

## ANÁLISE DE FALHAS DE TERMISTORES CERÂMICOS DO TIPO PTC

P. I. Paulin Filho, A. C. M. Vieira, Laboratório de Caracterização Estrutural,  
Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de São Carlos,  
[paulin@ufscar.br](mailto:paulin@ufscar.br)

### RESUMO

*Materiais cerâmicos do tipo PTC são cerâmicas semicondutoras policristalinas à base de titanato de bário com aditivos como lantânio e manganês. A análise realizada foi da falha de PTCs, inclusive com fratura, de pastilhas metalizadas utilizadas como reles em motores elétricos para refrigeradores. Os resultados de análises macroestruturais e microestruturais mostram uma degradação do eletrodo de alumínio depositado na superfície, na região de contato com a mola metálica (eletrodo), o que levou a formação de arco voltaico, gerando um aumento de temperatura de tal forma que a amostra sofreu fratura por choque térmico e fusão em determinadas regiões. Análises macro e microestrutural mostram a formação de regiões fundidas e formação de dendritas, bem como a formação de microesferas de titanato de bário de até 40 micrometros depositadas nos contatos elétricos, resultante das altas temperaturas (acima do ponto de fusão do titanato de bário), formadas durante a ocorrência do arco voltaico.*

### INTRODUÇÃO

Materiais cerâmicos do tipo PTC são cerâmicas semicondutoras policristalinas à base de titanato de bário com aditivos como lantânio e manganês (1). As características de resistência elétrica versus temperatura destes materiais mostram uma baixa resistividade elétrica e coeficiente de temperatura negativo em baixas temperaturas até atingir uma temperatura crítica, a temperatura de transição ou de Curie, a partir do qual exibe um coeficiente de temperatura positivo, com um aumento da resistividade elétrica de até cinco ordens de grandeza em relação resistividade elétrica inicial (2,3). Esta mudança de resistividade elétrica pode ocorrer em uma faixa de poucos graus centígrados. A dependência entre

propriedades elétricas e a microestrutura é bem documentada na literatura (4,5,6) e depende da inter-relação entre composição química, desenvolvimento da microestrutura e propriedades elétricas, ressaltando a dependência do tamanho de grãos e da condutividade elétrica. O efeito PTC relaciona-se intimamente à microestrutura, e está associado à formação de duplas barreiras elétricas dependentes da temperatura nas regiões de contornos de grão da cerâmica. A formação da camada resistiva presente nas regiões de contornos de grão, que envolvem os grãos semicondutores, resulta na criação de barreiras de potencial devido ao balanceamento dos níveis de Fermi. Cargas espaciais superficiais surgem nas vizinhanças dos contornos de grãos devido ao fluxo de elétrons provenientes do interior dos grãos em direção aos contornos (7). Os materiais PTCs cerâmicos são usados como reles, aquecedores autoreguláveis, temporizadores, sensores de temperaturas e as conexões são feitas através da superfície metalizada do PTC com fios soldados ou molas metálicas por um contato mecânico.

## MATERIAIS E MÉTODOS

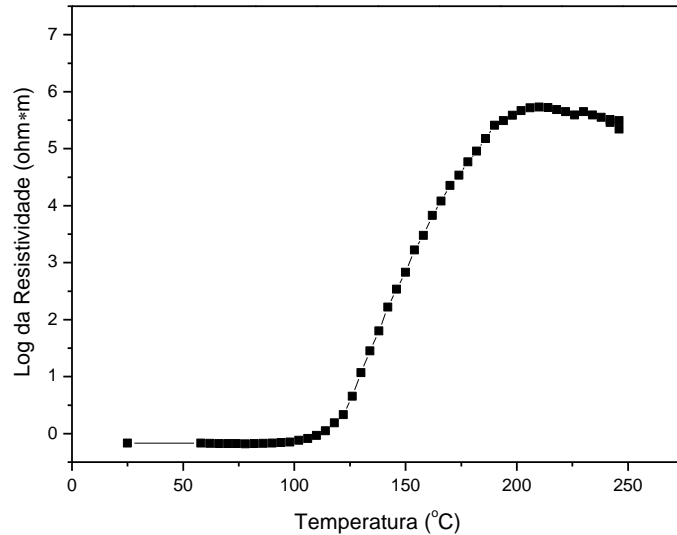
Os materiais utilizados na análise foram termistores do tipo PTC comerciais na forma de pastilhas de 20 mm. de diâmetro e 3 mm. de espessura utilizados como reles em motores de refrigeradores, e que estavam acondicionadas em recipiente plástico (housing). As análises foram realizadas em pastilhas já deterioradas e que sofreram fratura. Os resultados de resistividade elétrica foram realizados usando corrente contínua, usando um multímetro calibrado e as microestruturas foram obtidas usando um microscópio óptico Olympus modelo BX60M e microscópio eletrônico de varredura Philips modelo XL30 FEG.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Caracterização Elétrica e Microestrutural

A determinação da curva de resistividade elétrica foi realizada ao ar, em corrente contínua, utilizando um multímetro calibrado. O resultado obtido é mostrados na Figura 1. O material apresenta um comportamento típico dos materiais termistores com coeficiente de temperatura positivo. Observa-se um efeito PTC da ordem de 5,9

e resistividade iniciais (a 25°C) de 0,67 ohm.m. Estes resultados estão de acordo com a aplicação como reles.



Figuras 1. Curva de resistividade versus temperatura da amostra 100.

A microestruturas obtidas por microscopia óptica é mostrada nas Figura 2 com aumentos de 500 vezes e 1000 vezes. Observa-se uma microestrutura uniforme de grãos regulares com tamanhos de grãos constantes e da ordem de 5 micrometros em todas amostras. A porosidade presente esta distribuída uniformemente na microestrutura, necessária para uma resistência ao choque térmico elevada.

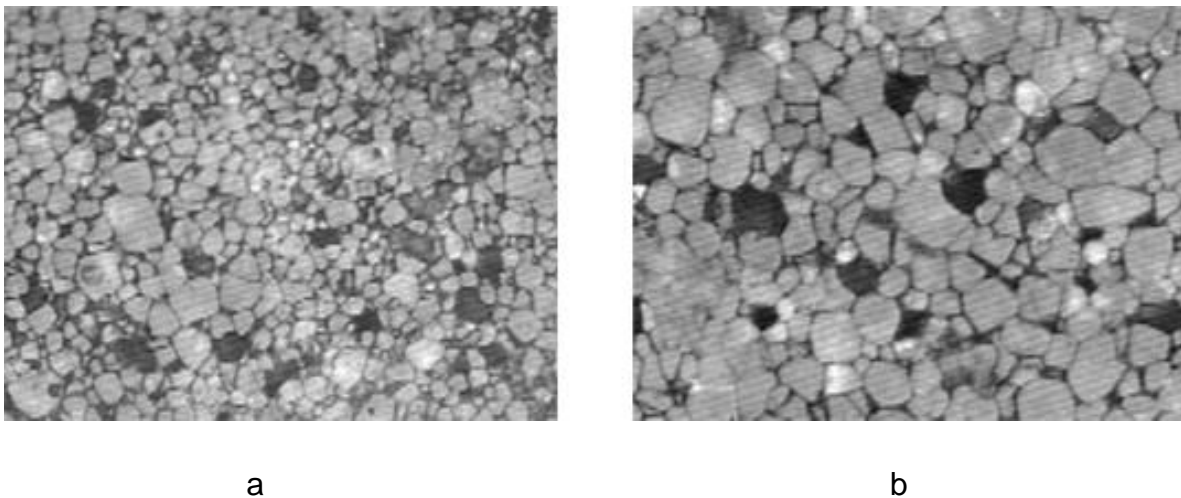


Figura 2. Microestrutura da amostra polida. a) 500x e b) 1000x

Os resultados obtidos estão de acordo com o que é necessário em termos de resistividade elétrica e microestrutura para aplicações destas cerâmicas como componentes elétricos em motores de partida.

A única anormalidade observada foi na superfície das amostras, nos eletrodos, que apresentaram duas saliências de coloração mais escura, observado nas duas faces das pastilhas. Estas saliências são devidas à pressão dos terminais elétricos, “molas”, utilizados para aplicação de tensão elétrica nos eletrodos. A Figura 3 mostra a extensão da saliência na superfície dos eletrodos,.

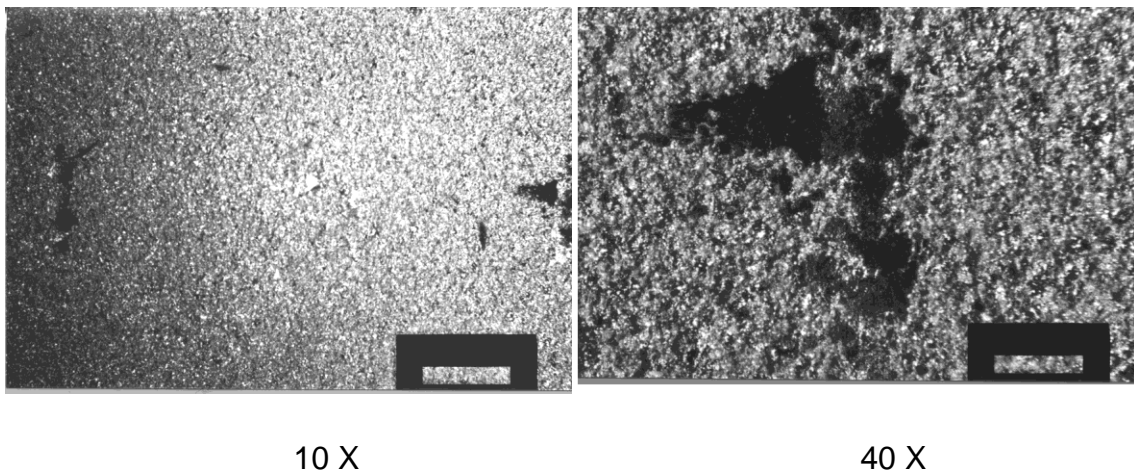


Figura 3. Macrografia da superfície dos eletrodos da pastilha.

As micrografias obtidas por microscopia eletrônica, Figura 4 destacam as bordas do eletrodo e da região deteriorada com a degradação do eletrodo.

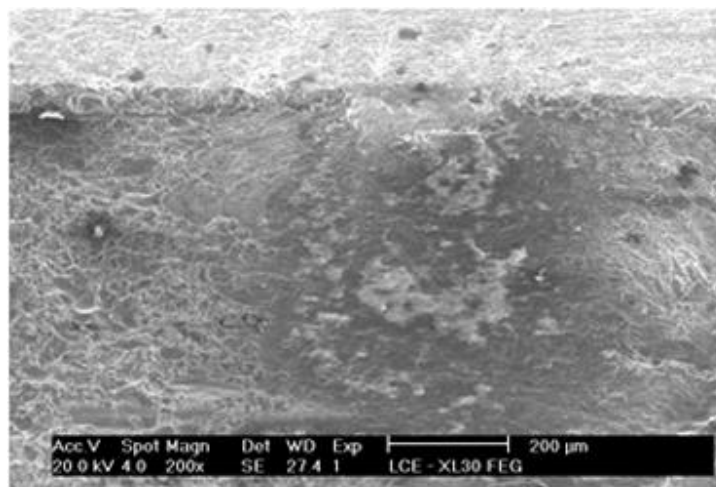


Figura 4. Micrografia da região desgastada do eletrodo da amostra.

Estes resultados mostram que nestas depressões esta ocorrendo o desgaste e deterioração do eletrodo, o que diminui o contato entre eletrodo e os terminais metálicos, “molas”, criando uma região localizada de contato elétrico ruim e de alta resistividade elétrica, o que pode levar a uma operação deficiente do dispositivo. A não existência do eletrodo no contato com a mola levará a uma concentração de corrente elétrica apenas nos pontos de contato deteriorado, não sendo a corrente elétrica uniformemente distribuída na superfície dos eletrodos e, portanto em toda a superfície da pastilha da cerâmica PTC. A deterioração do eletrodo é causada pela pressão da mola contra a superfície da pastilha e pela expansão e contração diferencial entre a mola e o conjunto eletrodo/cerâmica, que ocorre com ciclos de aumento e decréscimo de temperatura, durante a operação do dispositivo.

#### Caracterização do PTC Falhado

Uma amostra de um resistor PTC que sofreu falha durante a operação era constituída por uma fração da pastilha, apresentando uma secção transversal fraturada, mostradas na figura 5. O material apresenta a superfície escurecida onde o eletrodo foi aplicado e que gradativamente diminui da região de fratura para a borda externa, evidenciando sinais de que altas temperaturas ocorreram na superfície e ponto de contato com os terminais elétricos, molas.

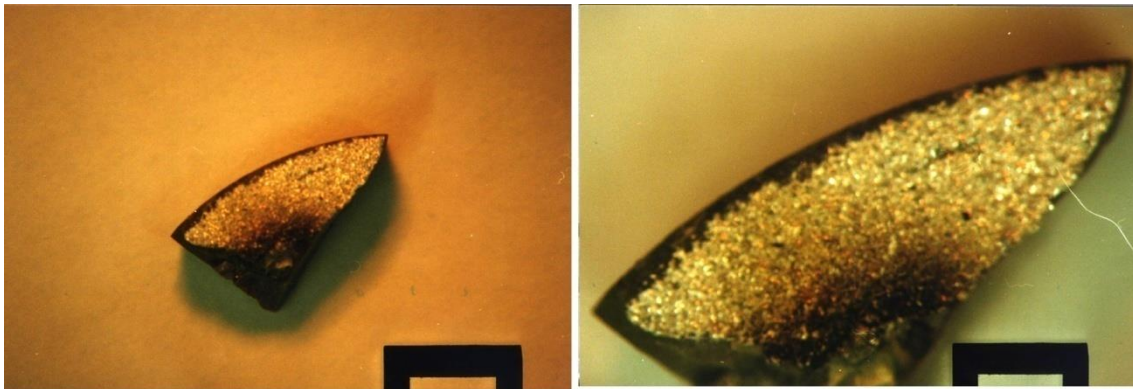


Figura 5. Macrografia da amostra de PTC danificado

A amostra apresenta duas seções transversais, que são superfícies de fratura, mostradas na Figura 6 e apresenta uma superfície com um aspecto de material

fundido, com contornos arredondados e superfície aparente vítrea e brilhante, como detalhado na Figura 7.

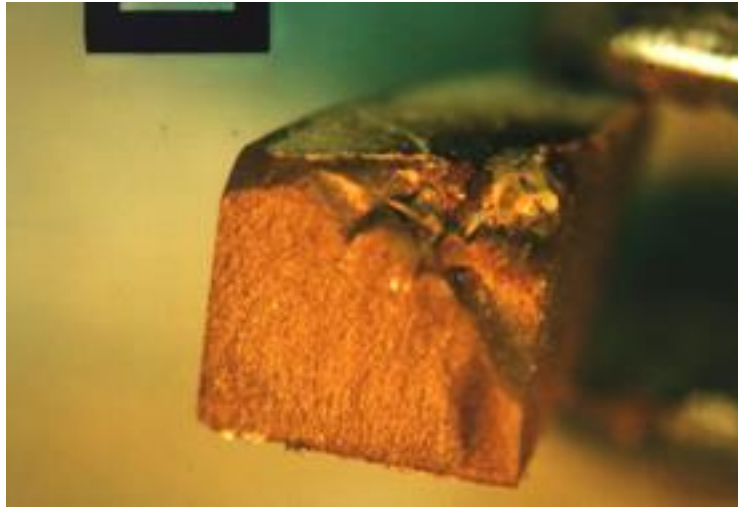


Figura 6. Macrografias da amostra falhada mostrando as superfícies de fratura.

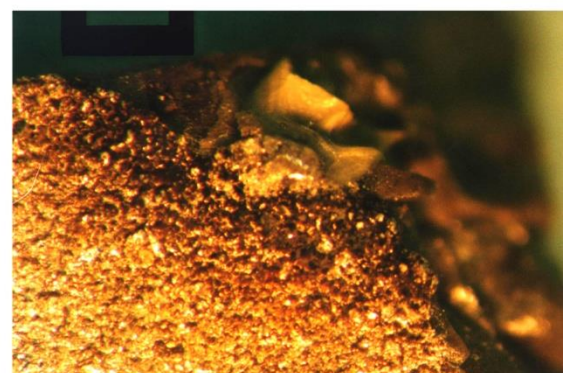
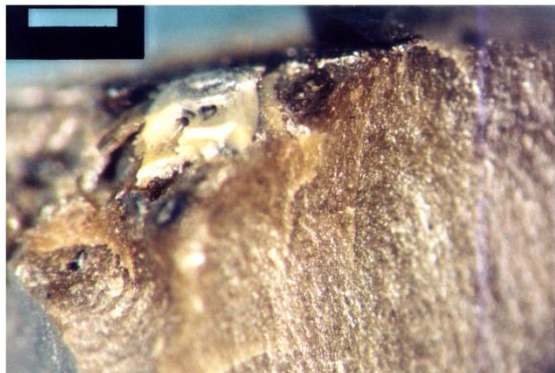
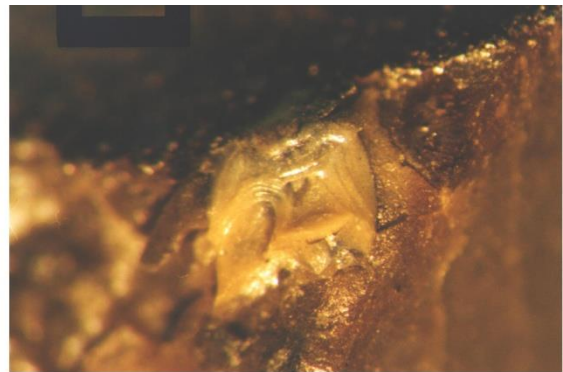
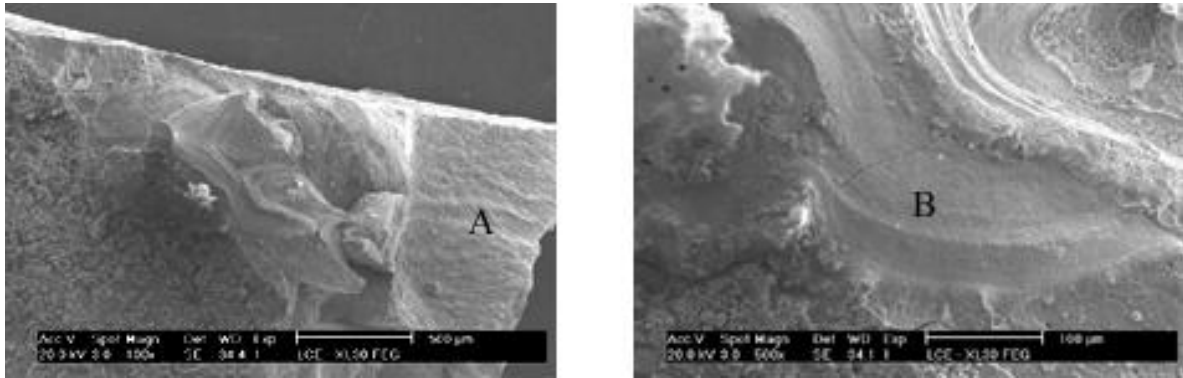


Figura 7. Macrografias da superfície contendo material que sofreu fusão.



A Figura 8-a obtida por microscopia eletrônica mostra a mesma região que sofreu a fusão e a superfície da secção transversal que sofreu fratura e a figura 8-b mostra com maiores detalhes a região de bordas arredondadas em que ocorreu a fusão e conseqüente solidificação.



a

b

Figura 8. Micrografia da região fraturada e fundida.

A Figura 9-a é uma ampliação da região A mostrado na Figura 8-1 da superfície de fratura e mostra a presença de partículas e grãos característicos de materiais cerâmicos policristalinos que sofreram fratura intergranular. Por outro lado, uma amplificação da região B da figura 8-b mostrada na Figura 9-b e c, mostra a formação típica de dendritas formadas a partir da solidificação de um líquido.

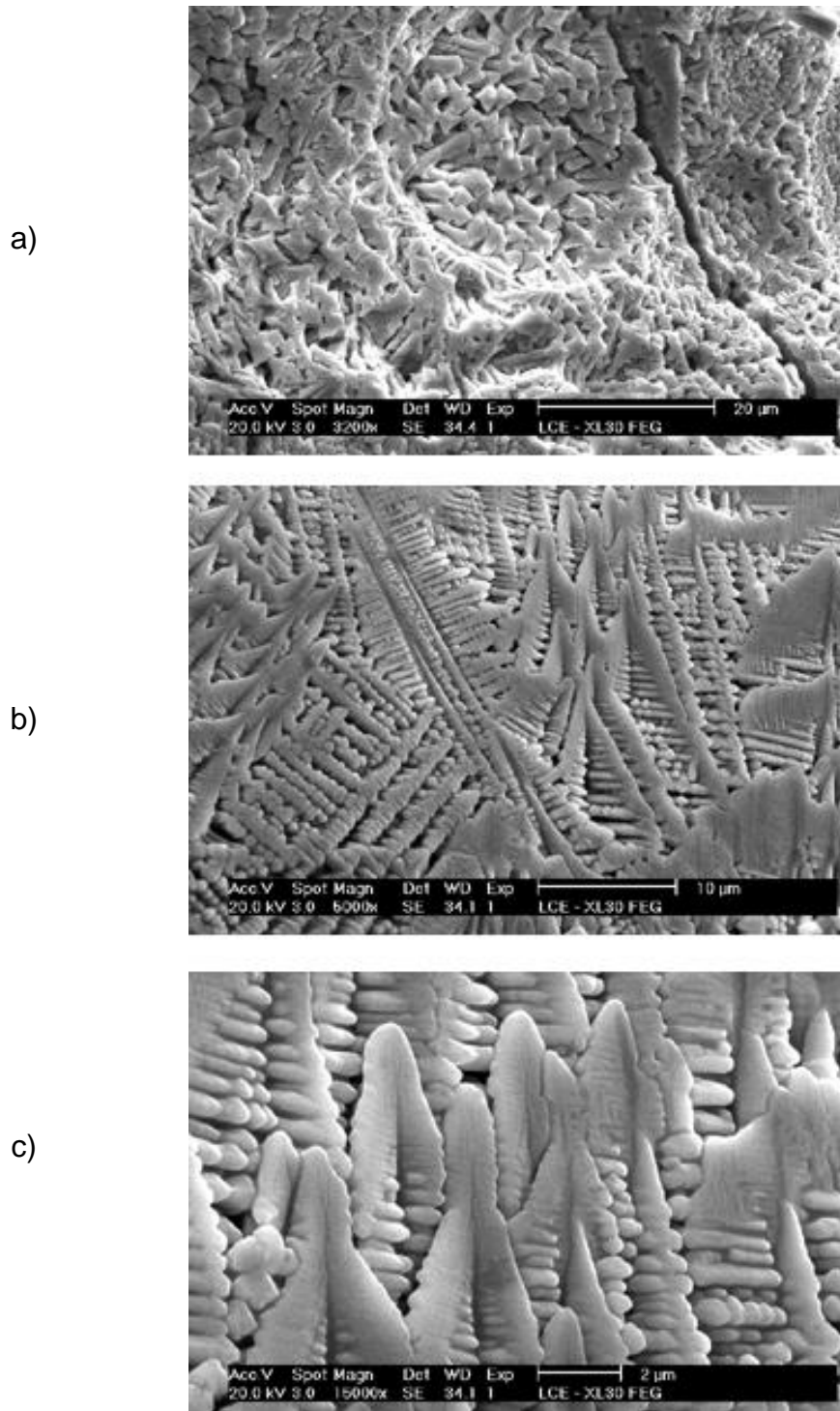


Figura 9. Microestruturas da superfícies fraturadas a) seção transversal e b) e c) da região fundida.

Estes resultados mostram que a região foi exposta a temperaturas elevadas, acima de 1612 °C, que é a temperatura de fusão do titanato de bário, principal componente dos termistores do tipo PTC. A formação de um líquido e subsequente solidificação e



cristalização do titanato de bário e o choque térmico ocorrido, com variações de temperatura da ordem de 1400 °C, leva a formação de trincas e conseqüente fratura do componente cerâmico, o titanato de bário, como já reportado na delaminação de termistores (8). A presença destas trincas pode ser observada na Figura 10-a e b.

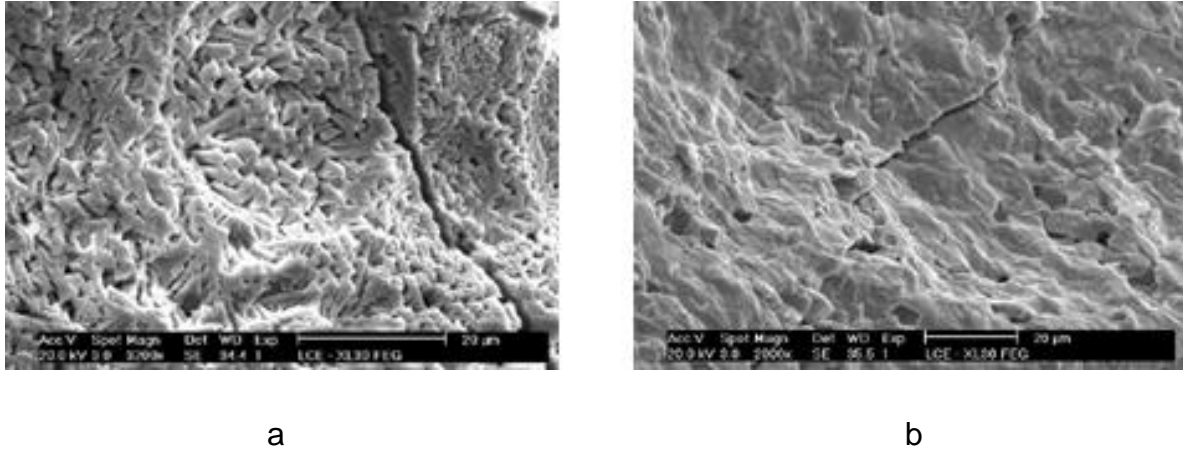


Figura 10 Detalhe de trincas produzidas na região de fratura.

A análise dos contatos metálicos, as molas, mostra uma deterioração da superfície do mesmo, com regiões atacadas e oxidadas, como mostra a Figura 11. A figura 11-b é uma ampliação da superfície atacada e mostra a presença de material depositado, com partículas perfeitamente esféricas.

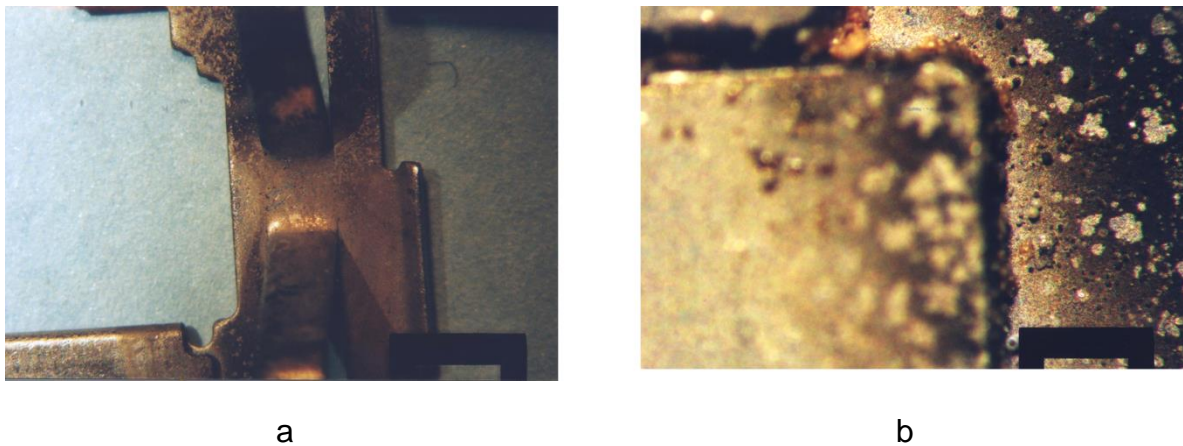


Figura 11. Macrografia da superfície deteriorada do contato metálico - mola

A análise das partículas esféricas feita através de microscopia eletrônica e análise química qualitativa é mostrado na Figura 12 e observa-se que as esferas formadas são constituídas de Ba e Ti, os elementos da pastilha cerâmica, o titanato de bário. As formações destas esferas ocorrem provavelmente devido à deterioração do eletrodo e do contato direto entre a mola e a cerâmica, criando um contato de alta resistência elétrica, o que pode provocar um arco voltaico com capacidade de fundir o titanato de bário, como apontado anteriormente, pois a região fundida esta próxima

à superfície de aplicação do eletrodo e portando em contato com a mola. A formação de partículas esféricas de titanato de bário confirma que altas temperaturas foram atingidas, pois as mesmas foram formadas através da quebra por fratura da pastilha e material fundido, constituído por titanato de bário, foi arremessado junto à base da mola, distante aproximadamente 3mm do contato entre a mola e o eletrodo/cerâmica.

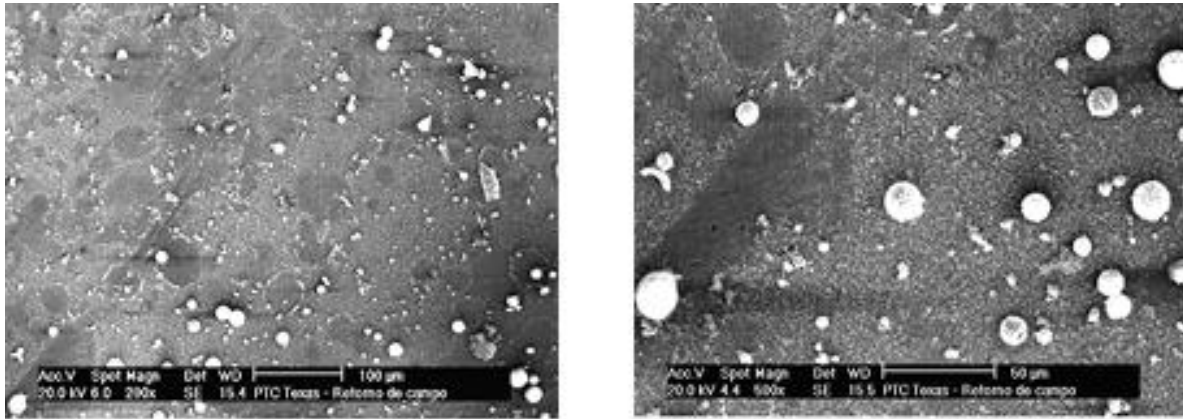


Figura 12. Análise do material depositado na base dos contatos elétricos – molas.

#### Composição das esferas:

Ba – 50,26 %	Ti – 23,39 %
Fe – 1,18 %	Ni – 3,18 %
Br – 18,24 %	Ca – 3,25 %

## CONCLUSÃO

Os resultados de análises macroestruturais e microestruturais mostram uma degradação do eletrodo de alumínio depositado na superfície, na região de contato com a mola metálica (eletrodo), o que levou a formação de arco voltaico. A formação de arco voltaico nas regiões de mau contato gerou um aumento de temperatura de tal forma que a amostra sofreu fratura por choque térmico e fusão em determinadas regiões. Análises macro e microestrutural mostram a formação de regiões fundidas e formação de dendritas, bem como a formação de microesferas de titanato de bário de até 40 micrometros depositadas nos contatos elétricos, resultante das altas

temperaturas (acima do ponto de fusão do titanato de bário), formadas durante a ocorrência do arco voltaico.

## REFERÊNCIAS

1. Ceramic Materials for Electronics. Processing, Properties and Applications, 2nd Ed., Ed. Relva C. Buchanan, Marcel Dekker Inc., New York (1991).
2. S. B. Desu, D. A. Payne, Interfacial Segregation in Perovskites: IV, Internal Boundary Layer Devices, J. Am. Ceram. Soc. **73** (1990) 3416.
3. W. Heywang, Barium Titanate as a Semiconductor with Blocking Layers, Solid State Electron. **3** (1961) 51.
4. Mancini, M. W. e Paulin Filho, P. I. Barreiras de potencial mapeadas por microscopia de força atômica em cerâmicas à base de BaTiO<sub>3</sub> dopadas com lantânio. Cerâmica. **33** (2007) 147-152
5. W. Heywang, Semiconducting Barium Titanate, J. Mater. Sci. **6** (1971) 1214.
6. Preis, W., Sitte, W. Electrical properties of grain boundaries in interfacially controlled ceramics. J. Eletroceram. **34** (2015) 185-206.
7. Dewitte, C., Elst, R., Delannay, F. On the mechanism of delamination fracture of BaTiO<sub>3</sub>-based PTC thermistors. J. Eur. Ceram Soc. **14** (1984) 481-192.

## FAILURE ANALISYS OF CERAMIC OF PTC TYPE THERMISTORS

### ABSTRACT

PTC ceramic materials are polycrystalline semiconductor ceramics based on barium titanate with additives like lanthanum and manganese. The failure analysis of PTC, with fracture, was done on metalized pellets used in electrical motors of refrigerators. The macro and microstructures show a degradation of aluminum electrodes at the pellets surface in the contact region with external metallic electrodes, generating a voltage discharge, increasing temperature in such a way that fracture occurs by thermal chock and melting. The analysis show a formation of melted regions and dendrites formations.