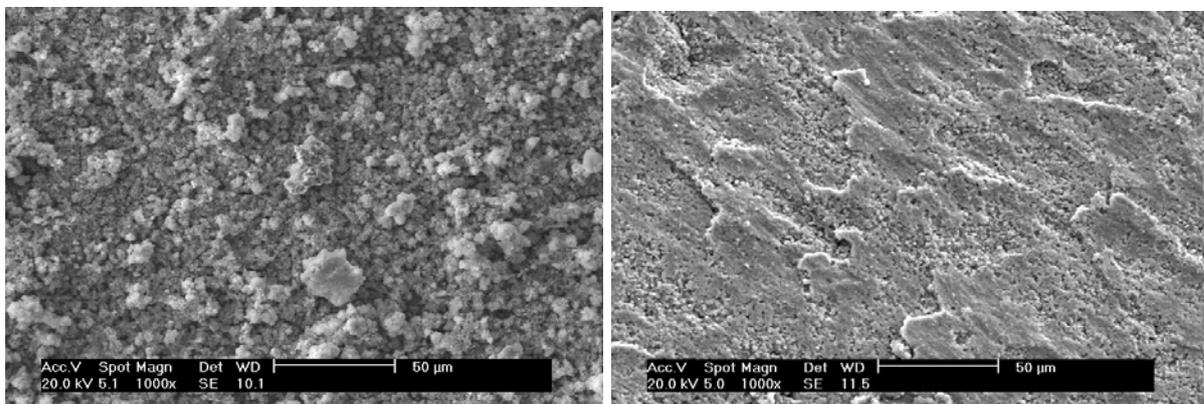
A morfologia dos produtos de corrosão formados durante um ano de exposição às condições descritas no presente trabalho foi analisada por MEV, e estas são mostradas na Figura 7 para amostras antes e após a limpeza ultrasônica.



(a)



(b)



(c)

Figura 7. Morfologia da superfície de tubos de cobre após um ano de ensaio em *loop*, nas condições (a) sem tratamento, (b) desengraxado, e (c) jateado. Micrografias à esquerda correspondem a amostras antes de imersão em banho ultrassônico e, à direita, após imersão.

Os produtos de corrosão formados sobre a amostra sem tratamento apresentaram-se heterogeneamente distribuídos. Nota-se a presença de produtos na forma de placas de grande tamanho e que aparentemente estão prestes a se destacar da superfície, provavelmente devido à presença do óleo resultante do processo de fabricação, dificultando a aderência com o substrato. Melhor distribuição dos produtos de corrosão é observada para amostras desengraxadas, porém a porosidade associada a esta camada resulta em irregularidades também na superfície com formação de cavidades, geralmente rasas. A morfologia dos produtos de corrosão sobre as amostras desengraxadas apresenta maior uniformidade, embora sejam também observadas regiões de defeitos, que devem ser consequência da presença dos

sulcos/ranhas provenientes do processo de trefilação e que acabam afetando a morfologia do produto formado. A morfologia da superfície da amostra jateada mostra uma camada irregular e porosa, com baixa aderência sendo removida durante a limpeza ultrasônica.

Os acabamentos estudados mostraram ter influência também na espessura das camadas de produtos de corrosão formados em suas superfícies. A Figura 8 apresenta micrografias da seção transversal de amostras dos tubos ensaiadas em *loop* por um ano e a Tabela 4, as espessuras estimadas das camadas de produtos de corrosão.

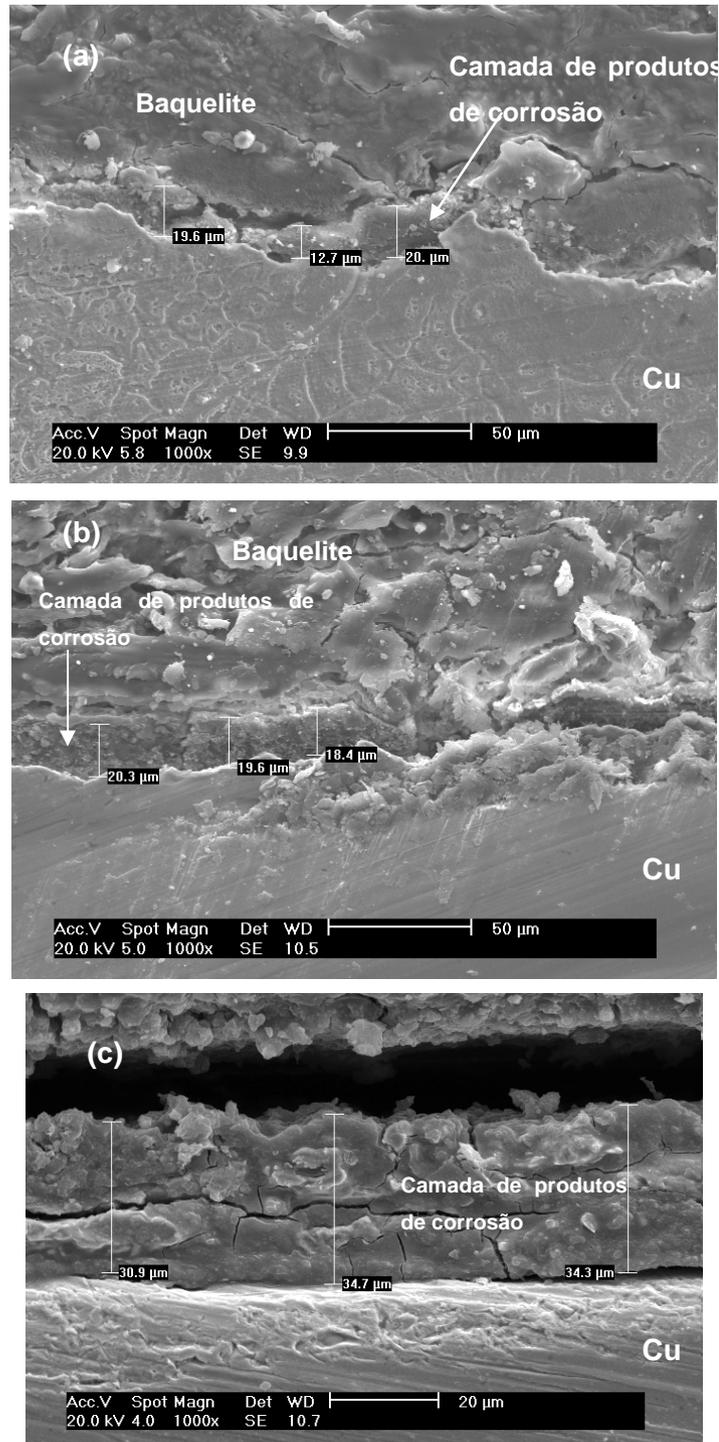


Figura 8 – Micrografias da seção transversal de tubos (a) sem tratamento, (b) jateado, e (c) desengraxado ensaiados em *loop* durante um ano mostrando a camada de produtos de corrosão.

Tabela 4 – Espessuras médias da camada de produtos de corrosão sobre a superfície interna de tubos de cobre com vários acabamentos, formada durante 1 ano de exposição em *loop*.

Tipo de acabamento	Espessura média (μm)
Sem tratamento	(15,7 \pm 4,0)
Jateado	(19,8 \pm 2,4)
Desengraxado	(29,2 \pm 5,1)

Os resultados da Tabela 4 mostram que as maiores espessuras de camada de produtos foram associadas aos tratamentos que também resultaram nos menores teores de carbono total na superfície. Superfícies com sujidades e/ou oleosidades, por sua vez, dificultam o crescimento da camada de produtos superficiais.

Na superfície de amostras ensaiadas na condição sem tratamento foi observado o desenvolvimento de pites, conforme ilustra a Figura 9, sugerindo a maior susceptibilidade à corrosão por pite para este tipo de acabamento superficial.

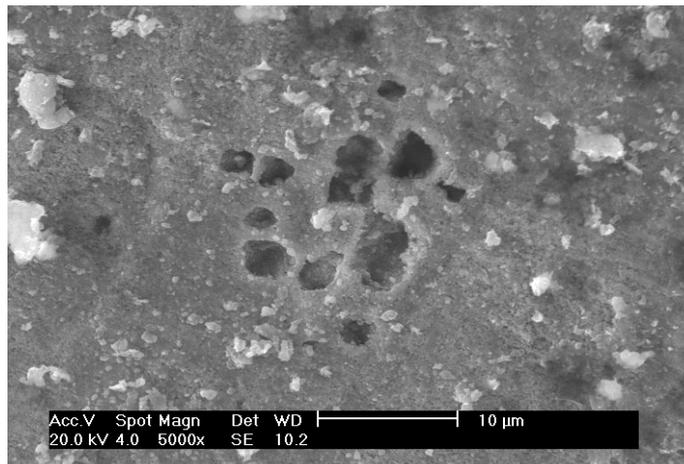


Figura 9 – Pites na superfície de amostra sem tratamento exposta durante 1 ano em *loop*.

Os resultados obtidos, tanto pela análise visual macroscópica quanto pela observação microscópica por MEV, sugerem que as amostras ensaiadas na condição sem tratamento apresentam maior tendência à corrosão por pite entre os tratamentos testados.

A maior rugosidade superficial observada na amostras jateadas interferiu na morfologia da camada de produtos de corrosão, favorecendo o desenvolvimento de produtos de corrosão porosos e, portanto, como menor propriedade de proteção ao substrato. Os resultados indicam que o tratamento de jateamento afeta a resistência à corrosão da superfície interna dos tubos de cobre causando sua diminuição.

Suzuki (16) menciona que a porosidade existente na camada de óxido metálico favorece a concentração de ânions, como por exemplo, de íons cloretos. Estes íons, provenientes da solução, penetram nos poros da camada de óxido e deslocam os íons OH^- e, gradualmente, íons cloretos se acumulam nos poros. Portanto há de ser esperar que a rugosidade gerada por este tratamento leve a criação de poros onde os íons agressivos ao

óxido de cobre, como Cl^- , ficam acumulados. Com o acúmulo dos íons cloreto na camada de produtos de corrosão aumenta-se a instabilidade do filme de óxido cuproso e, dependendo da quantidade destes íons pode ocorrer ataque localizado ou ataque generalizado da superfície.

Os resultados do presente trabalho indicaram o desengraxe como um método apropriado de preparação da superfície dos tubos de cobre para remoção do teor de carbono residual, melhorando a propriedade de resistência à corrosão destes.

4. Conclusões

1. O tipo de acabamento da superfície de cobre tem influência na sua resistência à corrosão. Tratamentos que reduzem o teor de carbono na superfície são benéficos à resistência à corrosão, mas este não é o único fator que afeta a propriedade de corrosão, outras características superficiais introduzidas pelo tratamento da superfície devem também ser consideradas. O tratamento superficial que resultou em maior resistência à corrosão foi o desengraxe, e este também produziu superfícies com menores teores de carbono.
2. O tratamento de jateamento, apesar de causar a redução do teor de carbono na superfície em cerca de dez vezes, mostrou-se prejudicial à resistência à corrosão por produzir aumento da rugosidade superficial e favorecer a formação de camada porosa de produtos de corrosão.

Referências bibliográficas

1. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Tubo de cobre leve, médio e pesado, sem costura, para condução de fluidos – Requisitos, São Paulo, 2007, (NBR 13206).
2. British Standard. Protection of metallic materials against corrosion. Guidance on the assessment of corrosion likelihood in water distribution and storage systems. Influencing factors for copper and copper alloys Brussels, 2004. (BS EN 12502-2).
3. Atlas, D. The Corrosion of copper by chlorinated drinking waters. Water Research, Vol 16, p. 693-698, 1982.
4. Alhajji, J.N.; Reda, M.R. Role of solution chemistry on corrosion of copper in synthetic solutions: effect of bicarbonate ion concentration on uniform and localised attack. British Corrosion Journal, 31, (2), p125-131, 1996.
5. Fernandes, P. J. L. Type I pitting of copper tubes from a water distribution system. Engineering Failure Analysis, v. 5, n. 1, p.35-40, 1998.
6. Pagotto, S.; Panossian, Z., Freitas, S. Corrosão e tubos de cobre utilizados em redes de sprinklers, Tecnologia em Metalurgia e Materiais, v.2, n.1, pg.24-29, 2005.
7. Myers, J.R.; Cohen, A. Soldering Flux-Induced Pitting of Copper Water Lines. Materials Performance, v.33, n.10, pg 62-63, 1994

8. Nuttall, J.L. Corrosion and related aspects of materials for potable water supplies, Londres, The Institute of Materials – I.M., 1993.
9. Mattsson, E; Fredriksson, A.M. Pitting corrosion in copper tube – cause of corrosion and counter-measures. British Corrosion Journal, v. 3, p. 246-257, 09/1968.
10. Campbell, Hector S. A Review: Pitting Corrosion of Copper and its Alloys, Localized Corrosion. NACE. 1971. V.3 p.625 a 643.
11. British Standard. Copper and copper alloys. Combustion method for determination of carbon on the inner surface of copper tubes or fittings, Brussels, 1996. (BS EN 723)
12. Li, W.; Li, D. Y. Influence of surface morphology on corrosion and electronic behavior, Acta Materialia, 54, p. 445-452, 2006.
13. Cahoon, J.R.; Bandyopadhyay, R.; Tennese, L. The concept of protection potential applied to the corrosion of metallic orthopedic implants. Journal of Biomedical Materials Research, v.6, p.259-264, 1975.
14. Fujii, Tetsuo The effect of water quality on pitting corrosion of copper tube in hot soft water, Corrosion Science, v. 24, n. 10, p. 901-912, 1984
15. Pourbaix, M. Atlas of electrochemical equilibria in aqueous solutions. 2. ed. Houston : NACE, 1974
16. Suzuki, I. The pitting corrosion of copper tubes in hot water, Corrosion Science, v. 23, n. 10, pg. 1095-1106, 1983.