

fina; em água, uma estrutura onde se evidencia a presença significativa de perlite lamelar com alguma martensite fina.

As microdurezas das áreas afectas ao cordão de soldadura encontram-se expressos na Figura 1. Estes resultados mostram que o tratamento de normalização utilizado garante a homogeneização da estrutura quando o arrefecimento se processa ao ar ou em óleo. No entanto, o mesmo já não pode ser dito para o arrefecimento em água. Neste caso desenvolve-se mesmo uma estrutura extremamente dura do tipo martensítico [5].

A Tabela 1 mostra os valores da densidade de corrente e potencial de corrosão da amostra referência e das amostras após serem submetidas a tratamento térmico com diferentes procedimentos de arrefecimento. O carácter anódico do material aumenta com as tensões internas (maior dureza) e a corrosão triplica. Estes resultados vêm ratificar as conclusões tiradas anteriormente, pelas outras observações efectuadas, no que concerne ás condições necessárias para eliminar a heterogeneidade estrutural proveniente do efeito de temperatura no decurso duma soldadura - tratamento de normalização seguido de arrefecimento ao ar.

#### REFERÊNCIAS

1. L.L. Shreir, Corrosion, Metal / Environmental Reactions, vol.(Newnes, England: Butter, 1978), pp 9.102, 9.124
2. H.H. Uhlig, Corrosion Handbook (N.Y.: John Wiley and Sons, Inc, 1961), pp 595-597
3. D. C. Bennett, Pulp and Paper Industry Corrosion Problems, vol. 4, p.1, Swedish Corrosion Institute, Stockholm, Sweden, 1983
4. R. A. Page, Corrosion, 39, 10 (October 1983): pp. 409-421
5. G. Klaus, Heat Treatment and Processing Principles, (ASM International, 1990), pp 107-178
6. M. Stern and A.L. Geary, Journal of the Electrochemistry Society, 104, 1 (Jan.1957), pp 56-63

#### A MONITORIZAÇÃO DA CORROSÃO EM CIRCUITOS DE REFRIGERAÇÃO INDUSTRIAL DE BAIXA CONDUCTIVIDADE

C.M. Rangel<sup>1</sup>, A.I. de Sá<sup>1</sup>, V. Carvalho<sup>2</sup>, D.A. Eden<sup>3</sup>, D.W. Eden<sup>3</sup>

<sup>1</sup> INETI-Instituto de Materiais e Tecnologias de Produção

Paço do Lumiar, 22- Lisboa Codex

<sup>2</sup> CPPE, Companhia Portuguesa de Produção de Electricidade

Rua Mouzinho da Silveira nº10, 1250 Lisboa

<sup>3</sup> CML, Corrosion Management Ltd

Rutherford House, Manchester Science Park, Manchester, U.K.

#### Abstract

It is reported, for the first time in Portugal, the introduction of the electrochemical noise technique applied to the corrosion monitoring of the cooling circuit of a stator in a thermoelectric power station, allowing in real time, the detection and identification of a localised corrosion process.

The circuit uses electrolytic copper in contact with low conductivity water, less than  $1 \mu\text{Scm}^{-1}$ . A specially designed probe to be installed in a by-pass fashion to the cooling circuit, was developed by CML, U.K.

Results obtained during a monitoring period of 3 months are discussed.

#### Resumo

Neste trabalho introduz-se pela 1ª vez em Portugal a técnica do ruído electroquímico para a monitorização da corrosão no circuito de refrigeração do alternador duma Central Termoelectrica. Os resultados obtidos validaram a utilização desta técnica na monitorização de circuitos que utilizam cobre electrolítico em contacto com água de muito baixa conductividade eléctrica (inferior a  $1 \mu\text{S/cm}$ ), permitindo detectar e identificar processos de corrosão localizada.

A sonda utilizada num "by-pass" ao circuito em estudo, foi desenvolvida pela empresa CML (Corrosion Management Ltd, Manchester). O equipamento permite a recolha e armazenamento automático dos valores do ruído electroquímico do potencial e da corrente, assim como a posterior análise estatística.

### Introdução

O circuito de refrigeração do alternador duma central termoeléctrica é constituído por canais de cobre electrolítico com secção transversal entre 6 a 12 mm<sup>2</sup>, no interior dos quais circula a água de refrigeração<sup>1</sup>. A água utilizada é de elevada pureza, correspondente a uma condutividade eléctrica com valores de 0.1-0.2 µS/cm, pH neutro e uma concentração baixa em oxigénio, da ordem de 2-10 µg/l. O circuito de refrigeração é fechado e pressurizado com hidrogénio.

Durante o período de funcionamento pode haver necessidade de fazer uma compensação da água de refrigeração, o que pode ser desfavorável para os processos corrosivos. A presença de dióxido de carbono na água, para além do oxigénio dissolvido, pode provocar um abaixamento de pH, levando à dissolução do cobre e conseqüente formação de óxidos, que, numa situação extrema, poderão bloquear os canais de circulação da água de refrigeração na zona do alternador<sup>1</sup>.

Neste trabalho foi testado um sistema de monitorização da corrosão para este tipo de circuitos em que se utilizou como base a técnica do ruído electroquímico.

### Parte Experimental

Foi montado um circuito "by-pass" ao circuito industrial, onde foram inseridas três sondas electroquímicas, idênticas e em paralelo, construídas pela empresa CML, sujeitas às mesmas condições operacionais, o que permitiu alargar o espectro de resultados. As sondas foram ligadas à unidade "Multi-Technique Integrated Corrosion Monitoring System", também da empresa CML, que por sua vez, é controlada através de um IBM-PC compatível. O computador permite a recolha e armazenamento automático dos valores do ruído electroquímico de potencial e da corrente, assim como uma posterior análise através dos parâmetros estatísticos normalmente utilizados nesta técnica<sup>2,3</sup>.

### Resultados

O período de monitorização foi de três meses. Ao longo deste tempo, verificou-se uma variação nas concentrações de algumas espécies químicas dissolvidas na água de refrigeração acima do estabelecido como normal para este tipo de circuitos<sup>4</sup>, nomeadamente no caso do oxigénio, amónio e cobre total dissolvido, conforme se apresenta na fig. 1. Durante o 1º mês de monitorização houve também uma subida da condutividade eléctrica, chegando a atingir pontualmente o valor de 0.8 µS/cm, como se observa na figura 2, tendo-se verificado uma normalização a partir do 2º mês de monitorização, ou seja, um valor inferior a 0.2 µS/cm.

Os resultados obtidos pelas diferentes sondas foram considerados equivalentes e traduziram-se por períodos significativos do tempo total da monitorização, em que o índice de localização ( $I_{loc}$ ) se apresentou na zona 0.1-1, indicadora de um processo de corrosão localizado. A evolução do índice de localização, relativa à sonda 3, é apresentada na figura 3, onde se pode observar que a variável  $I_{loc}$  atinge muitas vezes, um valor próximo de 1.

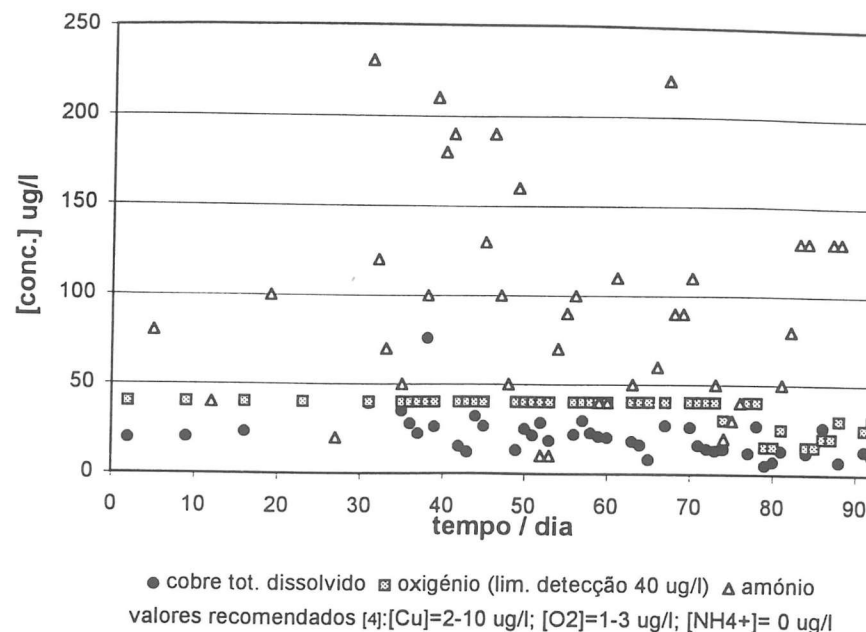


Fig.1 Evolução da concentração em oxigénio, amónio e cobre na água de refrigeração durante o período total de monitorização.

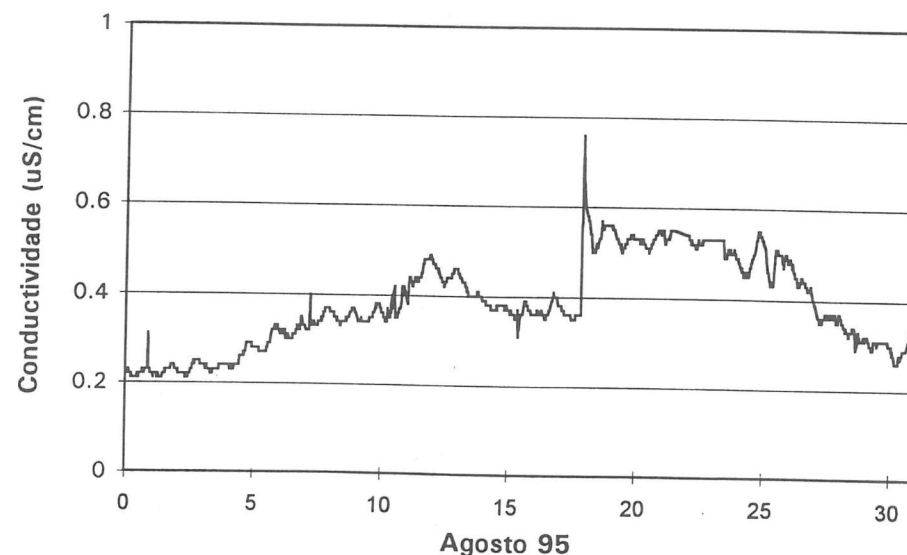


Fig.2 Evolução da condutividade eléctrica durante o 1º mês do período de monitorização.

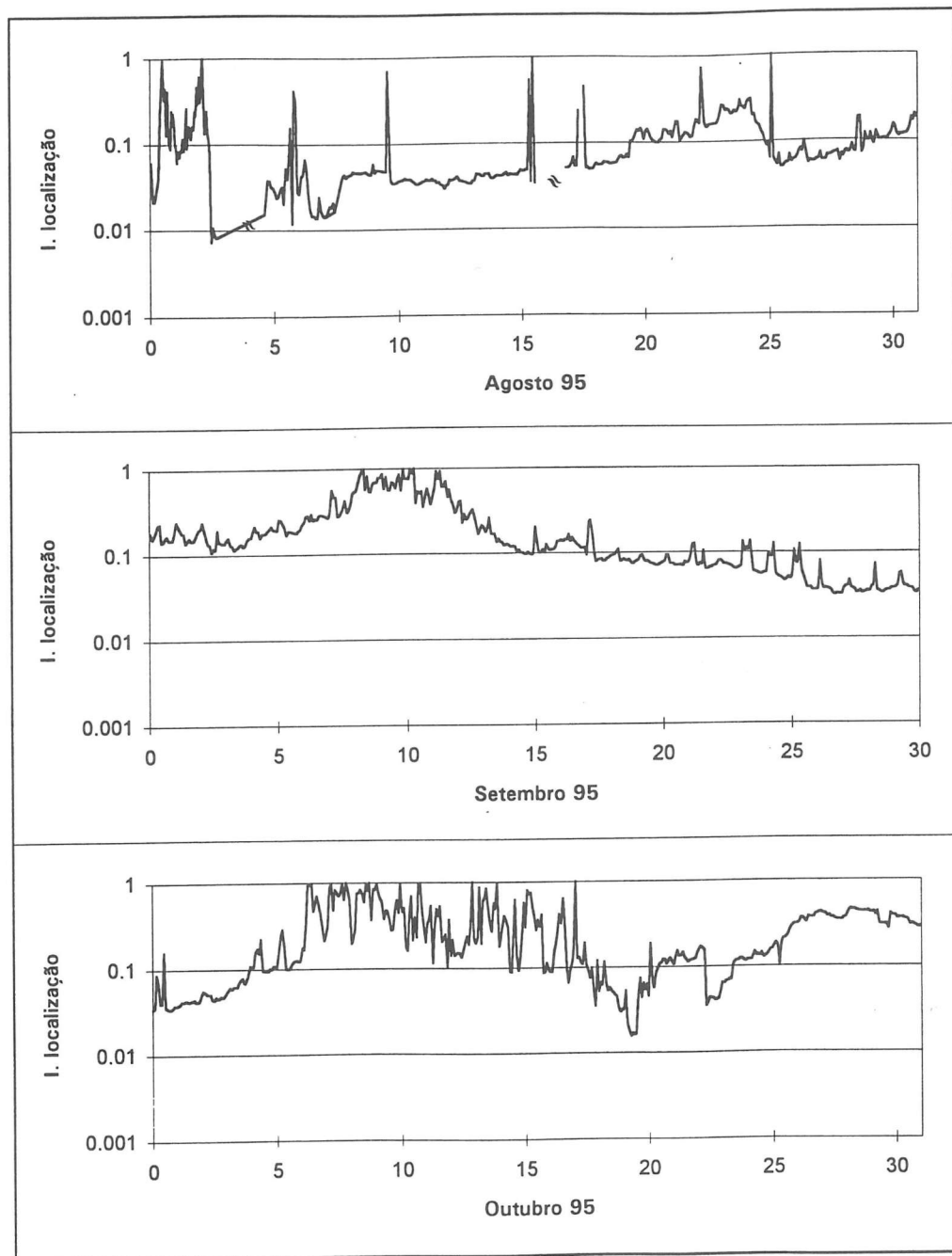


Fig.3 Evolução do valor do índice de localização da sonda 3 durante o período total de monitorização.

Para confirmação do tipo de corrosão ocorrido, os eléctrodos da sonda em cobre electrolítico, foram observados por microscopia electrónica de varrimento (MEV), permitindo identificar corrosão localizada, conforme se observa na figura 4.

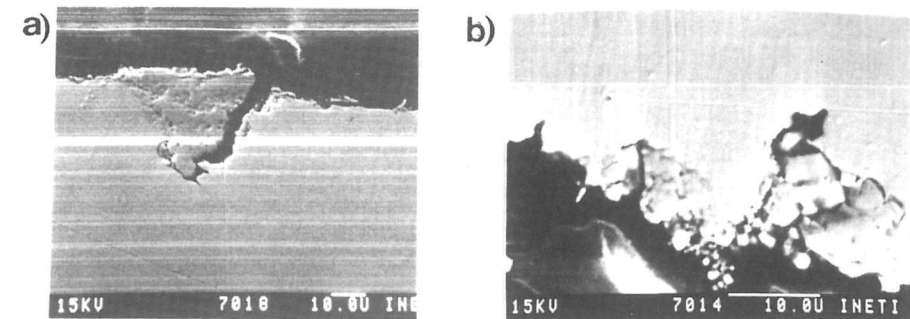


Fig.4 Aspectos da superfície metálica (secção transversal) da sonda 3 observada por MEV: a) 1000X, b) 2400X.

O mecanismo de ataque corrosivo, envolve uma componente de ataque do tipo intergranular, que após remoção dos grãos de cobre, dá origem às formas de corrosão encontradas na superfície (fig. 4). A corrosão intergranular poderá estar associada à presença do ião amónio, em simultâneo com o oxigénio, considerado agressivo para o cobre e ligas de cobre.

**Conclusões**

A técnica do ruído electroquímico revelou-se sensível à indicação do comportamento corrosivo em sistemas de baixa condutividade (<0.2 μS/cm), podendo ser utilizada na vigilância deste tipo de circuitos.

O sistema apresentou um comportamento corrosivo do tipo localizado, traduzido por valores elevados do índice de localização registados durante períodos significativos do tempo total de monitorização, o que foi posteriormente confirmado por observação metalográfica do material das sondas.

\*\*\*\*\*

Agradece-se à CPPE (grupo EDP) todo o apoio prestado na realização deste trabalho

**Referências**

[1] K.Schleithoff, H.W. Emshoff, VGB Kraftwerkstechnik, 70, nº 9, 1990.  
 [2] D.A. Eden, A.N. Rothwell, Corrosion 92, artigo nº 292, Houston, USA, 1990.  
 [3] M.A. Winters, P.S. N. Stokes, P.O. Zuniga, D.J. Schlottenmier, Corrosion 93, artigo nº 392, Houston, USA, 1990.  
 [4] H.G. Seipp, VGB Kraftwesktechnik, 63, nº 5, 1983.