

XVIII COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS. IBAPE/MG

NATUREZA DO TRABALHO: PROFISSIONAL

Corrosão em Tubulações em Cobre – Pite (Pitting)

Resumo

Em função de diversos casos periciais e extrajudiciais, com análise de danos encontrados nas tubulações em cobre utilizadas nas edificações, os chamados “pitting” ou furos devido à corrosão no metal são analisados, desde sua situação de formação, estudando-se suas causas, até as medidas profiláticas, para erradicar as patologias identificadas. Esse artigo pretende demonstrar muitos dos problemas identificados nas vistorias e oriundos dessa degradação.

PALAVRAS CHAVE: Tubulação em cobre – Pite - Pitting – Manutenção – Corrosão

INTRODUÇÃO

O cobre e suas ligas são o terceiro metal mais utilizado no mundo. Suas principais características são elevadas condutibilidade térmica e elétrica, além de boa resistência mecânica e grande resistência à corrosão.

O termo “pitting” em tubulações prediais em cobre significa que os tubos sofreram algum tipo de corrosão que perfurou suas paredes, provocando consequentes vazamentos.

Para melhor entender o fenômeno, suas origens e procedimentos para evitar seu surgimento foi desenvolvido o estudo dessas ocorrências.

Para tal, é interessante o conhecimento do material e seu histórico.

HISTÓRICO

O cobre é um dos metais mais antigos em uso pelo homem. Há registros de sua utilização anteriores a 10.000 AC, inclusive com citações na Bíblia (Antigo Testamento fala do filho de Lameque e Zila, “Tubalcaim”, mestre de toda obra em ferro e em cobre, como sendo “aquele que forjava instrumentos em ferro e cobre”).

Em 2.750 AC foi utilizada tubulação em cobre no palácio do Faraó Cheóps.

No antigo Egito, os reservatórios de água potável em cobre passaram a ser utilizados pelos mais abastados.

Há, também, indícios do uso de tubos em cobre na China, antes de 2.000 AC.

De lá para cá, os registros se sucedem, com o uso do cobre e sua aplicação no bronze se sucedendo (fenícios, assírios, caldeus, hebreus, sumérios, persas, cretenses, etc.)

Um local famoso e muito antigo, que tem suas tubulações em cobre funcionando até os dias de hoje são as Termas de Caracalla, nos arredores de Roma, com cerca de 2.000 anos de existência.



Termas de Caracalla - Roma

TUBOS DE COBRE

Os tubos de cobre, hoje em dia, são fabricados por extrusão e são fornecidos em diversas formas, como tubos retos ou em rolos, com grande variedade de diâmetros, para diversos tipos de aplicação.

Alguns dos principais fabricantes de tubos de cobre no Brasil são: Eluma (Paranapanema), Cecil, Coppermetal, Termomecânica, Isotubos e Cobresul, mas existem diversos outros produtores.

O Brasil consome cerca de 8.000 t anuais de tubos em cobre, estando com sua produção próxima ao consumo, embora exporte parcela significativa de sua produção, mas importa outra parcela, quase equivalente em peso, mas com diferença nas características específicas.

Hoje, o Brasil figura entre os 20 maiores produtores mundiais, com cerca de 1,5% da produção (apenas como referência, a China é o maior produtor, com cerca de 30% e o Chile é o segundo produtor, com cerca de 13% da produção mundial).

TUBOS DE COBRE SEM COSTURA



Tubos de cobre com diversos diâmetros – sites Cobresul e Paranapanema.

Os tubos de cobre utilizados em edificações são usualmente sem costura, rígidos, fabricados por extrusão e calibrados por trefilação para ajuste aos padrões comerciais. A produção é disciplinada pela Norma Brasileira da ABNT NBR 13.206 e são produzidos em barras de 2,5 ou 5,0 m. O teor mínimo de pureza do material tem que ser de 99,9% de cobre.

Esses tubos têm características de boa resistência química e à corrosão, superfície que não permite fácil incrustação e tem boa resistência mecânica. Sua vida útil é longa e são recicláveis.

Os tubos de cobre são fabricados com características diferenciadas, em função de seu uso, e conseqüentemente existe variação em seu preço, dependendo de suas características. Existem 3 tipos de tubos:

- Tubos Classe A são fornecidos com tampões plásticos amarelos e sua utilização indicada é para gases medicinais.
- Tubos Classe I, identificados por tampões azuis, tem destinação para indústrias que necessitem tubulações de Alta pressão e vapor.
- Tubos Classe E, identificados por tampões verdes, são indicados para instalações prediais de água quente ou fria, para conduzir gases e para tubulações de combate a incêndio, seja para hidrantes, seja para rede de chuveiros automáticos (sprinklers).



Todos esses tubos são acoplados com conexões por soldagem ou brasagem.

COMPOSIÇÃO QUÍMICA					
LIGA ELUMA		ESP. ASTM CDA	COMPOSIÇÃO %		LIGAS EQUIVALENTE
Nº	DENOMINAÇÃO		Cu	P	EN
122	Cobre Fosforoso DHP	C12200	99,90 mín	0,015 0,040	CR024A

PROPRIEDADES FÍSICAS									
LIGA ELUMA	ESPEC. ASTM CDA	DENSIDADE (g/cm ³)	CONDUTIBILIDADE TÉRMICA a 20°C (kcal/h.m.°C)	CALOR ESPECÍFICO a 20°C (kcal/kg.°C)	RESISTÊNCIA ELÉTRICA a 20°C (micro ohm-cm) (material recozido)	CONDUTIBILIDADE VOLUMÉTRICA a 20°C (% IACS) (material recozido)	COEFICIENTE MÉDIO DE EXPANSÃO TÉRMICA	MÓDULO DE ELASTICIDADE (Kgf/mm ²)	MÓDULO DE RIGIDEZ (Kgf/mm ²)
122	C122000	8,94	292,41	0,092	2,03	80	17,7	8,94	4.500

PROPRIEDADES MECÂNICAS										
LIGA ELUMA	ESPEC. ASTM CDA	TÊMPERA	DIÂMETRO INTERNO mm(in)	ESPESSURA PAREDE mm (in)	LIMITE RESISTÊNCIA (ksi)	LIMITE ESCOAMENTO (ksi)	ALONGAMENTO EM 2" (%)	ROCKWELL ESCALA DUREZA		TAMANHO DO GRÃO (mm)
122	C12200 (DHP)	MOLE (*)	TODAS	TODAS	21,1 (30) MIN	-	40 MIN	15 T	65 MAX	0,40 MAX
		DURO	TODAS	TODAS	31,6 (45) MIN	28,1 (40) MIN	-	30 T	55 MIN	-

Fonte: Site Paranapanema

HIDROLAR		CLASSE E			CLASSE A			CLASSE I		
DIÂMETRO NOMINAL		DIÂMETRO EXTERNO x ESP. PAREDE (mm)	Kg/m	PRESSÃO SERVIÇO KGF/CM ²	DIÂMETRO EXTERNO x ESP. PAREDE (mm)	Kg/m	PRESSÃO SERVIÇO KGF/CM ²	DIÂMETRO EXTERNO x ESP. PAREDE (mm)	Kg/m	PRESSÃO SERVIÇO KGF/CM ²
pol.	mm									
1/2"	15	15 x 0,50	0,203	41,0	15 x 0,80	0,318	69,0	15 x 1,00	0,392	88,0
3/4"	22	22 x 0,60	0,360	34,0	22 x 0,90	0,532	50,0	22 x 1,10	0,644	60,0
1"	28	28 x 0,60	0,460	26,0	28 x 0,90	0,683	40,0	28 x 1,20	0,901	55,0
1 1/4"	35	35 x 0,70	0,673	25,0	35 x 1,10	1,045	40,0	35 x 1,40	1,318	45,0
1 1/2"	42	42 x 0,80	0,923	24,0	42 x 1,10	1,261	35,0	42 x 1,40	1,593	42,0
2"	54	54 x 0,90	1,339	21,0	54 x 1,20	1,775	28,0	54 x 1,50	2,206	34,0
2 1/2"	66	66,7 x 1,00	1,839	20,0	66,7 x 1,20	2,200	24,0	66,7 x 1,50	2,737	28,0
3"	79	79,4 x 1,20	2,627	19,0	79,4 x 1,50	3,271	24,0	79,4 x 1,90	4,122	27,0
4"	104	104,8 x 1,20	3,480	14,0	104,8 x 1,50	4,337	18,0	104,8 x 2,00	5,755	20,0

Fonte: Site Paranapanema

Na construção civil os tubos de cobre são utilizados em sistemas de água quente e fria, desde 1930 e, nos dias de hoje, também são utilizados em instalações de gás e sistemas de chuveiros. A figura abaixo mostra exemplos das aplicações de tubos de cobre em instalação para água quente e fria; sprinklers; e instalação de gás.



Fotos da aplicação de tubos de cobre

Por apresentar boa resistência à corrosão e propriedades mecânicas desejáveis, o cobre é altamente utilizado na confecção de tubos para condução de água. Entre as suas propriedades mecânicas destacam-se sua excepcional capacidade de deformação e ductilidade, o que facilita a extrusão desses tubos.

A norma ABNT-NBR 13.206-2010 – “Tubos de cobre leve, médio e pesado, sem costura, para condução de fluidos – Requisitos” – prescreve as características das tubulações de cobre usadas em edificações. A seguir algumas das características principais:

4.3 Composição química

A composição química dos tubos deve estar de acordo com a Tabela 7, quando ensaiados conforme ABNT NBR 6366 ou ABNT NBR 15757.

Tabela 7 – Composição química

Valores em porcentagem

Liga	Cobre + prata mínimo	Fósforo	
		Mínimo	Máximo
C12200	99,90	0,015	0,040

4.2.1 Diâmetros e espessuras

O diâmetro externo e a espessura da parede dos tubos devem, em qualquer ponto, estar de acordo com as Tabelas 2, 3 e 4, quando ensaiados conforme a ABNT NBR 15757.

Tabela 2 – Tubo de cobre leve (classe E)

Dimensões em milímetros

Diâmetro externo			Espessura da parede	
Nominal	Mínimo	Máximo	Nominal	Tolerância (±)
10	9,47	9,57	0,50	0,05
15	14,95	15,05	0,50	0,05
22	21,94	22,06	0,60	0,06
28	27,94	28,06	0,60	0,06
35	34,93	35,07	0,70	0,07
42	41,93	42,07	0,80	0,08
54	53,93	54,07	0,90	0,09
66	66,60	66,80	1,00	0,15
79	79,25	79,55	1,20	0,18
104	104,60	105,00	1,20	0,18

- 5.1 Marcação**
- 5.1.1** Os tubos devem ser marcados em baixo relevo e com tinta na cor preta, de forma permanente, clara e legível, com as seguintes informações:
- nome ou marca comercial do fabricante;
 - diâmetro externo nominal e espessura da parede do tubo;
 - classe do tubo (classe E, classe A ou classe I);
 - ano e trimestre da fabricação;
 - número desta norma.

NBR 13.206-2010.

PROCEDIMENTO DE INSTALAÇÃO PREDIAL DE TUBOS DE COBRE

A norma ABNT-NBR 15.345-2013 – “Instalação predial de tubos e conexões de cobre e ligas de cobre – Procedimento” – especifica os requisitos mínimos de montagem e instalação de tubos e conexões usados em instalações prediais de água fria ou quente, ou em instalações comerciais ou industriais.

A NBR 15.345 define soldagem ou solda branda, como a união pelo processo de capilaridade, que utiliza um metal de enchimento com temperatura de fusão inferior a 450 °C.

A brasagem, ou solda forte, é a união pelo processo de capilaridade que utiliza um metal de enchimento com temperatura de fusão superior a 450 °C.

As figuras abaixo apresentam trechos da norma NBR 15.345, com particularidades dos tipos de instalação e limpeza:

5.4 Particularidades dos tipos de instalação

5.4.1 Instalações hidráulicas prediais

5.4.1.1 Para as instalações hidráulicas previstas nesta Norma, devem ser verificadas as características de potabilidade da água conforme regulamentações legais aplicáveis do Ministério da Saúde.

5.4.1.2 Deve ser evitada a utilização de águas poluídas ou ácidas que possam ser agressivas ou corrosivas nas instalações hidráulicas.

5.4.2 Instalações prediais de água quente

5.4.2.1 Nas instalações prediais de água quente, deve ser aplicado isolante térmico, com o objetivo de favorecer a dilatação do tubo e evitar a transmissão e a perda de calor ao meio externo.

5.4.2.2 A tubulação não pode estar travada ou engastada em elemento estrutural (fundação, laje, coluna ou viga), parede de alvenaria, contrapiso de argamassa ou outro local de instalação que impeça movimentos de dilatação.

5.4.2.3 Para trechos retos superiores a 10 m, deve ser previsto dispositivo para absorver a dilatação, como juntas de expansão e liras.

5.5 Limpeza da tubulação

5.5.1 A limpeza deve ser sempre realizada ao término da montagem da tubulação

5.5.2 Nas instalações prediais de água e proteção contra incêndio, recomenda-se a lavagem da tubulação para retirar impurezas e excessos de materiais procedentes da soldagem (fluxo e solda) e da montagem de conexões (elementos de vedação) que possam ter permanecido em seu interior.

5.5.3 A lavagem da tubulação é realizada por circulação de água limpa por toda a tubulação, com pressão mínima de 9 m de coluna d'água, deixando circular a água até que ela apresente aparência livre de sujeira e materiais impróprios.

5.5.4 Caso o sistema não entre em operação, esgotar a água da tubulação até a sua efetiva utilização.

FORMAS DE CORROSÃO

Há uma grande variedade de tipos de corrosão, sendo que os mais comuns são:

- A) Corrosão generalizada:** quando toda a região do metal sofre corrosão uniforme. Este tipo de corrosão provoca perda de espessura do tubo;

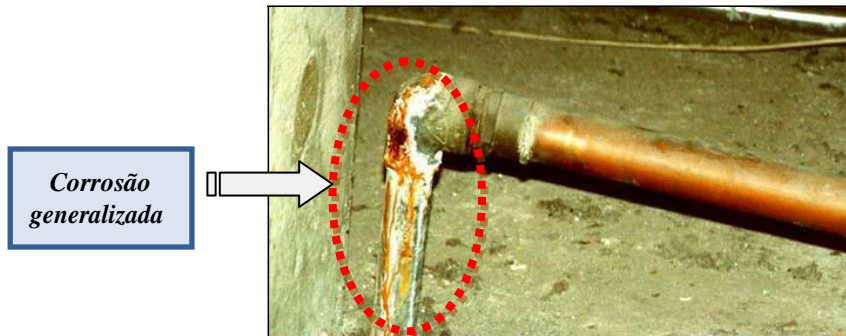
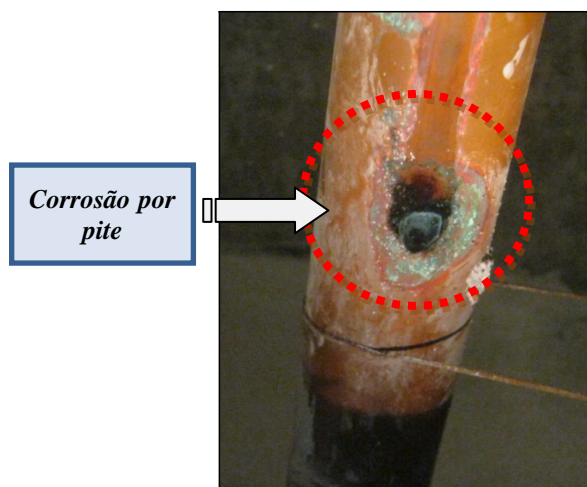


Foto de tubulação de cobre em processo de corrosão.

- B) Corrosão por pite:** trata-se de corrosão localizada, podendo ocorrer a perfuração no local onde o processo se manifesta;



- C) Corrosão galvânica:** ocorre pela formação de diferencial galvânico entre materiais distintos;
- D) Corrosão por erosão:** dependendo da velocidade de escoamento da água, pode danificar a camada protetora que se forma nos metais, dando início ao processo de corrosão.

PROTEÇÃO CONTRA CORROSÃO

As formas mais comuns de proteger os metais contra a corrosão são:

- Corrigir o pH da água, preservando sua potabilidade;
- Usar catalisadores que modificam as características da água, tornando-a estável;
- Aplicar revestimentos protetores.

CORROSÃO EM TUBULAÇÕES PREDIAIS DE ÁGUA

A ABNT-NBR 5626:1998 – “Instalação predial de água fria” – estabelece exigências e recomendações relativas ao projeto, execução e manutenção das instalações prediais de água fria. Sobre as normas e o padrão de potabilidade da água, a Portaria nº 36, 19.01.1990 do Ministério da Saúde estabelece os parâmetros. NBR 7198-1993 – “Projeto e execução de instalações prediais de água quente” – estabelece as prescrições quanto à higiene, à segurança, que as instalações prediais de água quente devem ter.

A NBR 5626 afirma que a corrosão, o envelhecimento e a degradação são fenômenos que merecem particular atenção, tendo em vista as consequências que acarretam nas instalações prediais de água. Esses fenômenos são extremamente complexos, devido à quantidade de fatores que influenciam para que eles ocorram. Nos metais, a corrosão é um processo de transformação em decorrência de reações de natureza química ou eletroquímica entre esses e o meio ambiente, constituindo, em muitos casos, na regressão natural dos metais para a forma de compostos mais estáveis.

A maioria dos metais e de suas ligas é, portanto, susceptível, em maior ou menor extensão, a alguma forma de corrosão e, dependendo de diversos fatores, esta transformação pode ser mantida a uma velocidade quase nula.

Nos tubos de cobre ocorre uma oxidação uniforme, pois na presença de oxigênio dissolvido, desenvolve-se na superfície interna, uma película protetora contínua e aderente, constituída basicamente de óxido cuproso, que age como uma barreira entre o metal e o meio de exposição (água). No entanto, se essa barreira apresentar descontinuidades ou se suas características protetoras não puderem ser mantidas, o cobre pode sofrer corrosão generalizada ou localizada. Nesse último caso, a corrosão por pite constitui uma das formas mais comuns de ataque localizado do cobre em contato com a água.

A presença de resíduos na superfície interna das tubulações pode ser causadora de problemas de corrosão. Outra causa pode ser o excesso de fluxo de solda. Uma vez iniciado o processo de corrosão, o oxigênio dissolvido na água ou o ácido clorídrico no interior do pite aceleram o processo de perfuração.

A norma ASTM B 828-2000 determina que o fluxo de solda deve ser aplicado com pincel na forma de uma fina camada. Na prática, é comum a imersão da ponta do tubo a ser soldado no fluxo de solda, o que acarreta um excesso de fluxo retido na tubulação após soldagem. Ao ser aquecido, esse fluxo escorre pelo interior do tubo, criando uma série de pites. Dessa forma, é possível identificar os pites oriundos por excesso de fluxo de solda.

5.1.1.3 Aplicação do fluxo

Aplicar uma camada fina e uniforme de fluxo com um pincel no tubo e na bolsa da conexão imediatamente após a limpeza (ver Figuras 28 e 29). Não se pode aplicar o fluxo com os dedos.

NOTA Os produtos químicos no fluxo são potencialmente prejudiciais se levados aos olhos ou feridas abertas.



Figura 28 – Aplicação de fluxo no tubo



Figura 29 – Aplicação de fluxo na bolsa

A aplicação do fluxo é necessária para eliminar impurezas ainda existentes após realização da limpeza, com o objetivo de melhorar a aderência da solda.

Devem ser utilizados fluxos removíveis em água, de forma a permitir que o excesso de fluxo interno à tubulação seja facilmente removido. Os fluxos devem ser conforme ASTM-B813 e ABNT NBR 15489.

Forma adequada de aplicação de fluxo de solda – NBR 15.345-2013

Uma circulação eficiente da água poderá contrapor a ação nociva do fluxo em excesso. Para tal, a norma ASTM B 813, que trata das características dos fluxos de solda, especifica que seu resíduo deve ser lavável e não corrosivo. Para verificar essa agressividade, recomenda a realização de um ensaio específico. Assim, considerando o grande número de fluxos de solda à venda no mercado, é possível buscar, dentre eles, um fluxo com características menos agressivas.

Ressalta-se que o fluxo de solda nem sempre é o causador da corrosão. Qualquer sujidade presente no interior da tubulação também pode impedir a formação de uma camada uniforme de produtos de corrosão do cobre de caráter protetor.

Portanto, a resistência à corrosão dos tubos de cobre em água potável está diretamente relacionada com a formação de uma camada uniforme de produtos de corrosão insolúveis. Se a água não for capaz de formar produtos de corrosão insolúveis, o cobre pode sofrer intensa corrosão generalizada. Se, por outro lado, a água for capaz de formar produtos de corrosão insolúveis, o cobre poderá apresentar um excelente desempenho, se a camada formada for compacta e uniforme, ou poderá apresentar corrosão localizada por pite, se a camada formada não for compacta e uniforme e/ou se essa camada sofrer danificação localizada. De acordo com a literatura, as características da água devem ser consideradas em função do tipo de corrosão. Assim, os parâmetros considerados para a ocorrência de corrosão generalizada são diferentes dos parâmetros correlacionados com a corrosão por pite. Também se deve levar em conta a temperatura da água, se é fria ou quente. Para o caso de corrosão generalizada e corrosão por pite em água quente, existe um consenso sobre os parâmetros a serem considerados para verificar a agressividade da água, como a temperatura, por exemplo, que acelera o processo de corrosão, pois aumenta a velocidade das reações. No entanto, há controvérsias sobre os parâmetros a serem considerados quando a corrosão é por pite em água fria. Na realidade, a principal razão da ocorrência de corrosão por pite em água fria está relacionada com o estado da superfície do cobre antes de entrar em contato com a água. Sujidades presentes, provenientes do

processo de instalação da tubulação de cobre, tais como resíduos de material de construção e metal e fluxo de solda, agem como agentes que impedem a formação de uma camada com características protetoras. Isso significa que uma mesma água pode determinar a corrosão por pite em uma tubulação e não em outra.

SOLDAS

A ABNT-NBR 15489 – “Soldas e fluxos para união de tubos e conexões de cobre e ligas de cobre – Especificação” – especifica requisitos exigíveis para a fabricação e aquisição de soldas e fluxos para união de tubos e conexões de cobre e ligas de cobre. Ainda, para união por soldagem ou brasagem capilar de tubos e conexões de cobre. Seguem trechos em destaque dessa norma:

3.6

fluxo

substância quimicamente ativa utilizada para remover óxidos da área de união e evitar nova oxidação durante o processo de aquecimento, de forma a garantir que o metal de enchimento (solda) molhe toda a superfície a ser unida

4.2 Fluxos

4.2.1 Material

4.2.1.1 O fluxo de solda deve se manter ativo na faixa de temperatura da operação de solda, removendo e eliminando a oxidação na união das peças.

4.2.1.2 Os materiais estabelecidos nesta Norma devem ser utilizados com as soldas definidas em 5.1, bem como as mais recentes soldas desenvolvidas para a utilização nas aplicações definidas para esta Norma.

4.2.1.3 O fluxo deve permitir que a solda se espalhe adequadamente na superfície que está sendo soldada.

4.2.1.4 Os resíduos de fluxo devem ser laváveis em água após os trabalhos de soldagem.

4.2.1.5 O fluxo não pode liberar gases tóxicos durante o processo de soldagem.

Processo de Soldagem

Observe com atenção a sequência do processo de soldagem do tipo branda e siga as recomendações para garantir perfeita estanqueidade e resistência igual ou maior que a resistência do próprio tubo.

1. Corte o tubo no esquadro. Escoeire o tubo e tire as rebarbas.



2. Limpe a bolsa da conexão e a ponta do tubo com material abrasivo, tipo escova de fio, lixa para metal, esponja abrasiva fina ou palha de aço, retirando a oxidação da superfície. Cuidado para não desbastar ou arranhar as partes a serem soldadas.



4. Aplique a chama sobre a conexão para aquecer o tubo e a bolsa da conexão, até que a solda derreta quando colocada na união do tubo com a conexão.



5. Retire a chama e alimente com solda sem chumbo ELUMA (97% Sn x 3% Cu), um ou dois pontos, até ver a solda correr em volta da união. A quantidade correta de solda é aproximadamente igual ao diâmetro da conexão: 28mm de solda para uma conexão de 28mm. Obs.: A aplicação de solda é feita somente para conexões sem anel de solda.



Recomendações

1. O roteiro ao lado descreve o processo de soldagem do tipo de branda, com liga de estanho x cobre (97% Sn x 3% Cu), para conexões sem anel de solda. As conexões com anel de solda possuem um anel interno com estanho na quantidade exata para soldagem, tornando-se desnecessária a aplicação de solda externa para complemento.
2. Consulte a tabela de quantidades aproximadas de solda e pasta para orientação do consumo necessário destes materiais.
3. A utilização da pasta é necessária para as conexões com e sem anel de solda.
4. Não resfriar com pano úmido ou água ao término da soldagem. O resfriamento deve ser natural, em temperatura ambiente.
5. Não executar a soldagem com presença de água no interior do tubo.
6. Evite o aquecimento excessivo das peças para não ocorrer a perda da pasta por evaporação, durante a soldagem.
7. Para soldagem da União cod. 733 de 66 a 104mm, desmontar e remover o anel interno de borracha, antes de executar a soldagem e retorná-lo antes de finalizar a instalação.
8. Ao término da instalação, execute o teste de estanqueidade seguido da lavagem interna na tubulação.

3. Com o pincel, aplique a pasta específica para soldagem de tubos e conexões de cobre na ponta do tubo e na bolsa de conexão, de modo que as partes a serem soldadas fiquem revestidas por uma fina camada da pasta. Evite o excesso de pasta. Encaixe o tubo na conexão para soldar.



Obs.: Após a aplicação da pasta não ultrapasse o período de 30 minutos para realizar a soldagem.

6. Remova imediatamente o excesso de solda e pasta com um pano seco enquanto a solda ainda permitir, deixando um filete em volta da união.



9. Utilize somente tubos e conexões do mesmo fabricante, pois o correto ajuste entre o tubo e a conexão é fundamental para a perfeita soldagem, que se dá pelo fenômeno físico da capilaridade. Peças de diferentes fabricantes, podem não oferecer uma soldagem adequada entre as partes.
10. Para soldagem do tipo brasagem (Foscooper ou Prata), seguir os procedimentos dos fabricantes dessas soldas e usar somente conexões sem anel de solda.
11. Utilizar pasta específica para soldagem de tubos e conexões de cobre e solda sem chumbo fornecidas pela Paranapanema.

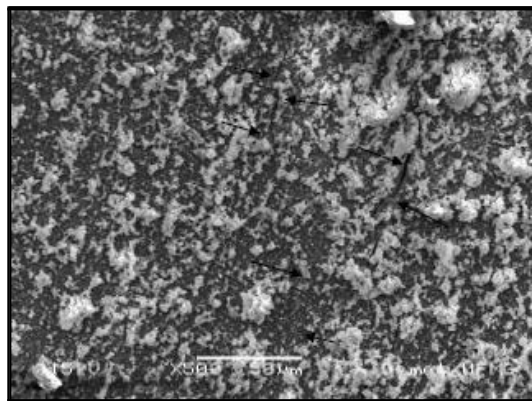
Fonte: Catálogo da Paranapanema

ENSAIOS PARA VERIFICAÇÃO DA CORROSÃO EM TUBULAÇÕES DE COBRE

Utiliza-se o microscópio eletrônico de varredura (MEV), que permite aumentos de mais de 300.000 vezes. Ele fornece informações sobre a morfologia e identificação de elementos químicos em uma amostra sólida. Outra característica importante do MEV é a aparência tridimensional da imagem das amostras.

A) Microanálise por Energia Dispersiva

A microanálise é um dos mais importantes instrumentos para a análise química de materiais orgânicos e inorgânicos. Pelo uso da identificação dos raios-X emitidos pela amostra, quando da interação com o feixe eletrônico, é possível determinar a composição de regiões com até 1 μm de diâmetro. É uma técnica não destrutiva, podendo determinar quantidades de até 1% dos elementos presentes na amostra. A detecção dos raios-X emitidos pela amostra pode ser realizada tanto pela medida de sua energia (EDS) como do seu comprimento de onda (WDS).



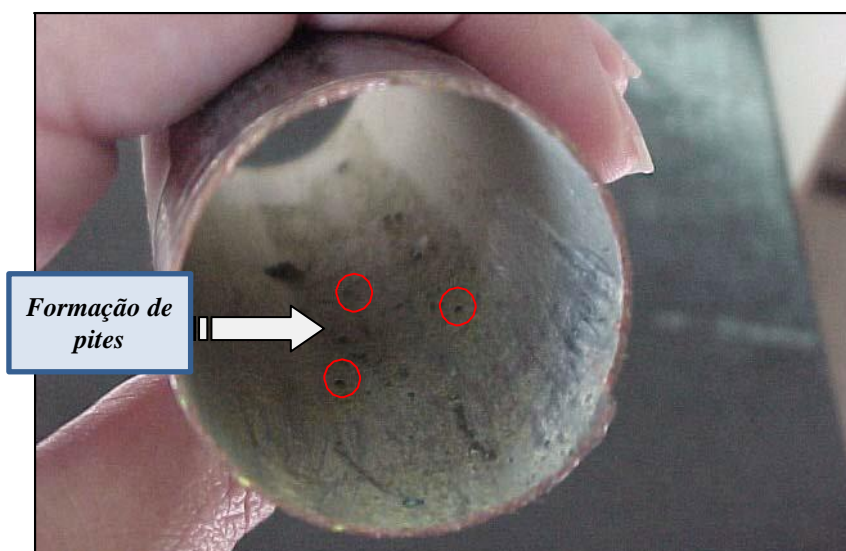
Exemplo de imagem formada no EDS: produtos de corrosão, na face interna do tubo de cobre
Fonte: NASCIMENTO, MANSUR E MANSUR (2007).

As vantagens do ensaio de microanálise é a possibilidade de determinar a composição química a nível micrométrico sem que a incidência do feixe de elétrons sobre a amostra cause a sua destruição. Dessa forma a amostra pode ser posteriormente reexaminada usando a microscopia ótica ou outras técnicas. Novos exames podem ser realizados, tais como a medida de microdureza.

B) Estudos sobre corrosões em tubulações de cobre

Nos estudos realizados por PAGOTTO JÚNIOR, PANOSSIAN E FREITAS (2005) verifica-se que a ocorrência de corrosão localizada na superfície interna da tubulação de cobre pode ser causada por falta de circulação de água na rede, presença de sujidades no interior da tubulação ou pelo uso de fluxo de solda em excesso.

Nos ensaios metalográficos apresentados¹ que foram realizados em tubulações de rede de sprinklers foram constatadas altas concentrações de oxigênio, cobre, alumínio, silício, enxofre, chumbo, cloro, cálcio e zinco, sendo destacados o cloro e o zinco, provavelmente oriundos do fluxo de solda utilizado na soldagem da tubulação, pois é comum a adição de cloreto de zinco e amônia em fluxos de solda. Foram realizadas também análises por difratometria de raios X, na superfície interna da tubulação, que apresentava corrosão. Foram constatados óxidos de cobre I e II, carbonato de cálcio e cloreto básico de cobre. O carbonato de cálcio foi associado à carbonatação do hidróxido de cálcio (presente no cimento), cuja presença foi devida a resíduos deixados no interior dos tubos durante sua instalação. A presença de cloreto de cobre foi atribuída à reação do material do tubo com o cloreto presente no fluxo de solda.



Superfície interna da amostra - NASCIMENTO, MANSUR E MANSUR (2007).

POTABILIDADE DA ÁGUA

A ABNT-NBR 5626-1998 faz referência à Portaria nº 36, de 19 de janeiro de 1990, do Ministério da Saúde para referenciar o padrão de potabilidade da água usada nas tubulações. Entretanto, essa Portaria foi substituída pela de nº 2.914 – “Controle e Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano e seu Padrão de Potabilidade”, de 12 de dezembro de 2011, também do Ministério da Saúde. Essa última estabelece os critérios descritos a seguir:

Art. 37º. A água potável deve estar em conformidade com o padrão de substâncias químicas que representam risco à saúde e cianotoxinas, expressos nos Anexos VII e VIII e demais disposições desta Portaria.

¹ PAGOTTO JÚNIOR, Oswaldo Pagotto, Sebour PANOSSIAN e Sílvia Verina Neves de FREITAS. Corrosão em tubos de cobre utilizados em rede de sprinklers. Tecnologia em Metalurgia e Materiais, São Paulo, v.2, n.1, p. 24-29, jul-set. 2005

Parâmetro	CAS ⁽¹⁾	Unidade	VMP ⁽²⁾
AGROTÓXICOS (continuação)			
Glifosato + AMPA	1071-83-6 (glifosato) 1066-51-9 (AMPA)	µg/L	500
Lindano (gama HCH) ⁽⁴⁾	58-89-9	µg/L	2
Mancozebe	8018-01-7	µg/L	180
Metamidofós	10265-92-6	µg/L	12
Metolaclo	51218-45-2	µg/L	10
Molinato	2212-67-1	µg/L	6
Parationa Metilica	298-00-0	µg/L	9
Pendimentalina	40487-42-1	µg/L	20
Permetrina	52645-53-1	µg/L	20
Profenofós	41198-08-7	µg/L	60
Simazina	122-34-9	µg/L	2
Tebuconazol	107534-96-3	µg/L	180
Terbufós	13071-79-9	µg/L	1,2
Trifluralina	1582-09-8	µg/L	20
DESINFETANTES E PRODUTOS SECUNDÁRIOS DA DESINFECÇÃO ⁽⁵⁾			
Acidos haloacéticos total	⁽⁶⁾	mg/L	0,08
Bromato	15541-45-4	mg/L	0,01
Clorito	7758-19-2	mg/L	1
Cloro residual livre	7782-50-5	mg/L	5
Cloraminas Total	0599-903	mg/L	4,0
2,4,6 Triclorofenol	88-06-2	mg/L	0,2
Trihalometanos Total	⁽⁷⁾	mg/L	0,1
NOTAS:			
(1) CAS é o número de referência de compostos e substâncias químicas adotado pelo Chemical Abstract Service.			
(2) Valor Máximo Permitido.			

Anexo VII à portaria nº 2.914 do Ministério da Saúde.

Art. 39º. A água potável deve estar em conformidade com o padrão organoléptico de potabilidade expresso no Anexo X a esta Portaria.

§ 1º Recomenda-se que, no sistema de distribuição, o pH da água seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5.

§ 2º Recomenda-se que o teor máximo de cloro residual livre em qualquer ponto do sistema de abastecimento seja de 2 mg/L.

Portaria nº 2.914 do Ministério da Saúde.

§ 4º Para os parâmetros ferro e manganês são permitidos valores superiores ao VMPs estabelecidos no Anexo X desta Portaria, desde que sejam observados os seguintes critérios:

I - os elementos ferro e manganês estejam complexados com produtos químicos comprovadamente de baixo risco à saúde, conforme preconizado no art. 13 desta Portaria e nas normas da ABNT;

II - os VMPs dos demais parâmetros do padrão de potabilidade não sejam violados;
e

III - as concentrações de ferro e manganês não ultrapassem 2,4 e 0,4 mg/L, respectivamente.

Portaria nº 2.914 do Ministério da Saúde.

ANEXO X			
Tabela de padrão organoléptico de potabilidade			
Parâmetro	CAS	Unidade	VMP ⁽¹⁾
Alumínio	7429-90-5	mg/L	0,2
Amônia (como NH ₃)	7664-41-7	mg/L	1,5
Cloreto	16887-00-6	mg/L	250
Cor Aparente ⁽²⁾		uH	15
1,2 diclorobenzeno	95-50-1	mg/L	0,01
1,4 diclorobenzeno	106-46-7	mg/L	0,03
Dureza total		mg/L	500
Etilbenzeno	100-41-4	mg/L	0,2
Ferro	7439-89-6	mg/L	0,3
Gosto e odor ⁽³⁾		Intensidade	6
Manganês	7439-96-5	mg/L	0,1
Monoclorobenzeno	108-90-7	mg/L	0,12
Sódio	7440-23-5	mg/L	200
Sólidos dissolvidos totais		mg/L	1000
Sulfato	14808-79-8	mg/L	250
Sulfeto de hidrogênio	7783-06-4	mg/L	0,1
Surfactantes (como LAS)		mg/L	0,5
Tolueno	108-88-3	mg/L	0,17
Turbidez ⁽⁴⁾		uT	5
Zinco	7440-66-6	mg/L	5
Xilenos	1330-20-7	mg/L	0,3

NOTAS:

(1) Valor máximo permitido.
(2) Unidade Hazen (mgPt-Co/L).
(3) Intensidade máxima de percepção para qualquer característica de gosto e odor com exceção do cloro livre, nesse caso por ser uma característica desejável em água tratada.
(4) Unidade de turbidez.

Anexo X à portaria nº 2.914 do Ministério da Saúde.

DUREZA DA ÁGUA

A Dureza da água é a propriedade que decorre da presença de metais alcalinos terrosos, sendo o cálcio (Ca) e o magnésio (Mg) os principais elementos presentes nas águas naturais. Desta maneira, medindo-se os teores de Ca e Mg, pode-se identificar os níveis de dureza. A corrosão é o principal fator a ser combatido quando a água de um determinado sistema apresenta níveis de dureza elevados, sendo proveniente das incrustações promovidas pela deposição dos carbonatos de cálcio e hidróxido de magnésio nas tubulações do sistema. Localizada abaixo das incrustações, é possível encontrar corrosão localizada, provenientes do desenvolvimento de células de aeração diferencial.



Tubulação em cobre sem problemas de vazamentos.



Tubo “CLASSE E NBR 13206 – SEM COSTURA”, tubo com sujidades.

CASO PRÁTICO

Edifício residencial multifamiliar, entregue em 2003, com instalações executadas com canos de cobre para tubulação de água, cujo fabricante foi a Paranapanema.

As patologias surgiram a partir do oitavo ano de uso normal da edificação, gerando vazamentos nas tubulações de água. O Edifício possui tubulações distintas de cobre, uma destinada à condução de água fria e outra para água quente, sendo que os vazamentos mais significativos foram observados na tubulação para água fria.

Foram realizadas várias análises nas tubulações, chegando à conclusão de que o início do processo de corrosão por pitting estava relacionado à impregnação dos resíduos do fluxo/pasta utilizado no processo de soldagem dos tubos as conexões, acentuado com os índices de corrosividade encontrados nas amostras d'água, associado aos resíduos provenientes das operações de manuseio, estocagem, instalação e soldagem.

Foram realizadas inspeções visuais; e analisadas a microestrutura das amostras para verificar a condição do metal ou liga, por meio de ensaios metalográficos, microscopia eletrônica de varredura acoplada com microsonda e ensaio de microdureza Vickers. Considerou-se, na análise, o metal (cobre), o fluido (meio aquoso, água e eletrólitos), juntas e conexões (metal de solda, resíduos e compostos fluxantes). As conclusões foram as seguintes:

Sobre o material das tubulações, as análises químicas realizadas por EDS permitiram assegurar que se trata de cobre com pureza comercial, superior a 99,5% em peso. Foram detectados os elementos químicos: P, O, Pb, Zn e o próprio cobre;

Os pontos de vazamento verificados nos tubos avaliados correspondem a pites do tipo I, perfurados predominantemente do interior do tubo para a superfície externa, com características usualmente associadas a mecanismo de corrosão em água fria;

No caso em estudo, foi identificada a presença de corrosão e pites perfurantes associados com regiões próximas a conexões, com aparência de uso excessivo de agentes fluxantes na soldagem, juntamente com “escorrimientos” típicos de resíduos da pasta de soldagem. Análises químicas e composicionais evidenciaram a presença de cloro na superfície do tubo, que é usualmente utilizado nos constituintes quimicamente ativos do fluxo de solda no processo de corrosão. Identificaram-se também resíduos orgânicos similares aos verificados no material da solda, indicando a presença de fluxo de solda em diversos

pontos avaliados na tubulação. No Certificado de Garantia do fabricante, disponível no site, existe a seguinte recomendação:

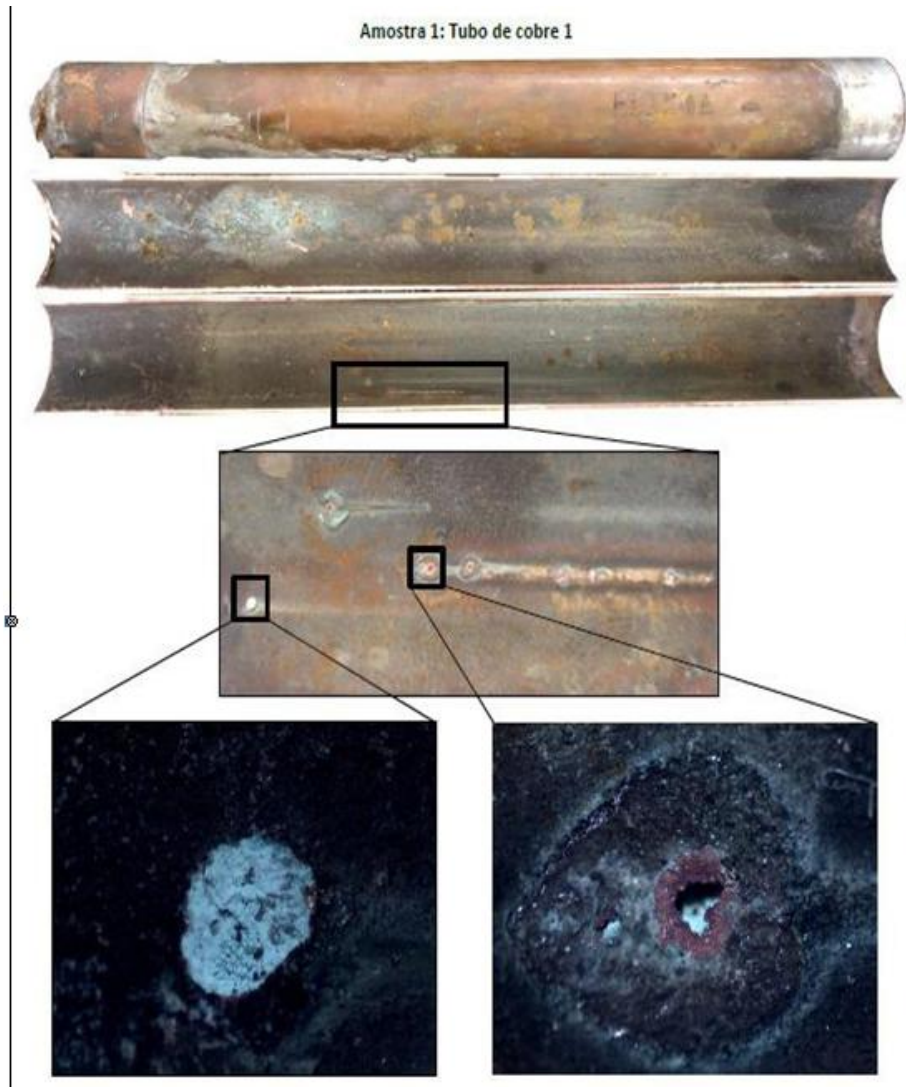
“Deverá ser feita, ao término da montagem, em instalações de água e combate a incêndio, para retirar de seu interior, as impurezas e excessos de outros materiais procedentes da soldagem, como por exemplo, pasta e solda; após teste hidráulico, circular água durante três dias em períodos de duas horas”.

A composição química da água (meio) conduzida pela tubulação também pode favorecer ou desfavorecer a ocorrência de pites perfurantes. O grau de “agressividade” (química) da água depende dos íons e gases dissolvidos, dos sólidos em suspensão e do metal de base dos tubos. No entanto, para os processos de corrosão do cobre em água fria não foi possível formular um consenso na ampla literatura consultada sobre os parâmetros recomendados. Contudo, em um âmbito geral, as seguintes variáveis são utilizadas para caracterizar águas agressivas causadoras de pites: pH entre 7,2 e 7,8, elevado teor de CO₂ (> 10 ppm), elevado teor de sólidos dissolvidos, incluindo cloretos e sulfatos e a presença de oxigênio dissolvido.

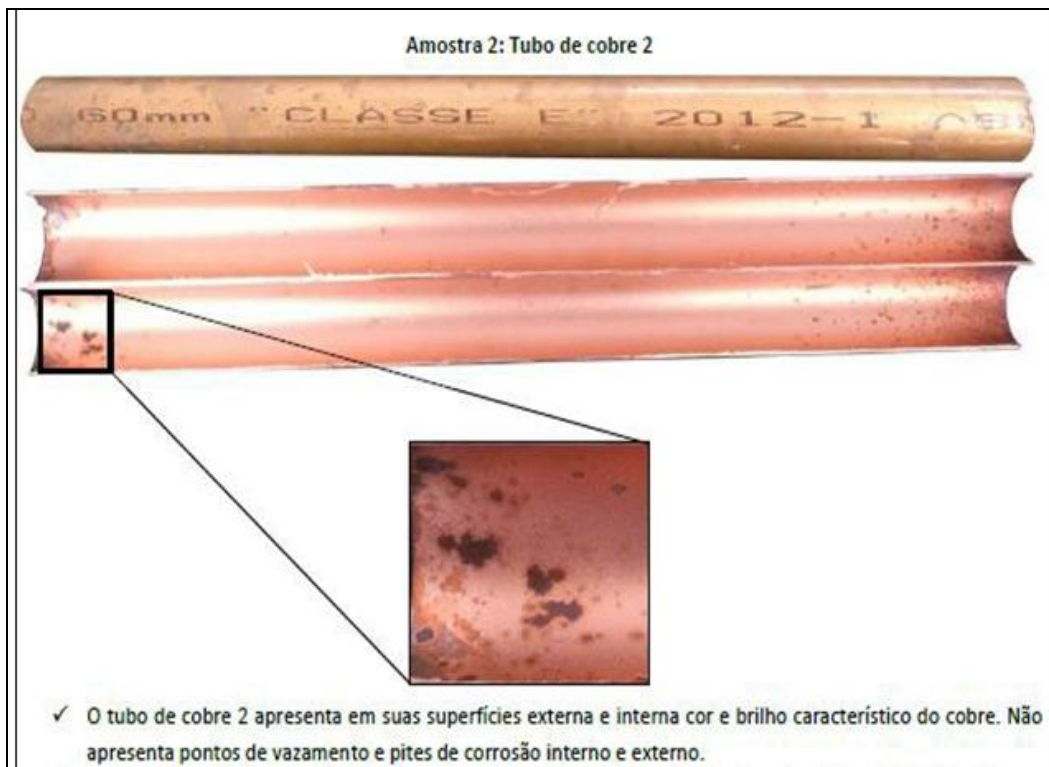
Não foi objeto do estudo a análise da qualidade da água utilizada nas instalações hidráulicas da edificação. No entanto, o processo degradativo por corrosão, como vários outros, é, em sua ampla maioria, multifatorial e não pode ou deve ser considerado, técnica ou cientificamente, de modo isolado, atribuindo-se “pesos ou maior relevância” a um fato específico. Caso contrário, pode-se incorrer em erros ou imprecisões de análise que poderão causar interpretações parciais, incompletas ou tendenciosas.

Baseado nos resultados apresentados, em comparação com os valores associados a águas causadoras de pites, o valor do pH, além dos elevados teores de cloretos e sulfatos, favoreceriam o processo de corrosão das tubulações de cobre de condução de água fria. Sulfatos e cloretos estão presentes nas águas naturais em função de minerais dissolvidos e, nas águas superficiais, como efluentes de esgoto. Podem também ser incorporados no processo de tratamento de água como coagulantes. Os padrões de controle destes parâmetros na água de abastecimento são somente associados com a potabilidade da água. Outras variáveis importantes, como teor de CO₂ e oxigênio dissolvidos não foram apresentados. Questiona-se, ainda, o valor determinado para a alcalinidade bicarbonato, em função do valor de pH apresentado.

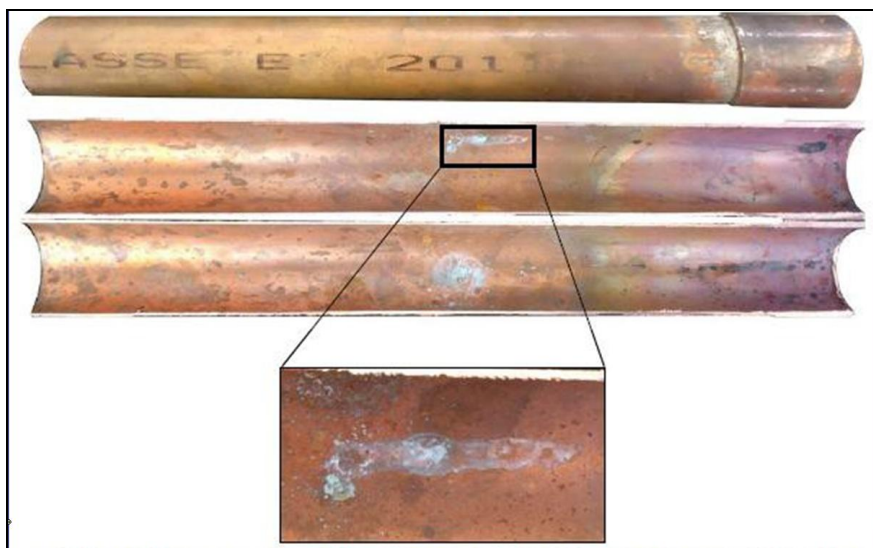
Em função da inspeção visual realizada nos tubos, não existe qualquer indicativo que o processo de corrosão e consequentes vazamentos serão interrompidos ou cessarão. Além disso, as evidências indicam que vazamentos provavelmente iniciarão, uma vez que foram identificados diversos pites em processo de perfuração.



Trecho do Relatório de análise dos tubos de cobre – Análise Macrográfica



Trecho do Relatório de análise dos tubos de cobre.



Superfície externa com leve perda do brilho característico do cobre

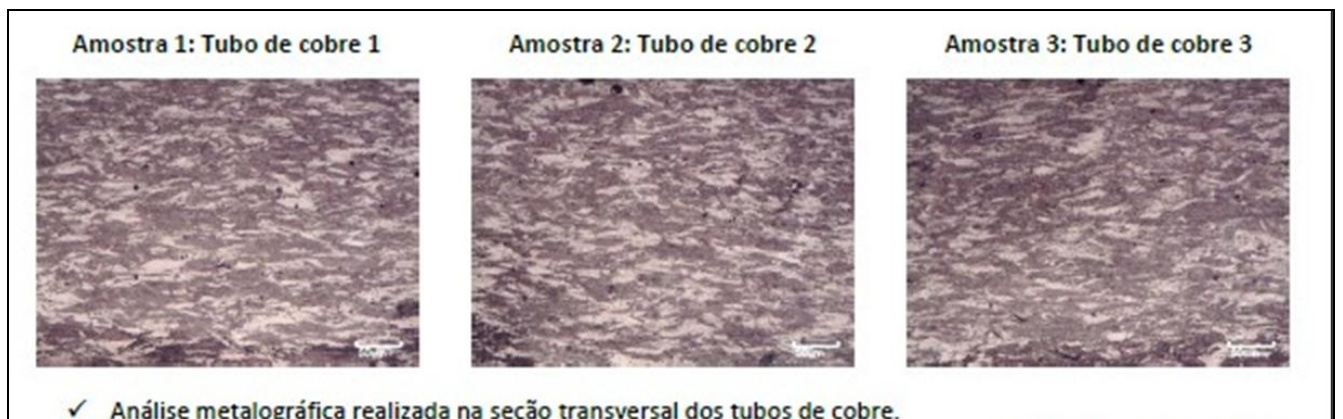
De acordo com os testes que foram realizados o tubo de cobre 1 apresentava em sua superfície externa uma leve perda do brilho característico do cobre e grande concentração de pasta de soldagem. Na superfície interna foi possível verificar a presença de uma película de coloração preta não homogênea. O fato dessa camada não ser homogênea favorece a ocorrência de corrosão. As amostras enviadas possuíam concentração dos elementos cobre e fósforo conforme especificação e atendiam ao parâmetro de dureza, como apresentado nos resultados a seguir.

Elementos	Cu Cobre	P Fósforo
Concentração obtida (%) – Amostra 1: Tubo de cobre 1	99,94	0,025
Concentração obtida (%) – Amostra 2: Tubo de cobre 2	99,92	0,028
Concentração obtida (%) – Amostra 3: Tubo de cobre 3	99,96	0,019
Concentração especificada (%)	99,90 Mín.	0,015 – 0,040

Análise química da tubulação

	DUREZA ROCKWELL B (HRB)					MÉDIA	
	HRB	HRB	HRB	HRB	HRB	HRB	30-T
Amostra 1: Tubo de cobre 1	63,0	64,0	64,0	62,0	62,0	63,0	58,0
Amostra 2: Tubo de cobre 2	65,0	66,0	64,0	64,0	66,0	65,0	60,0
Amostra 3: Tubo de cobre 3	61,0	63,0	63,0	61,0	61,0	61,8	57,0
Dureza Especificada (30-T)	55,0 Mín.						

Ensaio da dureza



Ensaio Metalográfico



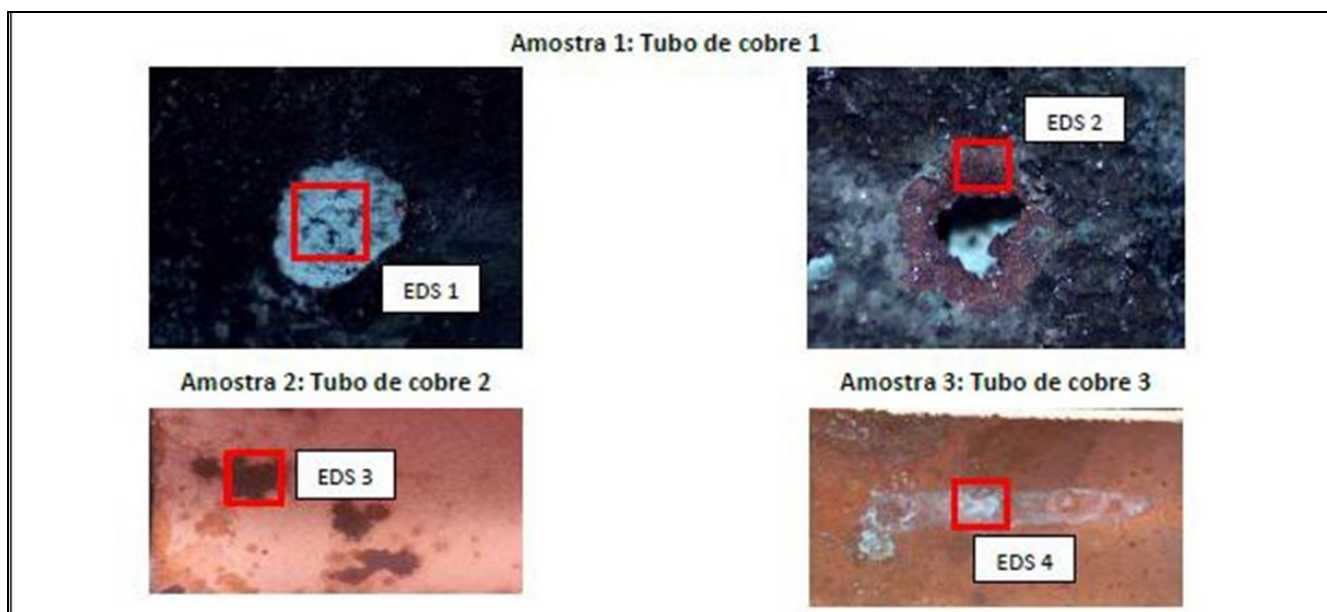
Para os elementos identificados na técnica EDS merecem destaque os seguintes:

Alumínio, ferro, potássio e enxofre: podem ser decorrentes de sais ou gases dissolvidos, bem como depositados a partir de sólidos suspensos;

O cálcio pode ser proveniente de carbonato de cálcio, sendo associado à carbonatação do hidróxido de cálcio (presente no cimento), cuja presença pode ser devido a resíduos deixados no interior dos tubos durante sua instalação. Ressalta-se que na análise de água foi constatado um maior teor do parâmetro “alcalinidade bicarbonato” na saída da tubulação da suíte de um dos apartamentos, quando comparado ao teor encontrado na análise da água da caixa d’água;

O silício também indica resíduos de cimento na tubulação, e ainda pode ser proveniente da água de abastecimento. Ressalta-se que na análise de água foi constatado um maior teor do parâmetro “sílica” na saída da tubulação da suíte de um dos apartamentos, quando comparado ao teor encontrado na análise da água da caixa d’água;

Cloro: pode ser oriundos do fluxo de solda utilizado na soldagem da tubulação.



Análise por EDS (Electrons Dispersive Spectrometry)

Ainda, destaca-se o trecho do relatório: “Acrescenta-se a isso, variáveis operacionais da execução das tubulações, tais como velocidade e pressão na tubulação, juntas, resíduos de soldagem/pasta, ocorrência de erosão e cavitação e presença de rebarbas de solda”. Acrescenta-se ainda, um possível intervalo entre execução e teste de estanqueidade da tubulação.

Ressalta-se, conforme informado no item 4 deste Laudo, que a presença dos óxidos de cobre é esperada, resultando em uma camada semiprotetora que retarda a corrosão. A não formação desta camada (baixos níveis de oxigênio, pH menor que 6, por exemplo); a sua formação de forma heterogênea, devido à materiais depositados na superfície da tubulação; bem como o seu desgaste diferenciado (projeto e execução da instalação); favorece a ocorrência de corrosão eletroquímica.

CONCLUSÃO

Os tubos de cobre de boa qualidade são excelentes produtos para instalações prediais. Mas cuidados devem ser tomados para preservar o material em boas condições, evitando a formação de pites:

- O processo de soldagem deve ser cuidados, evitando-se o excesso de fluxo de solda.
- A qualidade da água deve ser verificada, para não destruir a camada interna de óxido cuproso;
- Não se deve deixar resíduos de base cimentícia no interior da tubulação, nem resíduos granulares que possam provocar abrasão no interior dos tubos;
- Uma lavagem criteriosa deve preceder o início do uso da tubulação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- JESUS, Antônio Carlos Neto de. Estudo dos parâmetros: teor de NaCl e acabamento superficial, na resistência à corrosão por pite em tubos de cobre. Dissertação de Mestrado. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Autarquia associada à Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008.
- FERRAZ, Rodrigo de Castro. Avaliação de sistema alternativo de proteção contra a corrosão em circuito de água de refrigeração. Dissertação de Mestrado. UFRJ, 2007
- NASCIMENTO, Otávio Luiz do; MANSUR, Alexandra Ancelmo Piscitelli; e MANSUR Herman Sander. Avaliação do processo corrosivo em tubulação predial de cobre: uma abordagem microestrutural. XIV COBREAP. Salvador, 2007.
- PAGOTTO JÚNIOR, Oswaldo Pagotto, Sehbour PANOSSIAN e Silvia Verina Neves de FREITAS. Corrosão em tubos de cobre utilizados em rede de sprinklers. Tecnologia em Metalurgia e Materiais, São Paulo, v.2, n.1, p. 24-29, jul-set. 2005.
- Laudo pericial do engenheiro Eduardo T. P. Vaz de Mello
- Catálogo da Cobresul.
- Catálogo da Coppermetal
- Catálogo da Paranapanema
- Normas Brasileiras – ABNT relacionadas – NBR 13.206; NBR 15.345; NBR 5626; NBR 7198; NBR 15.489.
- Norma ASTM B 828-20000
- Norma ASTM B 813-2000