

TT80

**AVALIAÇÃO DE PROCESSO CORROSIVO EM TUBULAÇÃO PREDIAL DE  
COBRE: UMA ABORDAGEM MICROESTRUTURAL**

**OTAVIO LUIZ DO NASCIMENTO**

ENGENHEIRO CIVIL PELA FACULDADE DE ARQUITETURA E ENGENHARIA DA FUMEC (1991), MESTRE EM ENGENHARIA METALÚRGICA E MATERIAIS PELA UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS - UFMG (2005). DIRETOR DA CONSULTARE – PEDROSA E NASCIMENTO ENGENHARIA E CONSULTORIA LTDA. E PROFESSOR AUXILIAR CONCURSADO DA FEA-FUMEC (1992 ATÉ A PRESENTE DATA) ÁREA DE ATUAÇÃO: CONSULTORIAS TÉCNICAS NA ÁREA DE REVESTIMENTO DE FACHADA, ALVENARIA, ARGAMASSAS, DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS, CONCRETO, ENSAIOS LABORATORIAIS E OUTROS.

**ALEXANDRA ANCELMO PISCITELLI MANSUR**

ENGENHEIRA CIVIL FORMADA PELA UFMG (1997), ESPECIALISTA EM ENGENHARIA DE ESTRUTURAS PELA UFMG (2000), MESTRE EM ENGENHARIA METALÚRGICA E MATERIAIS PELA UFMG (2002) E DOUTORA EM ENGENHARIA METALÚRGICA E MATERIAIS PELA UFMG (2007).

**HERMAN SANDER MANSUR**

ENGENHEIRO METALURGISTA E MATERIAIS PELA UFMG (1985), MESTRE EM QUÍMICA PELA UFMG (1992), DOUTOR EM QUÍMICA PELA MELBOURNE UNIVERSITY-AUSTRÁLIA/UFMG (1996). PROF. ADJUNTO EM ENGENHARIA E ANÁLISE DE MATERIAIS – UFMG (10 ANOS).

**AVALIAÇÃO DE PROCESSO CORROSIVO EM TUBULAÇÃO PREDIAL DE COBRE: UMA ABORDAGEM MICROESTRUTURAL**  
OTAVIO LUIZ DO NASCIMENTO; ALEXANDRA ANCELMO PISCITELLI MANSUR;  
HERMAN SANDER MANSUR

**NATUREZA DO TRABALHO: PROFISSIONAL**

**Resumo:** *A corrosão em tubulações prediais de cobre é um problema em escala mundial. A contaminação da água pelos produtos de corrosão e as falhas por ruptura são alguns dos problemas em instalações hidráulicas das edificações. Neste trabalho foram estudados três sistemas distintos. Sendo estes construídos em tubulações de cobre com diferentes idades, uma instalada em 1986 (18 anos, B86), outra em 1994 (10 anos, A94) e outra amostra de referência, que não havia sido instalada, produzida em 2005 (C05), indiferentemente de tubulação de água fria ou quente. Inicialmente avaliou-se a cristalografia através de difração de raios-X. Para conhecer a microestrutura realizou-se microscopia eletrônica de varredura (MEV) e para cálculo do teor de oxigênio dissolvido microscopia ótica. Os produtos de corrosão foram avaliados através da técnica de espectroscopia de infravermelho (FTIR) e espectroscopia de energia de elétrons (EDS). Os resultados identificam compostos de corrosão típicos do sistema água/cobre. Concluiu-se que o modelo foi de corrosão por “pitting”, indicando um elevado potencial de continuidade de falhas. A análise do teor de oxigênio dissolvido, realizada em microscopia ótica, mostrou valores próximos para as amostras de B86 e A94 e um valor bem inferior para a amostra de referência C05.*

**Palavras-chave:** *Tubulações prediais, Corrosão, Cobre, Patologias, Caracterização.*

## 1. INTRODUÇÃO

O cobre tem tido sucesso durante décadas em aplicações como tubulações prediais devido a sua resistência a corrosão, soldabilidade, natureza não tóxica e condutividade térmica. Quando expostos à ambiente agressivo, o cobre e suas ligas formam, inicialmente cuprita,  $\text{Cu}_2\text{O}$ , com coloração castanha, que tem propriedades protetoras, e com o tempo e oxigênio forma-se o  $\text{CuO}$ , de cor preta. Outros produtos de corrosão possíveis são os carbonatos básicos malaquita ( $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ ) e azurita ( $2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ ). Contudo a ocorrência de vazamentos em tubulações de cobre promove grandes transtornos e gastos no setor da construção civil. Problemas estes inerentes à posterior manutenção necessária. O presente trabalho avalia três sistemas visando uma compreensão dos possíveis mecanismos responsáveis à corrosão dos tubos de cobre em estudo através de uma abordagem microestrutural.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Materiais

Este estudo foi desenvolvido com amostras de tubos de cobre utilizadas na condução de água em edifício residenciais fornecidas pelo interessando. Duas amostras foram obtidas em edificações com diferentes idades. Uma terceira amostra, correspondente a um material novo, foi incorporada ao trabalho como amostra de referência. Uma descrição das amostras utilizadas, bem como as identificações utilizadas ao longo deste trabalho estão anotadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Identificação das amostras utilizadas no estudo.

Amostra	Ano de Instalação	Tipo de Fluido Conduzido	Sistema de Abastecimento
A94	1994/1995	Água quente	Poço artesiano (seis anos) e COPASA (últimos quatro anos)
B86	1986/1987	Água quente e fria	Não informado
C04	2004/2005	Água quente e fria*	*

\* Instalação em edifício ainda não habitado e em fase de testes.

### 2.2. Método

Inicialmente para a identificação dos produtos de corrosão formados foram realizadas análises via Difração de Raios X (XRD – X Ray Diffraction). Os difratogramas foram obtidos a partir de pedaços das amostras. As análises foram realizadas no equipamento PW 1710, da PHILIPS, e as fichas do ICDD - International Centre for Diffraction Data foram utilizadas para a identificação das fases presentes.

Para obtenção de imagens e avaliação dos elementos químicos presentes foi realizada análise através de Microscopia Eletrônica de Varredura (SEM – Scanning Electron Microscopy) com Espectroscopia de Energia de Elétrons (EDS – Electrons Dispersive

Spectrometry). Através destas avaliações também se pretende verificar aspectos da microestrutura do metal de base (tamanho de grãos, presença de inclusões, etc.). Amostras foram ensaiadas sem qualquer preparo especial enquanto outras foram visualizadas após metalografia, incluindo embutimento das amostras em resina acrílica, polimento e lixamento e ataque químico da superfície preparada com mistura de perclorato férrico e ácido clorídrico.

Foram obtidas imagens e espectros de diferentes regiões do tubo que foram identificadas conforme desenho da Figura 1.

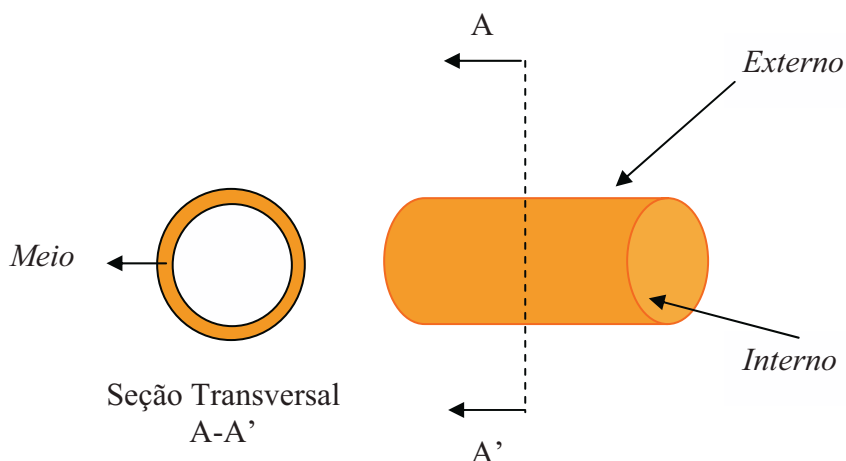


Figura 1 – Identificação das diferentes regiões do tubo de cobre referenciadas no estudo.

Imagens de microscopia ótica de luz refletida foram obtidas após embutimento, polimento e ataque químico das amostras. A partir destas imagens foi possível calcular o teor de oxigênio dissolvido na fase  $\text{Cu}_2\text{O}$  a partir da equação:

$$\text{Teor de oxigênio dissolvido} = (\text{Área correspondente à fase } \text{CuO}_2/100) * 0.39 \quad (\text{Eq. 1})$$

A área correspondente ao  $\text{Cu}_2\text{O}$  foi obtida após ataque químico e visualização em campo claro considerando que esta fase, nestas condições apresenta coloração azul. A área correspondente à fase foi obtida através de contagem de pontos utilizando malha quadrada de 0,9 cm x 0,9 cm.

Material depositado na superfície interna dos tubos foi ainda removido e analisado através da técnica de Espectroscopia de Infravermelho utilizando Transformada de Fourier (FTIR – Fourier Transformed Infrared Spectroscopy). Foi utilizado o equipamento Paragom 1000, da PERKIN ELMER, através da técnica de reflectância difusa com KBr como dispersante.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1. Inspeção Visual

A inspeção das amostras a olho nu permite as seguintes considerações:

. *Amostra A94*: em sua superfície externa apresenta alteração de cor pela presença de manchas de coloração preta (Figura 2).



Figura 2 – Superfície externa da amostra A94.

Na superfície interna é possível verificar a presença de uma camada ao longo de toda a tubulação de coloração amarelada, bem como a formação de depósitos de material azulado-esverdeado (Figura 3). A remoção destes depósitos revelou a presença de pites em processo de perfuração no sentido da espessura da tubulação (Figura 4 indicado por seta). A presença de depósitos favorecem a ocorrência de corrosão por aeração diferencial, sendo a área anódica, e portanto, corroída, aquela abaixo do depósito.



Figura 3 – Depósito de material no diâmetro interno da amostra A94.



Figura 4 – Tubo de cobre da amostra A94 indicando a formação de pite perfurante.

. *Amostra B86*: tubo apresentou na sua superfície externa perda do brilho característico do cobre e leve alteração de cor (Figura 5). Internamente, observou-se a formação de uma película amarelada ao longo do diâmetro interno (Figura 6)



Figura 5 – Superfície externa da amostra B86.



Figura 6 – Interior do tubo de cobre da amostra B86.

. *Amostra C04*: apresenta ao longo das suas superfícies internas e externas cor e brilho característicos do cobre (Figuras 7 e 8).



Figura 7 – Superfície externa do tubo de cobre sem uso (amostra C04).



Figura 8 – Aspecto do tubo de cobre correspondente à amostra C04.

### 3.2. Difração de Raios X

Os resultados de difração para a amostra A94 estão mostradas nas Figuras 9 e 10 a seguir.

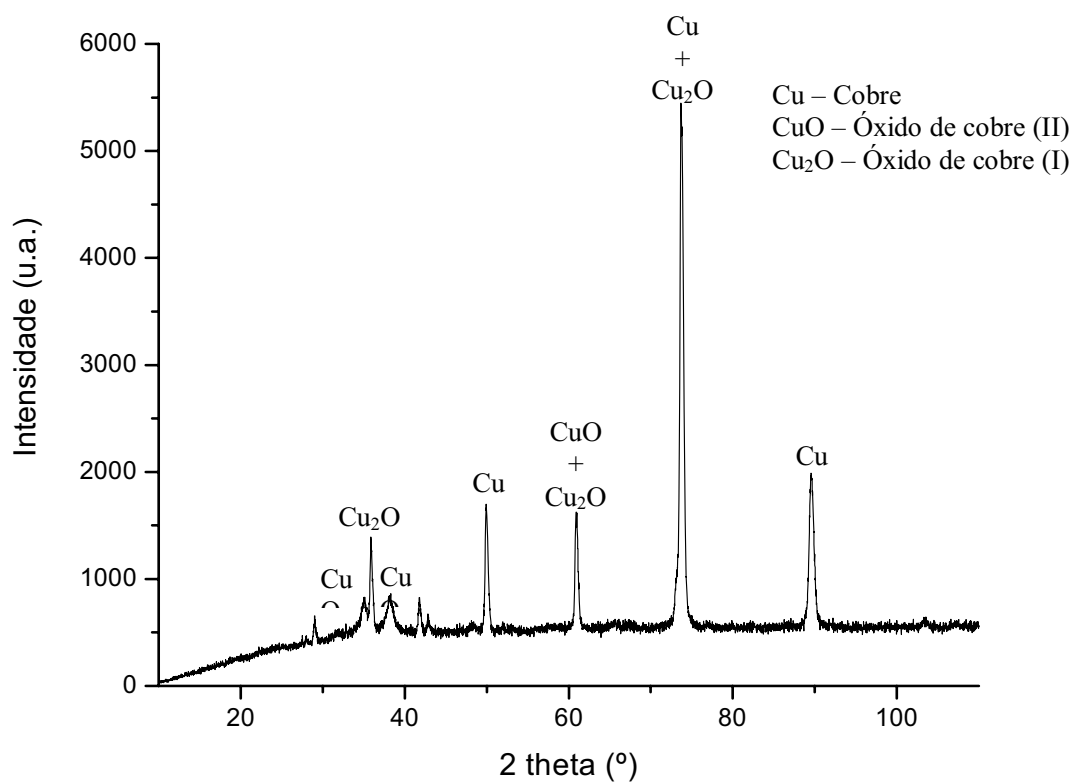


Figura 9 – Difratoograma obtido para a amostra de cobre A94.



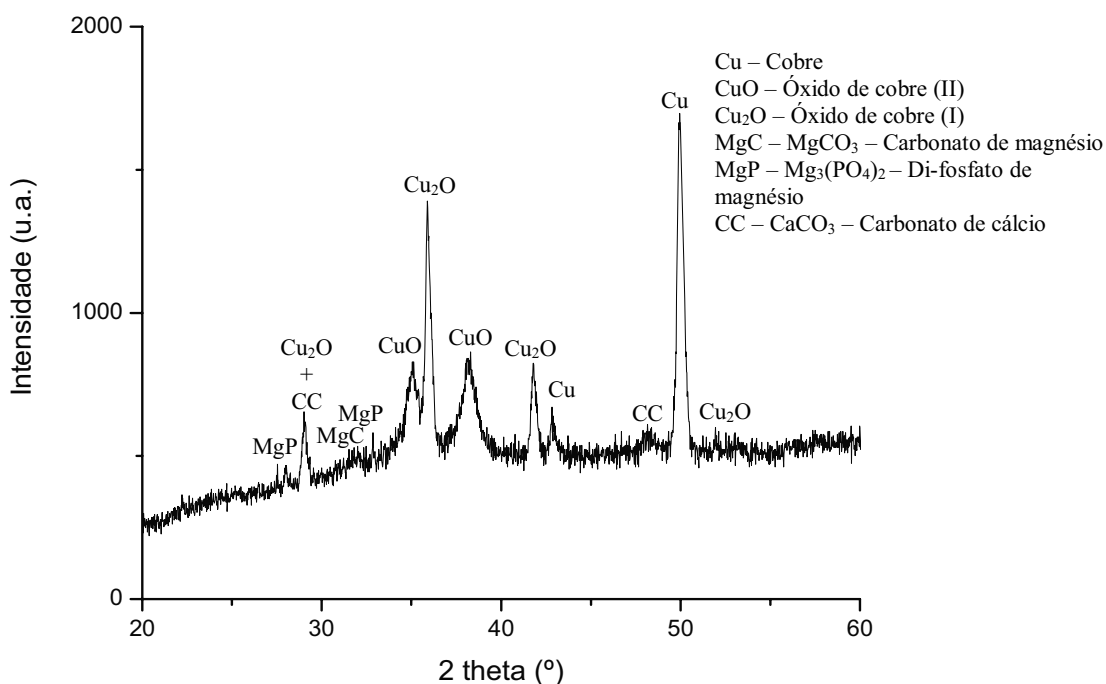


Figura 10 – Detalhe do difratograma da amostra A94 mostrando a faixa de 2 theta compreendida entre 20° e 60°.

Os resultados de difração de raios X para a amostra A94 mostram que as fases cristalinas no material são predominantemente cobre metálico e óxidos de cobre. Existem, ainda, alguns picos associados a carbonatos e fosfatos.

Os resultados de difração para as amostras B86 estão mostradas nas Figuras 11 e 12 a seguir.

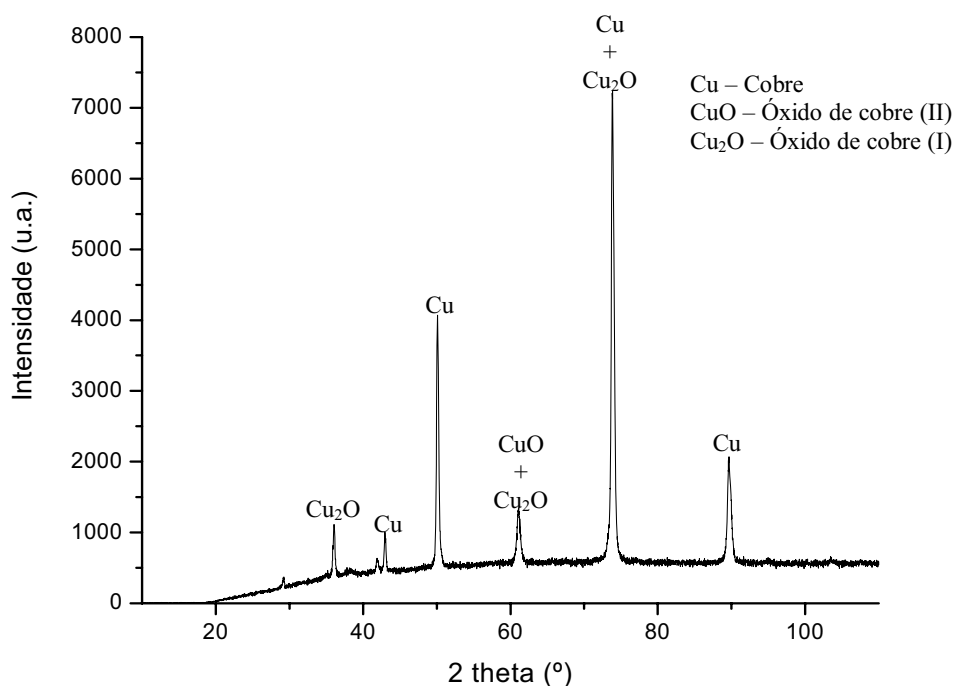


Figura 11 – Difratograma obtido para a amostra de cobre da amostra B86.

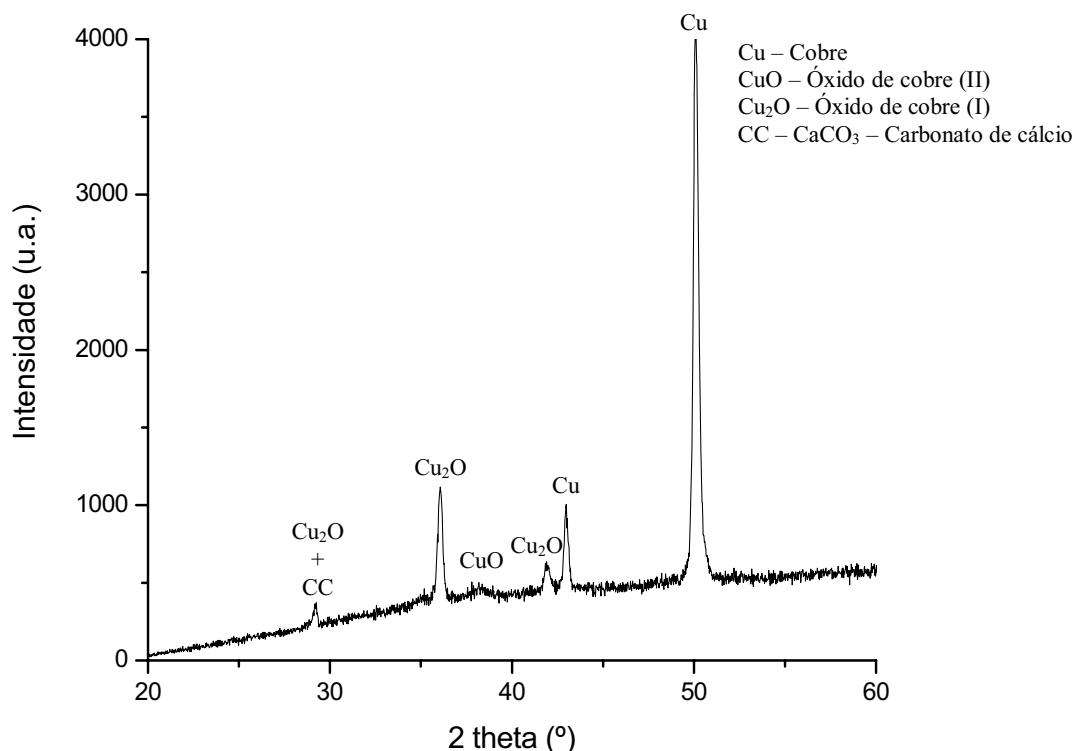


Figura 12 – Detalhe do difratograma da amostra B86 mostrando a faixa de 2 theta compreendida entre 20° e 60°.

Para a amostra B86 foram observados picos predominantemente associados com o cobre metálico e os óxidos de cobre.

A avaliação semi-quantitativa dos teores de cobre e seus óxidos pode ser observada na Tabela 2.

Tabela 2 – Identificação de fases por difração de raios X.

Amostra	Cobre Metálico Cu	Óxido de Cobre I Cu <sub>2</sub> O	Óxido de Cobre II CuO
A94	++++	++	++
B86	++++	++	+

A presença dos óxidos de cobre é esperada uma vez que o cobre, quando exposto à presença de oxigênio em níveis superiores a 2 mg/l, forma óxido de cobre I (Cu<sub>2</sub>O), também conhecido como cuprita, ou óxido de cobre II (CuO). A cuprita apresenta coloração amarelo-acastanhada e a formação de uma camada deste óxido homogênea e contínua resulta em uma camada semiprotetora retardando o prosseguimento da corrosão. Já o CuO apresenta coloração marrom a preta e também é capaz de formar película de óxido protetora sobre o metal. O aparecimento de uma das duas formas de óxidos depende essencialmente do pH da água em contato com os tubos.

A não formação desta camada (baixos níveis de oxigênio, pH menor que 6, por exemplo), a sua formação de forma heterogênea, bem como o seu desgaste diferenciado (projeto e execução da instalação) favorece a ocorrência de corrosão eletroquímica.

### 3.3. Microscopia Eletrônica de Varredura

Imagens e espectro de EDS obtidos para os produtos de corrosão verificados na face interna dos tubos de cobre retirados da edificação estão mostrados na Figuras 13 e 14 e Figuras 15 e 16, respectivamente.

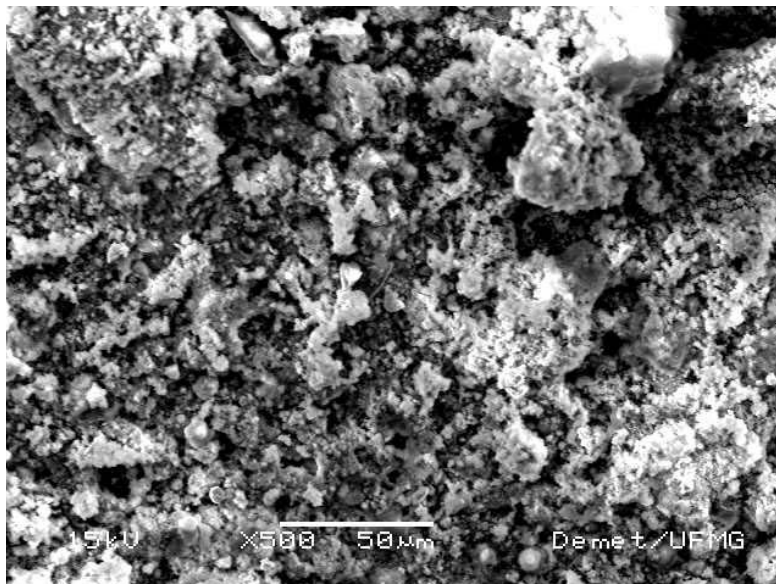


Figura 13 - Produtos de corrosão observados na face interna da amostra A94 (sem ataque químico; ampliação 500X).

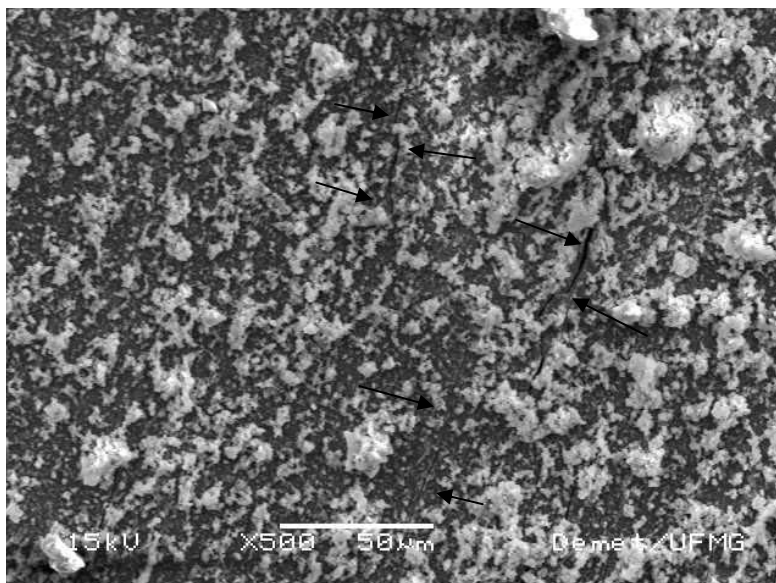


Figura 14 – Produtos de corrosão observados na face interna da amostra B86 (sem ataque químico; ampliação 500X).

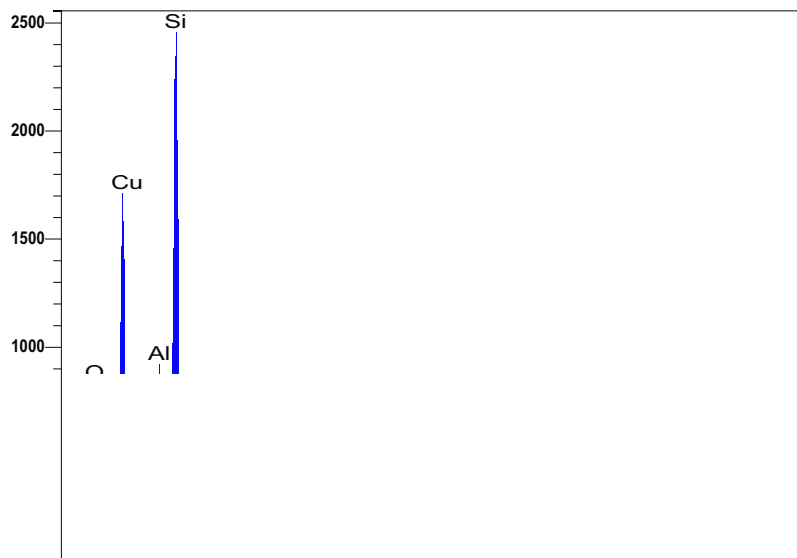


Figura 15 – EDS geral sobre os produtos de corrosão na região interna do tubo A94.

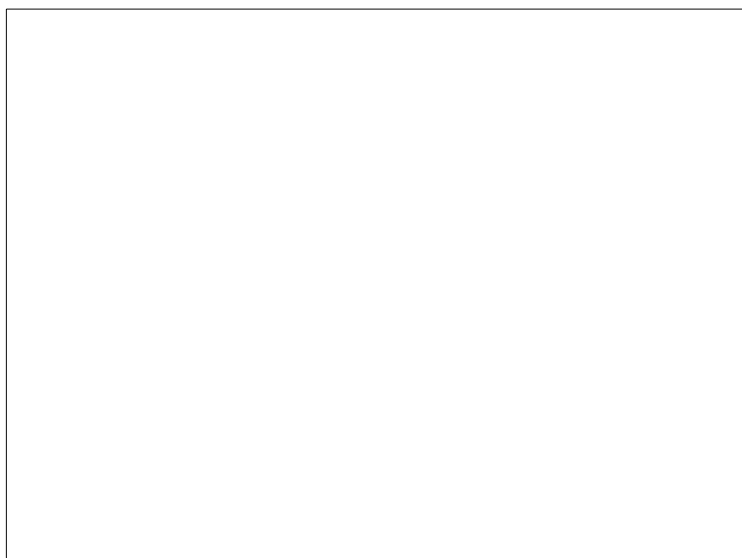


Figura 16 – EDS geral sobre os produtos de corrosão na região interna do tubo B86.

A partir das figuras das superfícies internas é possível observar que a amostra A94 apresenta uma maior camada de produtos de corrosão, não compacta nem homogênea recobrando o metal de base. Para a amostra B86 esta camada mostra-se mais fina, mas também sem características de homogeneidade e compacidade características da formação de uma camada oxidada de proteção. Pode-se ainda observar a presença de microfissuras (setas) aparentemente na superfície do tubo.

A análise dos espectros indica, além do cobre e do oxigênio, característico do metal de base e de seus óxidos, a presença de C, Al, Fe, Si, Ca, K, Mg, Zn, Cl e S. A presença de carbono pode ter a sua origem na presença de CO<sub>2</sub> dissolvido na água, matéria orgânica ou de resíduos de lubrificantes nos tubos durante o processo de conformação do tubo. O zinco pode

ser resíduo de pasta de soldagem do tubo. Al, Fe, Si, Ca, K, Cl e S podem ser decorrentes de sais ou gases dissolvidos, bem como depositados a partir de sólidos suspensos. O cloro ainda pode ter a sua origem no processo de tratamento da água.

A imagem da superfície externa da amostra A94 (Figura 17) revela a ocorrência de formação de produtos de corrosão recobrando o metal de base, como já havia sido verificado pela presença de manchas neste material. O espectro de EDS desta superfície (Figura 18) revela variedade de elementos químicos similar à observada na superfície interna.

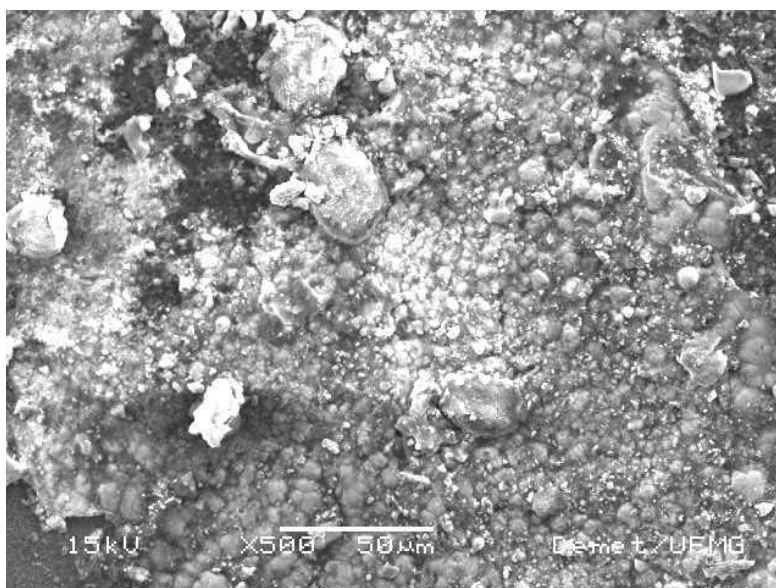


Figura 17 – Imagem obtida na superfície externa da amostra A94.

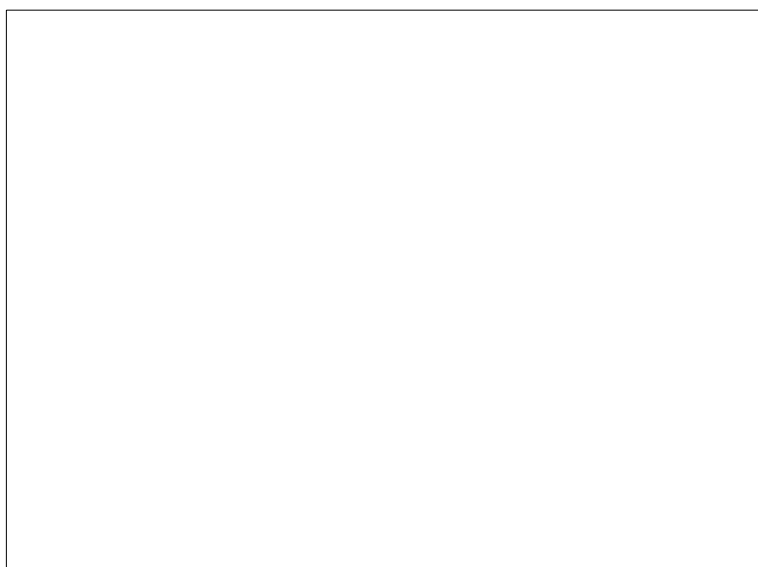


Figura 18 – EDS da superfície externa da amostra A94.

A imagem da superfície externa da amostra B86 (Figura 19) reflete a imagem obtida na inspeção visual sem formação de camada característica de corrosão. O espectro (Figura 20) também mostra uma grande predominância do elemento cobre nesta superfície.

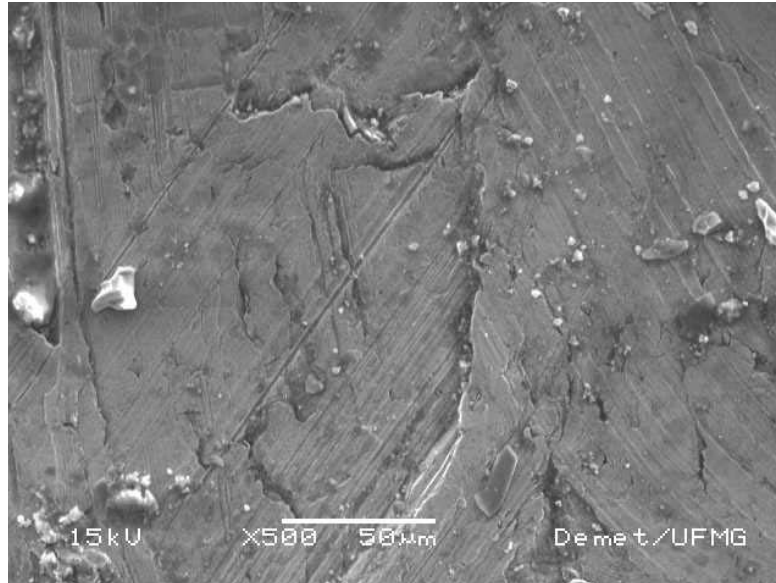


Figura 19 – Imagem obtida na superfície externa da amostra B86.

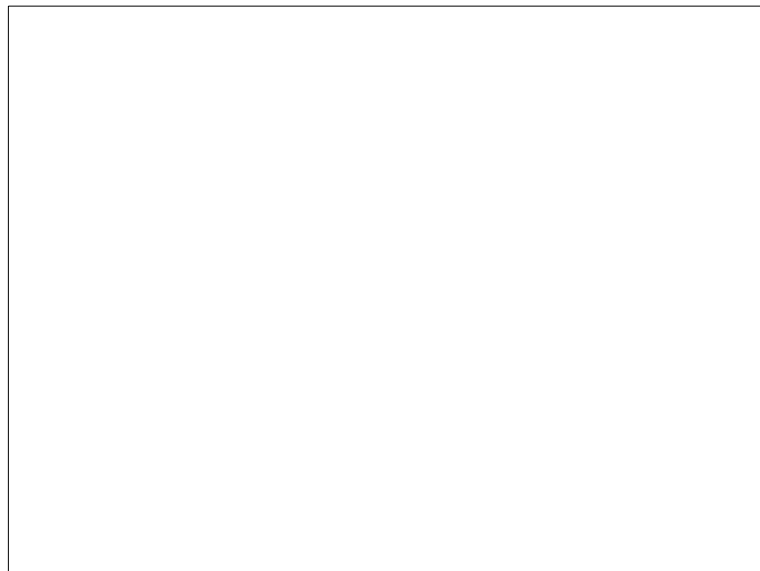


Figura 20 – EDS da superfície externa amostra B86.

As imagens da seção transversal, após ataque químico, para ambas as amostras estão mostradas nas figuras a seguir. Para a amostra A94 foram observadas as superfícies interna e externa do tubo, bem como a região do meio do tubo.

Na Figura 21, facilmente pode ser observada a camada de corrosão com espessura da ordem de 5 a 10  $\mu\text{m}$  ao longo do diâmetro externo da amostra. O EDS desta região repete a variedade de elementos químicos anteriormente identificada.

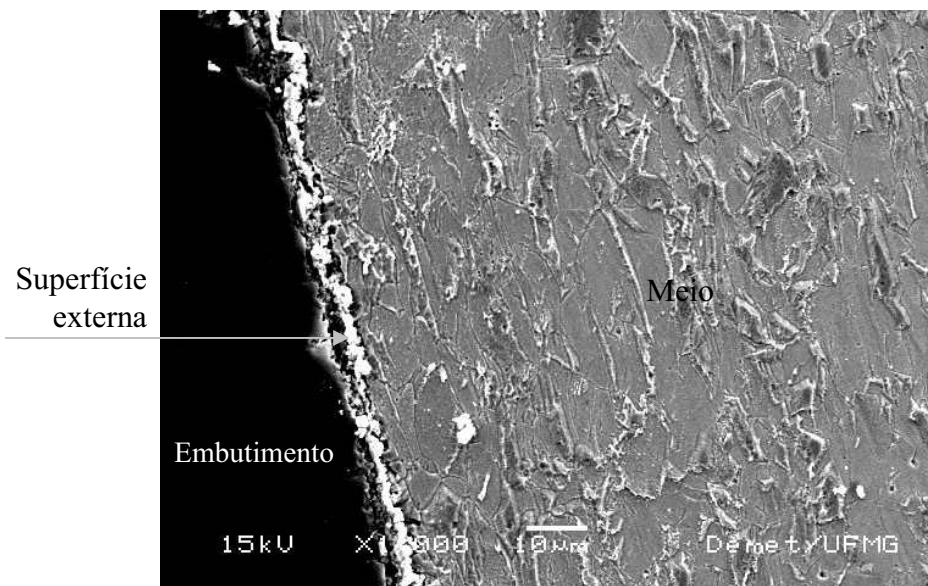


Figura 21 – Seção transversal da amostra A94 mostrando a superfície externa do tubo (1000X).

A imagem da corrosão no diâmetro interno do tubo poder ser visualizada na Figura 22. Como verificado anteriormente, os produtos de corrosão apresentam-se não homogêneos com espessura da ordem de 10  $\mu\text{m}$ .

A região do meio do tubo A94 (Figura 23) mostra-se com aspecto mais homogêneo, sendo possível identificar o metal de base (Cu) nas regiões mais lisas e a presença de oxigênio dissolvido na forma de óxido, correspondente à região em relevo, com porosidade resultante do processo de ataque químico para revelação da microestrutura.

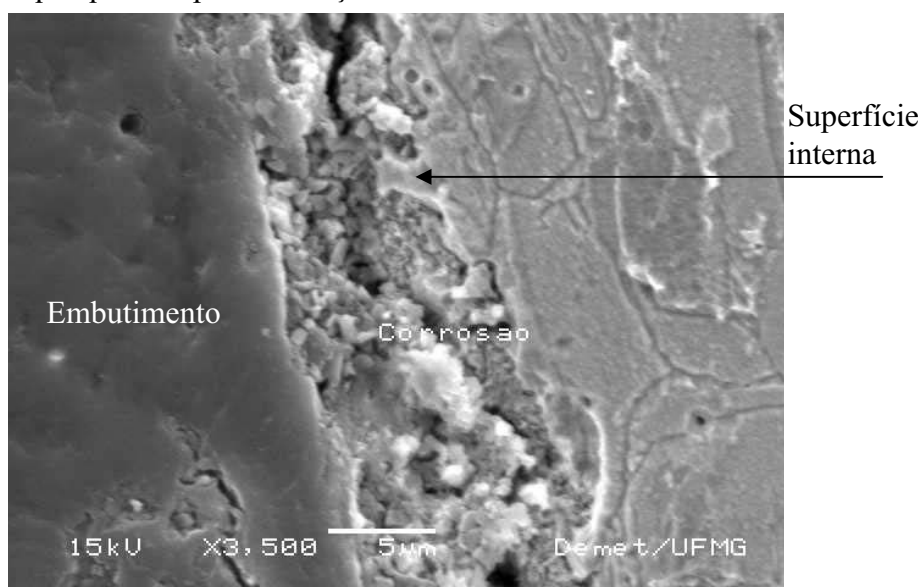


Figura 22 - Seção transversal da amostra A94 mostrando a região interna do tubo com corrosão (3500X).

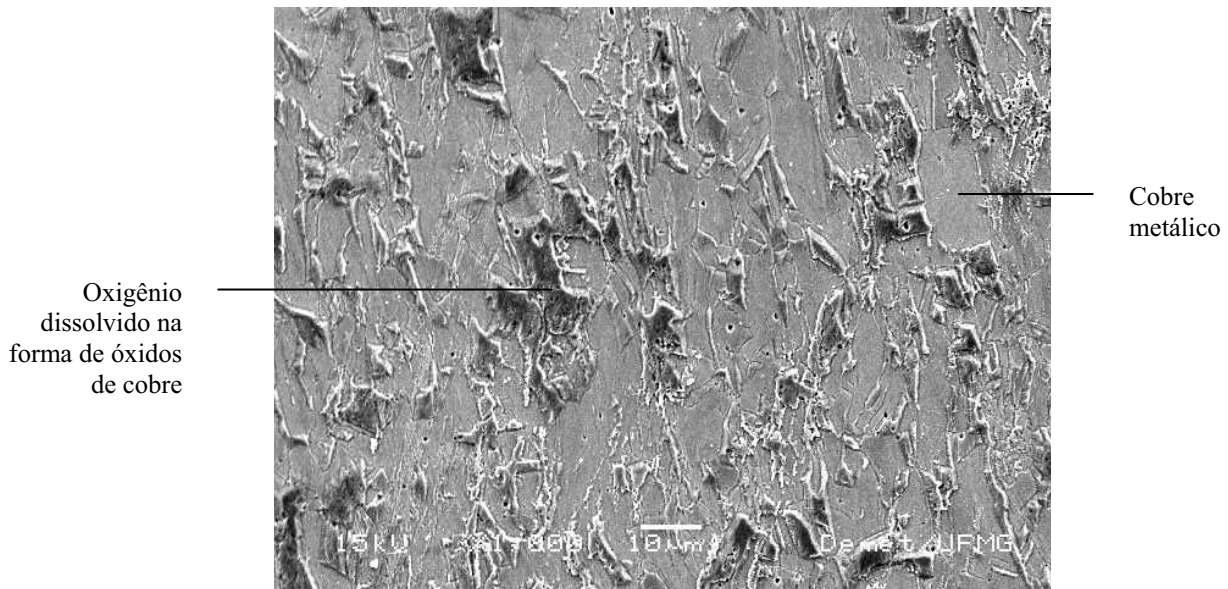


Figura 23- Seção transversal da amostra A94 mostrando a região do meio do tubo (1000X).

O espectro de EDS desta região do corpo do tubo (Figura 24) confirma a observação da imagem com a predominância do elemento químico cobre. O ouro (Au) identificado neste espectro está associado ao material de revestimento utilizado para uma melhor obtenção de imagens. A presença de carbono (C), em função da pequena quantidade, pode ser associada ao material polimérico de embutimento da amostra.

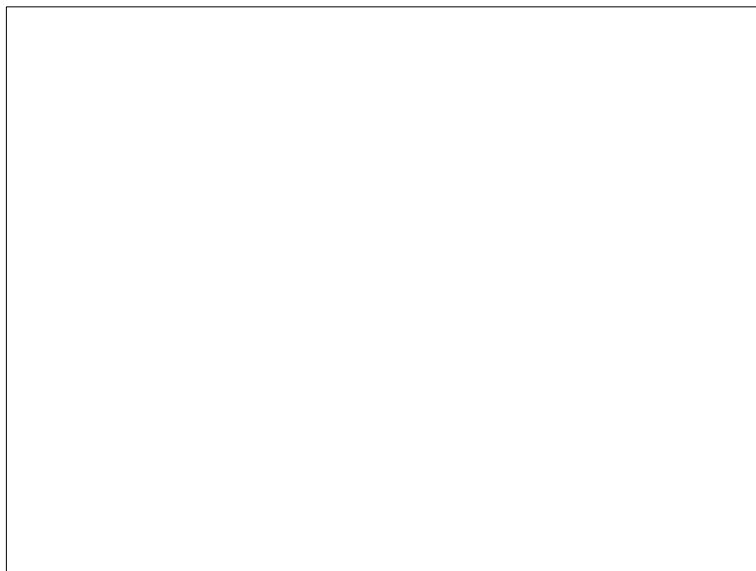


Figura 24 – EDS da amostra A94 na região do meio do tubo.

Para a amostra B86, foram obtidas imagens da seção transversal com ataque químico para a região correspondente ao diâmetro interno (Figura 25) e ao meio (Figura 26) do tubo.



A imagem da face interna do tubo revela a camada de corrosão de espessura inferior a 2,5  $\mu\text{m}$ , portanto bastante inferior à verificada na amostra A94. Já a seção transversal da região do meio do tubo (B86) mostra aparência similar à identificada na amostra A94: cobre metálico e oxigênio dissolvido na formando óxidos de cobre. O EDS desta área (Figura 27) também confirma estas informações.

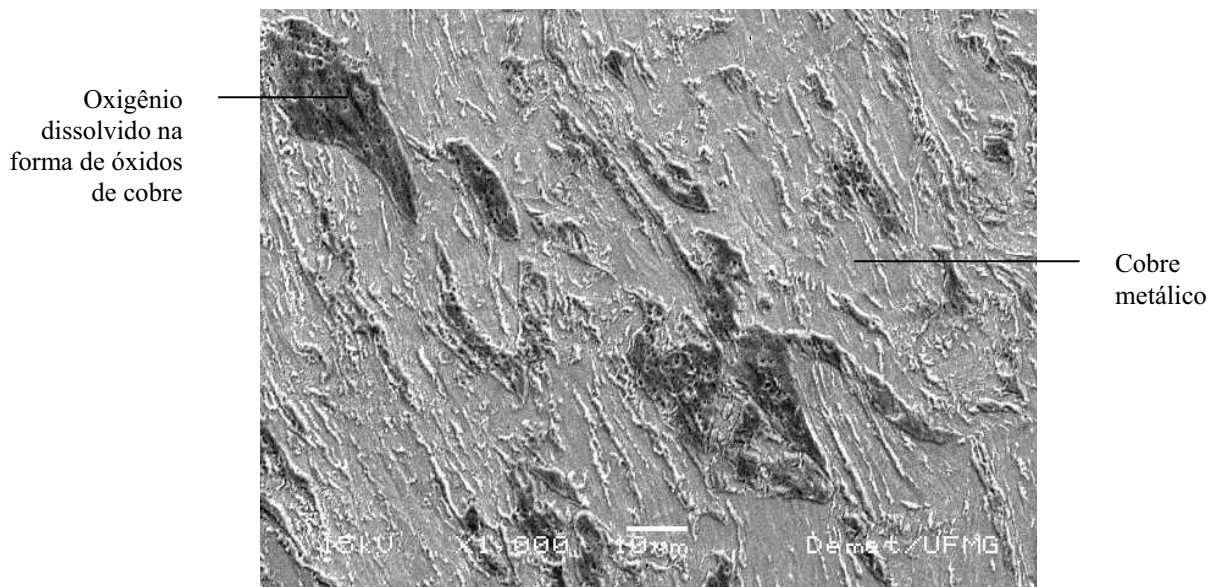


Figura 26 - Seção transversal da amostra B86 mostrando a região do meio do tubo (1000X).

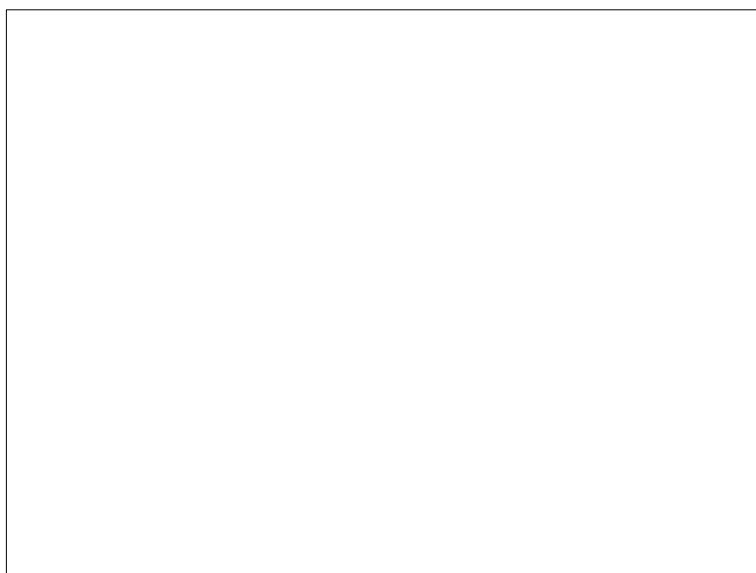


Figura 27 – EDS da amostra B94 da região do meio do tubo.

A região central dos tubos (A94 e B96) mostra a característica original dos tubos de cobre. Pode-se verificar que ambos os materiais mostravam-se bastante similares após a sua fabricação.

A imagem da superfície interna do tubo novo (Figura 28), sem qualquer tratamento químico, mostra a ausência de produtos de corrosão, como anteriormente verificado na inspeção visual. O espectro de EDS indica a presença de cobre e carbono. O cobre corresponde essencialmente ao cobre metálico. A presença de carbono, considerando o fato do tubo não ter sido colocado em uso, acredita-se estar associada à presença de resíduos de lubrificantes. Os lubrificantes são necessários ao processo de conformação dos tubos de cobre para redução do atrito, uma vez que a elevação dos níveis de atrito pode significar geração de calor, desgaste da fiação, perdas de controle dimensional e agravamento da heterogeneidade de fluxo. Desta forma, procura-se provocar uma separação efetiva entre a fiação e o cobre aplicando-se uma camada de lubrificante entre eles.

A presença de carbono residual nos tubos de cobre, decorrentes da presença de lubrificantes e da decomposição destes, favorece a ocorrência de corrosão por pites. O carbono depositado forma área catódica, funcionando o cobre como o anodo da pilha formada, ocorrendo a corrosão localizada desse metal sob a forma de pite.

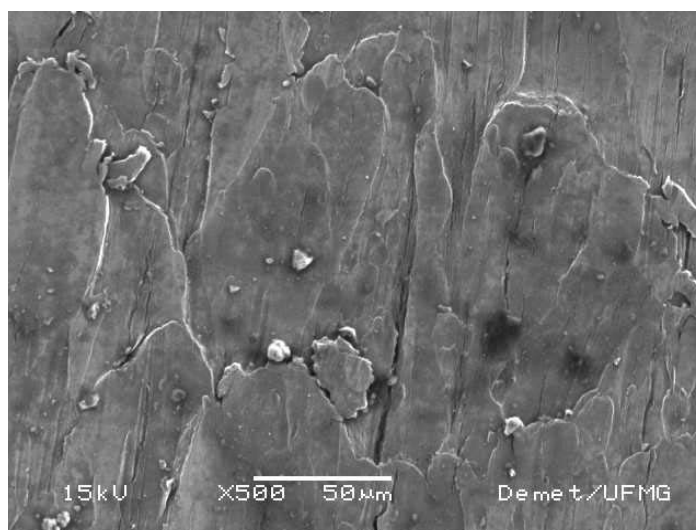


Figura 28 – Imagem da superfície interna da amostra de tubo de cobre sem uso.

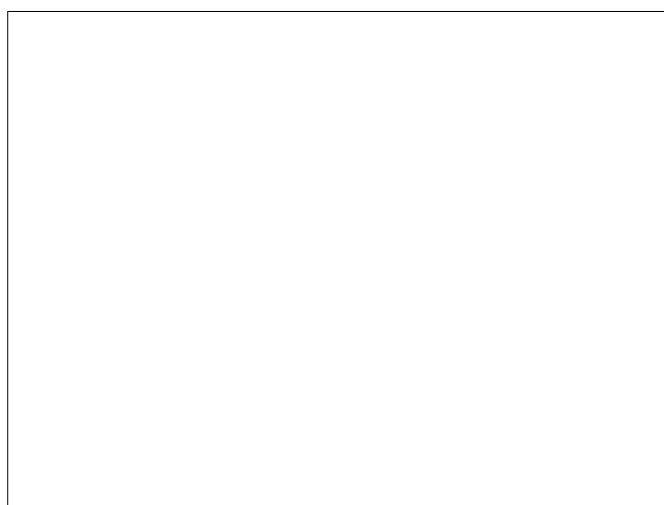


Figura 29 – Espectro de EDS para amostra de cobre C04.

### 3.4. Microscopia Ótica

Imagens de microscopia ótica foram obtidas para a análise do teor de oxigênio dissolvido nas amostras em estudo. Após ataque químico é possível visualizar o óxido de cobre que contém o oxigênio disperso na matriz de cobre metálico.

A importância desta avaliação advém do fato de que heterogeneidades no metal favorecem a formação de regiões anódicas e catódicas, pela diferença de potencial resultante, formando a pilha eletroquímica. Além disso, a presença de oxigênio dissolvido no cobre torna-o susceptível ao ataque pelo hidrogênio. Este fenômeno, conhecido como gaseamento, consiste, basicamente, na difusão do hidrogênio atômico no cobre aquecido, resultando na reação  $\text{Cu}_2\text{O} + \text{H}_2 \rightarrow 2 \text{Cu} + \text{H}_2\text{O}$ , onde o vapor de água formado gera altas pressões no interior do metal, originando microtrincas e escoamento superficial.

As imagens obtidas para a amostra A94 estão mostradas nas Figuras 30, 31 e 32. A região azul, devido ao ataque químico mostra as regiões correspondentes ao  $\text{CuO}_2$ . Estas figuras são similares às aquelas obtidas através de microscopia eletrônica mostrada na Figura 23 anterior.

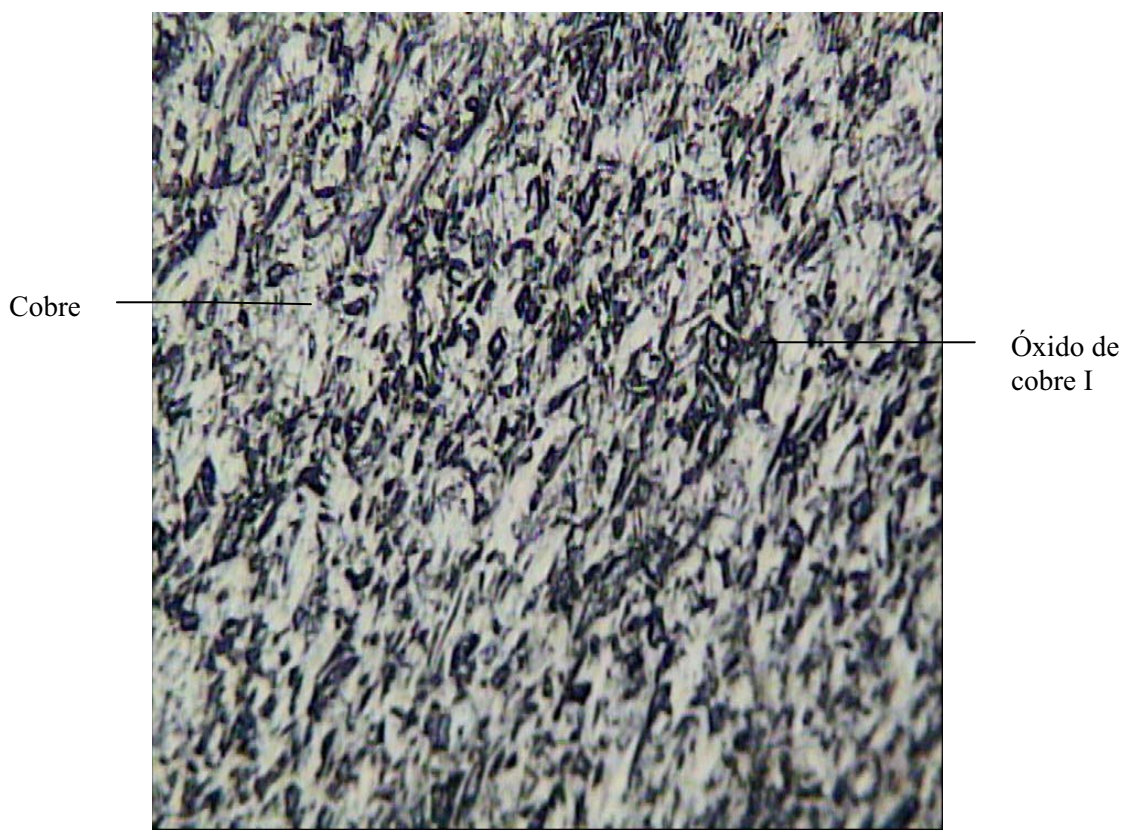


Figura 30 – Imagem de microscopia ótica para a amostra de cobre A94 após ataque químico e visualizada sob campo claro.

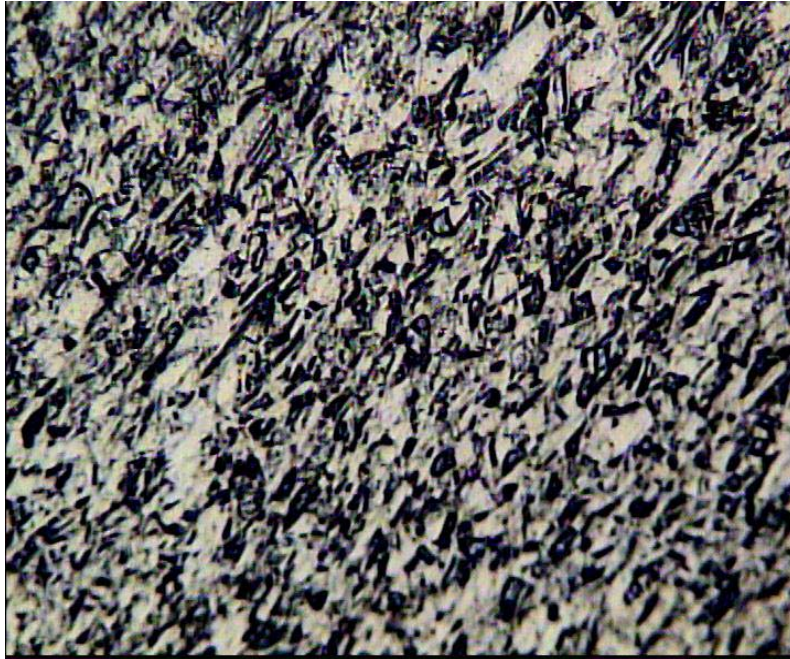


Figura 31 – Imagem de microscopia ótica para a amostra de cobre A94 após ataque químico e visualizada sob campo claro.

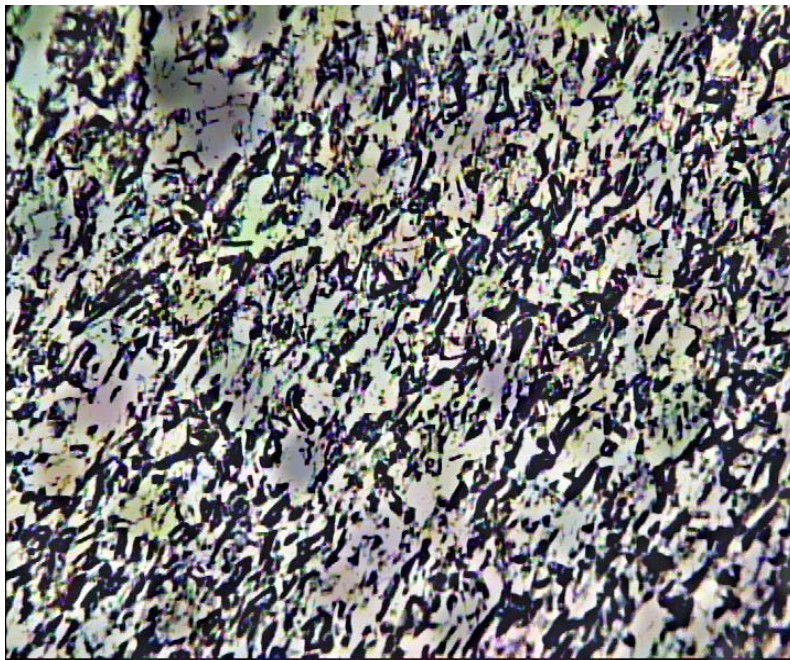


Figura 32 – Imagem de microscopia ótica para a amostra de cobre A94 após ataque químico e visualizada sob campo claro.

Imagens em microscopia ótica com ataque também foram obtidas para as amostras B86 e C04 e podem ser observadas nas Figuras 33, 34 e 35 e Figuras 36, 37 e 38, respectivamente.

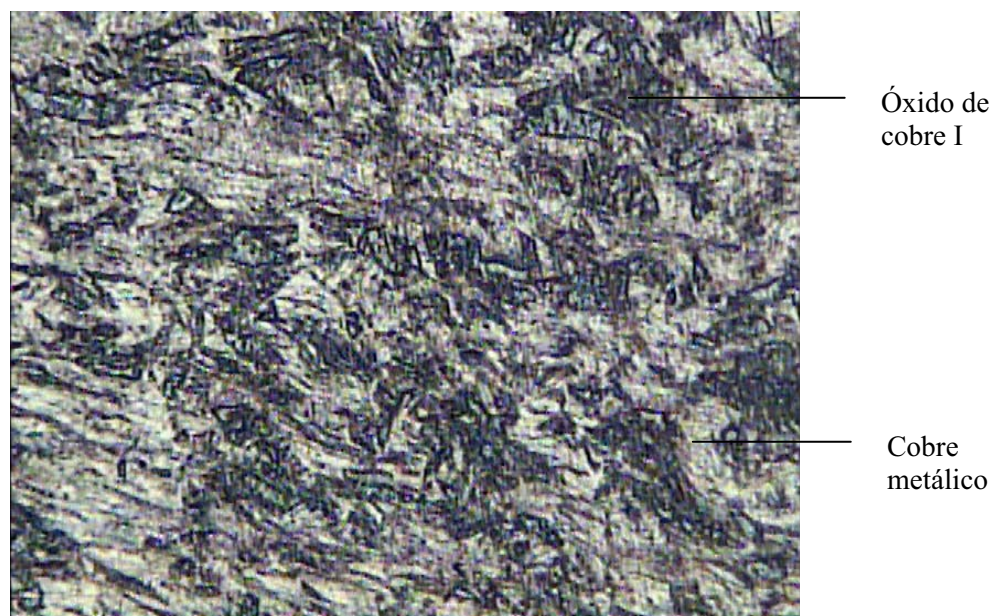


Figura 33 – Imagem de microscopia ótica para a amostra de cobre B86 após ataque químico e visualizada sob campo claro.

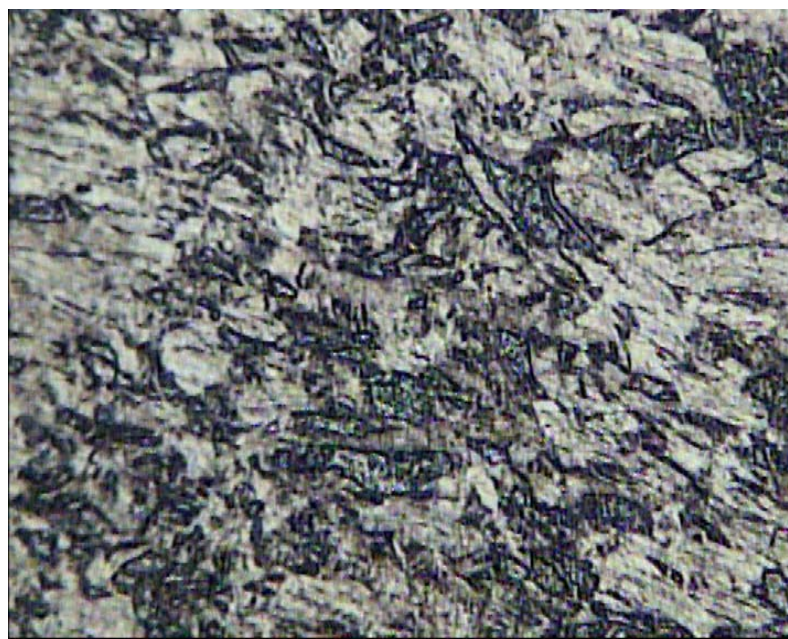


Figura 34 – Imagem de microscopia ótica para a amostra de cobre B86 após ataque químico e visualizada sob campo claro.

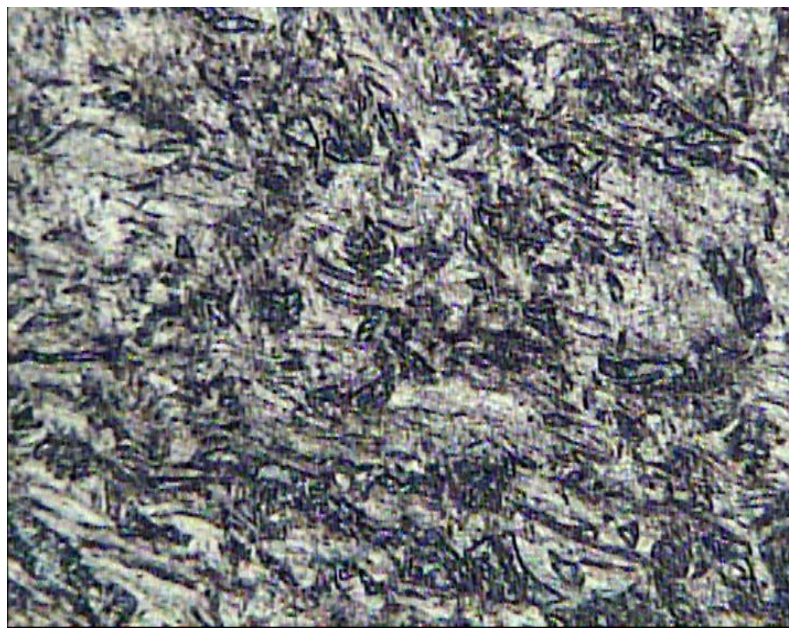


Figura 35 – Imagem de microscopia ótica para a amostra de cobre B86 após ataque químico e visualizada sob campo claro.

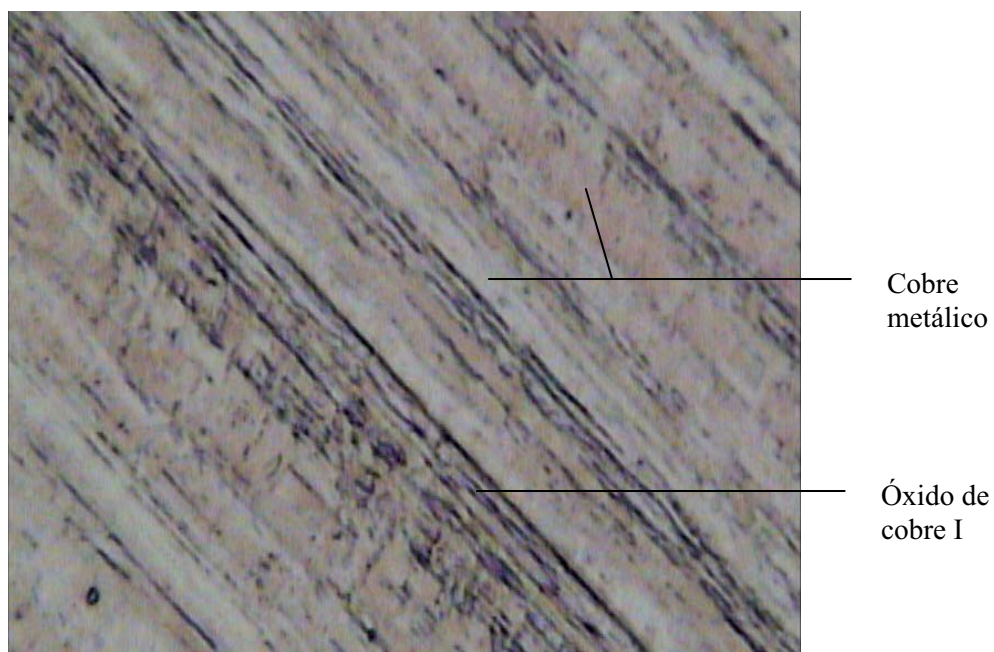


Figura 36 – Imagem de microscopia ótica para a amostra de cobre C04 após ataque químico e visualizada sob campo claro.

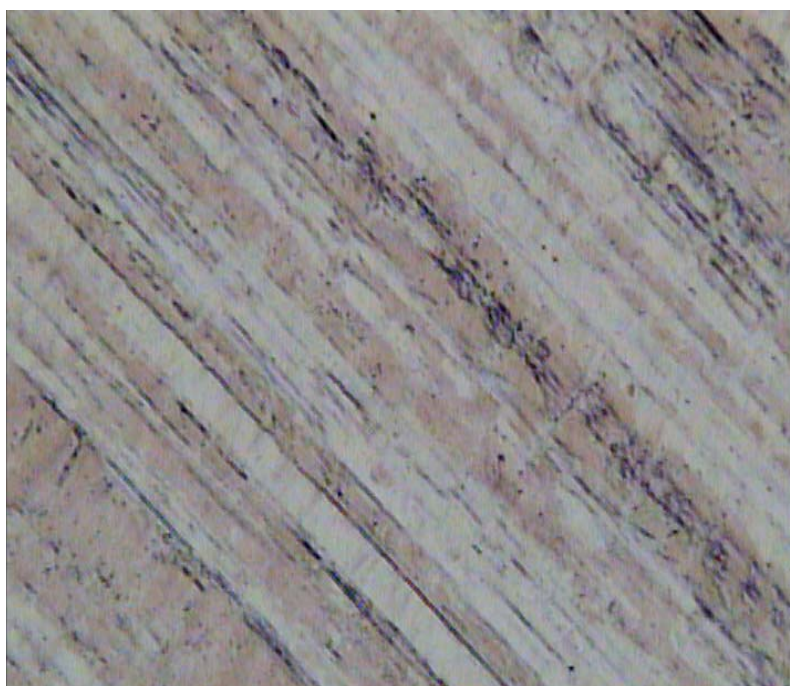


Figura 37 – Imagem de microscopia ótica para a amostra de cobre C04 após ataque químico e visualizada sob campo claro.

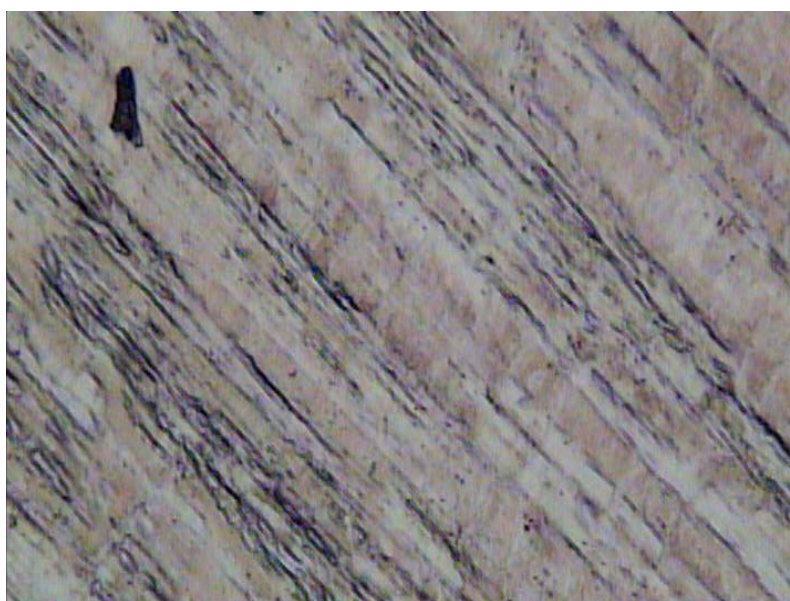


Figura 38 – Imagem de microscopia ótica para a amostra de cobre C04 após ataque químico e visualizada sob campo claro.

Em todos os materiais foi observada a ocorrência de oxigênio dissolvido. A quantificação deste oxigênio dissolvido pode ser calculada a partir da área do óxido de cobre, que foi obtida a partir da contagem de pontos utilizando a malha exemplificada na Figura 39.

A Tabela 3 mostra os resultados obtidos para a área de óxido de cobre I, bem como o valor calculado para o oxigênio dissolvido.

Tabela 3 – Teor de oxigênio dissolvido nas amostras em estudo.

Amostra	Área percentual do Óxido de Cobre I (%)	Percentual de Oxigênio Dissolvido (%)
A94	29	0,11
B86	25	0,10
C04	4	0,02

A partir dos resultados obtidos, observa-se que todas as amostras enviadas pelo interessado apresentam oxigênio dissolvido. Para as amostras A94 e B86, os valores mostraram-se bastante próximas, indicando processo produtivo similar. Considerando a amostra C04, o valor apresenta-se bastante inferior, indicando eventual alteração no processo produtivo para redução do teor de oxigênio incorporado.

É interessante observar que a norma NBR 13206 (Tubo de cobre leve, médio e pesado, sem costura, para a condução de fluidos) que trata dos requisitos a que devem satisfazer os tubos de cobre usados para a condução de água fria e água quente, dentre os fluidos, não apresenta limitação para o teor de oxigênio dissolvido presente no material.

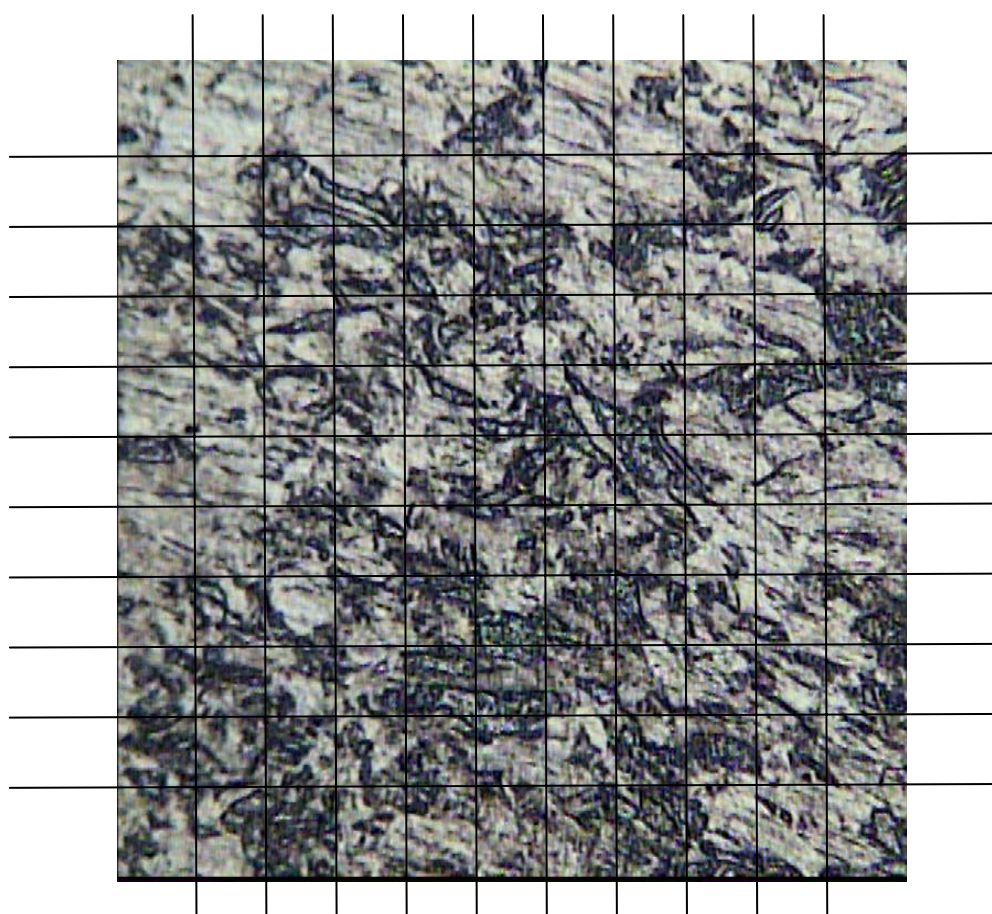


Figura 39 – Exemplificação da malha utilizada para a contagem de pontos objetivando a determinação da área correspondente ao óxido de cobre I.



### 3.5. Espectroscopia de infravermelho

O espectro de infravermelho obtido para o material de coloração amarelada removido mecanicamente do interior da amostra A94 está mostrado na Figura 40. No padrão obtido estão anotados os picos mais importantes observados que podem ser associados com os óxidos de cobre, com a presença de umidade e de compostos orgânicos.

Os picos correspondentes ao material de natureza orgânica, basicamente componentes/derivados do ácido carboxílico e ligações C-H, são característicos dos lubrificantes geralmente utilizados. É importante observar que a presença de matéria orgânica também pode resultar nos picos observados.

O espectro para o depósito de material esverdeado retirado da superfície interna da amostra A94 consta da Figura 41. Neste espectro os principais picos são os correspondentes à malaquita ( $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$ ). A formação deste carbonato básico é usualmente observada a partir do óxido de cobre em presença de umidade e gás carbônico. Alguns outros picos presentes podem ser relacionados com compostos orgânicos presentes

Para o material amarelado coletado no diâmetro interno da amostra B86, foi obtido espectro (Figura 42) bastante semelhante ao observado para o material que recobre a face interna do tubo da amostra A94.

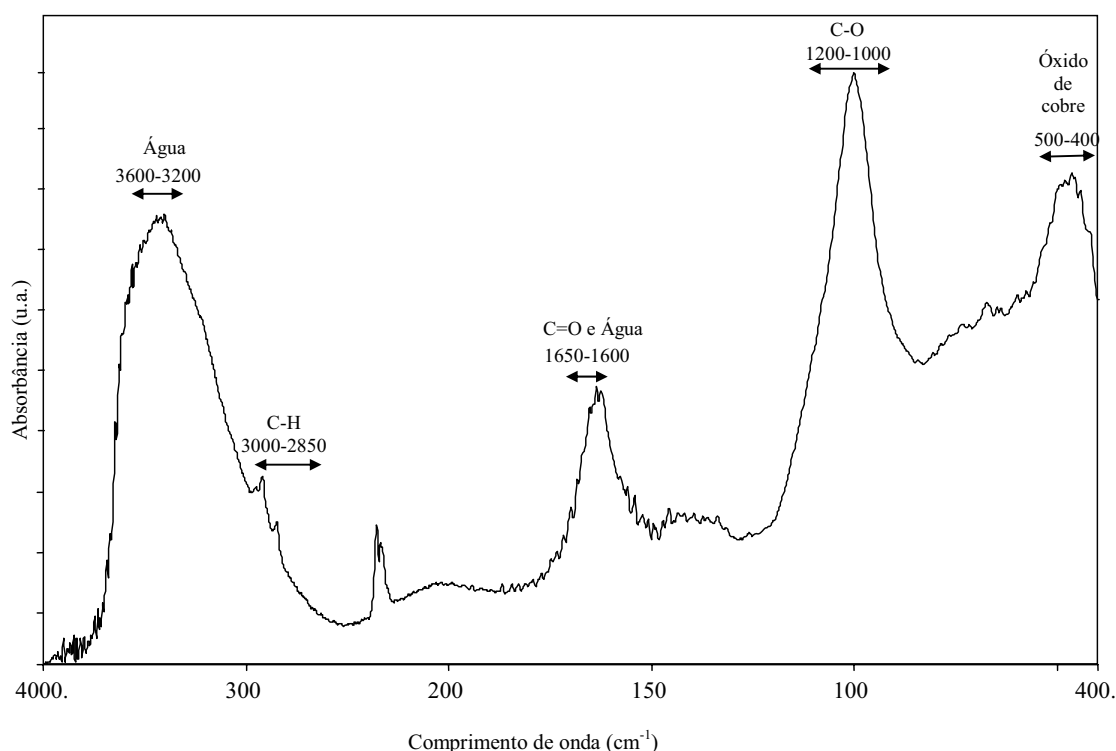


Figura 40 – Espectro de infravermelho para material amarelo/castanho coletado na superfície interna da amostra A94.

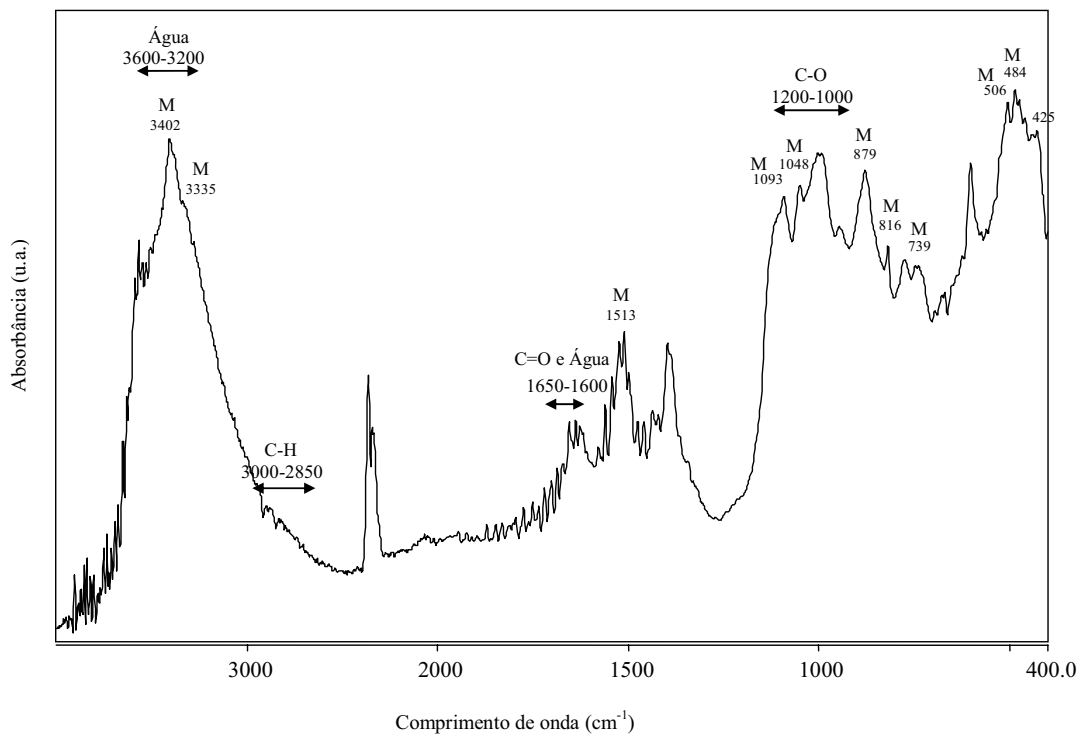


Figura 41 – Espectro de infravermelho para material esverdeado depositado na superfície interna da amostra A94.

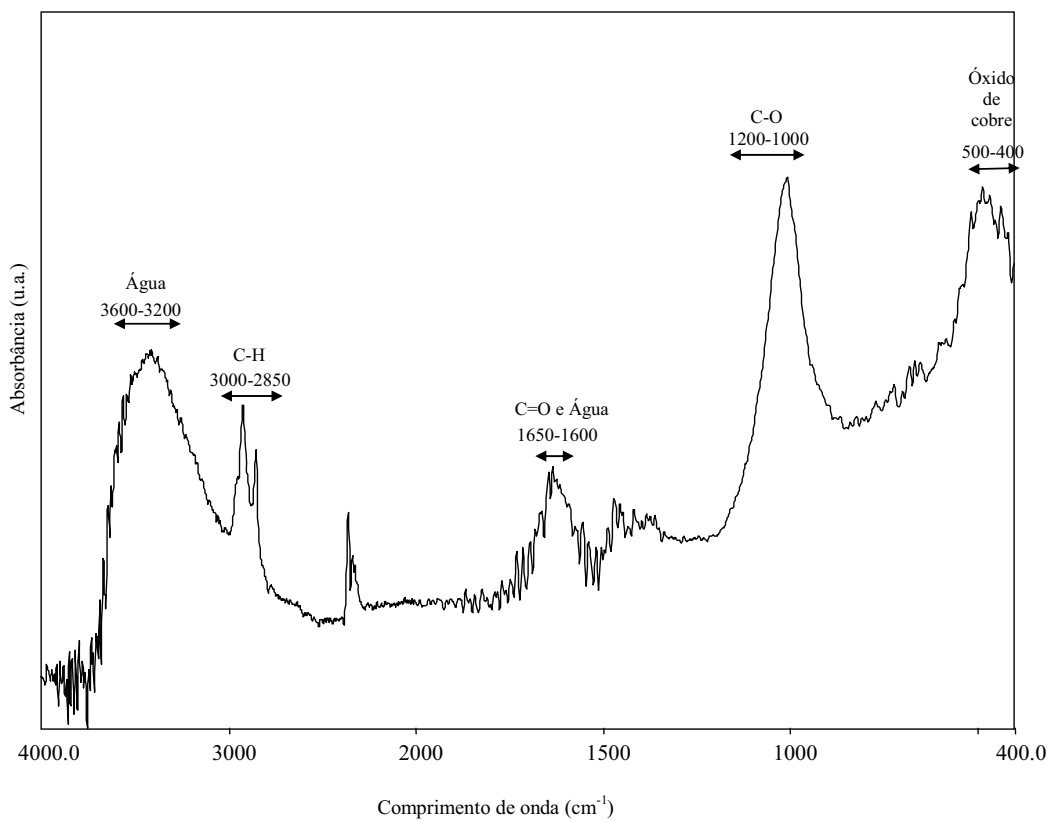


Figura 42 - Espectro de infravermelho para material amarelo/castanho coletado na superfície interna da amostra B86.

#### 4. CONCLUSÕES

A partir das análises realizadas, as seguintes considerações são possíveis:

- . Foram identificadas, em ambas as amostras em uso, compostos de corrosão típicos aos sistema cobre/água;
- . Não foram observadas camadas de oxidação passivante nas amostras A94 e B86, indicando potencial de continuidade das falhas;
- . Foram identificados compostos orgânicos nas áreas de corrosão indicando possíveis resíduos de lubrificantes e/ou filmes orgânicos depositados nas superfícies dos tubos;
- . A análise metalográfica indicou teores de oxigênio dissolvido semelhantes para A94 e B86. O valor de O<sub>2</sub> dissolvido para a amostra C04 foi bem inferior;
- . A amostra C04, mesmo com teor inferior de oxigênio dissolvido no metal, não assegura estabilidade na aplicação em instalações prediais, uma vez que os aspectos de projeto e controle físico-químico da água de abastecimento irão definir o comportamento na aplicação. Vale ressaltar que foi verificada a presença de carbono na superfície deste tubo, o que pode conduzir a ocorrência de pites.

#### 5. CONSIDERAÇÕES

Sob o aspecto físico-químico, todo o metal, exceto o ouro, tenderá a sofrer corrosão em meio aquoso. A velocidade com que este fenômeno irá ocorrer dependerá de uma série de fatores que podem ser otimizados no sentido de reduzir ou até mesmo inibir. Alguns fatores são reconhecidamente fundamentais no controle do processo de corrosão, tais como: pH, dureza da água, concentração de eletrólitos, presença de filmes inibidores, contaminações provenientes de resíduos de lubrificantes e processo de conformação mecânica.

A variação das fontes de fornecimento de água, bem como a sazonalidade da sua composição química atribui caráter de imprevisibilidade no comportamento de corrosão do metal.

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, presença de rebarbas de solda.

Solução: implementação de controle e monitoramento do fornecimento de água quente e fria, bem como a realização de um projeto complementar relativo ao sistema tubulação/água visando otimização e controle do processo corrosivo.

#### 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Rio de Janeiro, NBR 13206, Tubo de cobre leve, médio e pesado, sem costura, para condução de fluidos, 2004.

Chmielová, M., Seidlerová, J., Weiss, Z. *X-ray diffraction phase analysis of crystalline copper corrosion products after treatment in different chloride solutions*, Corrosion Science, Vol. 45, 883-889, 2003.

Chopra, S. Disponível em: [www.metallography.com](http://www.metallography.com). Acesso em: 25/10/2005.

Gentil, V. *Corrosão*. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC Ed., 1996. 345p.

Mendoza, A.R. et al. *Influence of the corrosion products of copper on its atmospheric corrosion kinetics in tropical climate*, Corrosion Science, Vol 46, 1189-2000, 2004.

Núñez, L. et al. *Corrosion of copper in seawater and its aerosols in a tropical island*, Corrosion Science, Vol. 47, 461-484, 2005.

Rushing, J.C., Edwards, M. *The role of temperature gradients in residential copper pipe corrosion*, Corrosion Science, Vol. 46, 1883-1894, 2004.

Srivastava, A., Balasubramaniam, R. *Microstructural characterization of copper corrosion in aqueous and soil environments*, Materials Characterization, Vol. 55, 127-135, 2005.