

Ruptura de cabo condutor de alumínio devido ao atrito de linha de pipa com cerol

Aluminum conductor cable rupture due to friction of kite line with cerol

Hamilton Lelis Ito^a, José Belotti Neto^b, Jonas de Carvalho Gomes^b
Ricardo Tufaniuk^c

^a Fundação de Apoio ao IPT, São Paulo-SP, Brasil

^b Laboratório de Corrosão e Proteção, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., São Paulo-SP, Brasil

^c AES-Eletropaulo São Caetano do Sul-SP, Brasil

*E-mail: hlito@ipt.br

Palavras-chave:

alumínio, cabo condutor de eletricidade, pipa, cerol, corte de cabo, choque elétrico.

Keywords:

aluminum, electrical conductive cable, electric power distribution line, kite, cerol, cable cutting, electric shock.

Resumo

Entre os problemas enfrentados pelas companhias de distribuição de energia elétrica em áreas urbanas servidas por linha aéreas, está a ruptura de cabos causada por acidentes automobilísticos ou danos causados por impacto de galhos de árvores provocado pelo vento, principalmente durante tempestades. Nos últimos anos, um problema adicional tem aumentado nas áreas urbanas devido a uma tradicional brincadeira de criança. O uso do cerol (abrasivo aplicado em linha de empinar pipa para derrubar pipas adversárias) tornou-se um problema, não apenas para motociclistas e pedestres, mas também para a distribuição de energia elétrica em São Paulo. Os fios dos cabos energizados de alta tensão colocados no topo dos postes, usados para distribuição de energia elétrica têm sido cortados por linhas de pipa abrasivas, reduzindo a seção resistente do cabo. Múltiplas consequências podem ocorrer devido ao enfraquecimento ou à ruptura do cabo, desde a interrupção de fornecimento de energia até acidentes fatais causando choque elétrico em pedestres.

Abstract

Among the problems faced by the electric power distribution companies in urban areas served by aerial lines, there is the rupture of cables caused by car accidents or by the impact of tree branches due to wind during storms. Lately, an additional problem has risen in urban areas due to a traditional kid's playing. The use of manja or cerol (abrasive applied to kite lines to cut down other kites in kite fighting) became a problem not only to motorcycle riders and pedestrians but also to the electric power distribution in Sao Paulo, Brazil. Wires of the high voltage energized cables laid on the top of the posts used

in distribution systems have been cut by abrasive kite lines reducing the cable resistant section. Multiple consequences can occur due to the weakening or rupture of a cable, from power distribution interruption to fatal accidents causing electrical shock in pedestrians.

1 Introdução

No passado, em muitos lugares, empinar papagaios ou pipas não costumava ser um tipo de brincadeira perigosa nem para os participantes da brincadeira e nem para qualquer pessoa que estivesse em torno da área em que a brincadeira acontecia. Antes de empinar a pipa, era necessário fazê-la, primeiro criando um *design*, procurando a madeira apropriada (geralmente bambu) para construir a armação, comprando papel impermeável e cola, e finalmente produzindo manualmente a pipa. Costumava haver muito mais áreas não urbanizadas apropriadas para a brincadeira do que há atualmente. O foco das crianças era principalmente competir buscando levar a pipa à altura máxima que pudesse atingir, ou a disputa se focava na capacidade de construir a pipa com *design* mais criativo. Hoje a ideia de competição na brincadeira de empinar pipas mudou radicalmente. O vencedor deixou de ser aquele capaz de fazer a pipa voar mais alto, ou de construir uma pipa mais bonita, mais colorida ou exótica, mas aquele com maior competência de cortar a linha dos adversários, eliminando-os da disputa. O cerol, pó abrasivo feito de vidro moído colado à linha transformou uma inofensiva brincadeira de criança em um jogo perigoso. Acidentes causados por cortes provocados por linha impregnada com cerol são frequentemente mostrados nos noticiários de TV, na imprensa e outros meios de comunicação.

Os cabos condutores de eletricidade são projetados para durar dezenas de anos, mas as linhas de distribuição aéreas podem ser danificadas por descargas atmosféricas, por pássaros, por galhos de árvores, por carros trombados contra postes, ou por outras ações externas como atrito destes contra linha impregnada com cerol. Os cabos de distribuição são normalmente construídos como uma cordoalha com sete fios de alumínio, sendo seis fios enrolados sobre um fio central.

O nível máximo de impurezas do alumínio, especificado para condutores de eletricidade, é geralmente muito baixo, por causa dos efeitos nocivos das impurezas na condutividade elétrica. Portanto o alumínio de alta pureza é o que produz melhor rendimento na condução de eletricidade. Essa alta pureza, no entanto, faz com que as propriedades mecânicas do alumínio para condutores de eletricidade, inclusive a resistência ao desgaste, sejam baixas (ASM INTERNATIONAL, 1990). A resistência ao desgaste não é o objetivo principal de cabos nus de alumínio para condutores de eletricidade, que obviamente não são projetados para resistir ao desgaste abrasivo, pois este não está previsto para condições normais de uso. É irônico dizer, mas na atualidade algo anormal como fricção de linhas de pipa com cerol sobre os cabos se tornou usual. As recomendações das companhias de distribuição sobre os perigos de empinar pipas perto da rede elétrica são ignoradas, pois se percebeu que muitas vezes a linha pode tocar no cabo sem causar choque em quem esta empinando a pipa. Isso pode gerar mais um desafio, além daquele de cortar as linhas das pipas adversárias: desafiar a recomendação de segurança e ficar roçando a linha contra os cabos suspensos nos postes, enquanto

se empina a pipa.

Para reduzir o risco de acidentes, os cabos alumínio nu de distribuição aérea podem ser substituídos por cabos encapados com aço, ou as linhas aéreas podem ser substituídas por linhas subterrâneas, o que resulta num trabalho moroso em áreas totalmente construídas da cidade, pois, requer interrupções de tráfego de veículos e interrupções no fornecimento de energia.

A **Figura 1** mostra a localização de um acidente em que houve a ruptura de um cabo na Rua José Martins Lisboa no Bairro Jardim Helena no município de São Paulo, SP, no dia 01 de setembro de 2009. Na **Figura 2**, é mostrado o cabo caído sobre a calçada que rompeu em consequência de cortes produzidos pelo atrito de linha de pipa com cerol. A **Figura 3** mostra o aspecto do pedaço de cabo enviado ao IPT para que se realizasse uma análise para determinação das causas da falha. Nessa Figura, podem ser observados cortes nos arames que constituem o cabo e restos de rabiolas de pipa presos ao cabo. A queda deste cabo resultou na morte de um transeunte que ao esbarrar no mesmo foi eletrocutado.

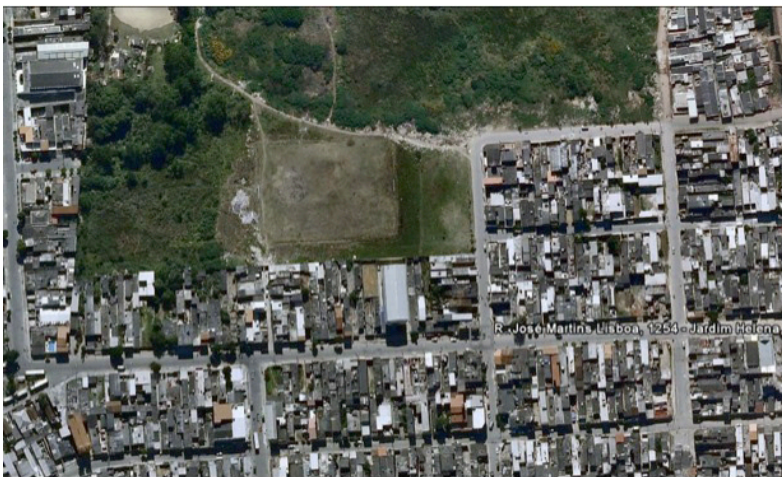


Figura 1 – Vista aérea do local do acidente.



Figura 2 – (a) Local do acidente. A seta aponta para o cabo caído. (b) A seta preta aponta para o cabo rompido. Observe restos de rabiolas de pipas presas aos cabos (setas vermelhas). (c) Observe como o cabo rompido toca o chão na altura do meio fio (seta).

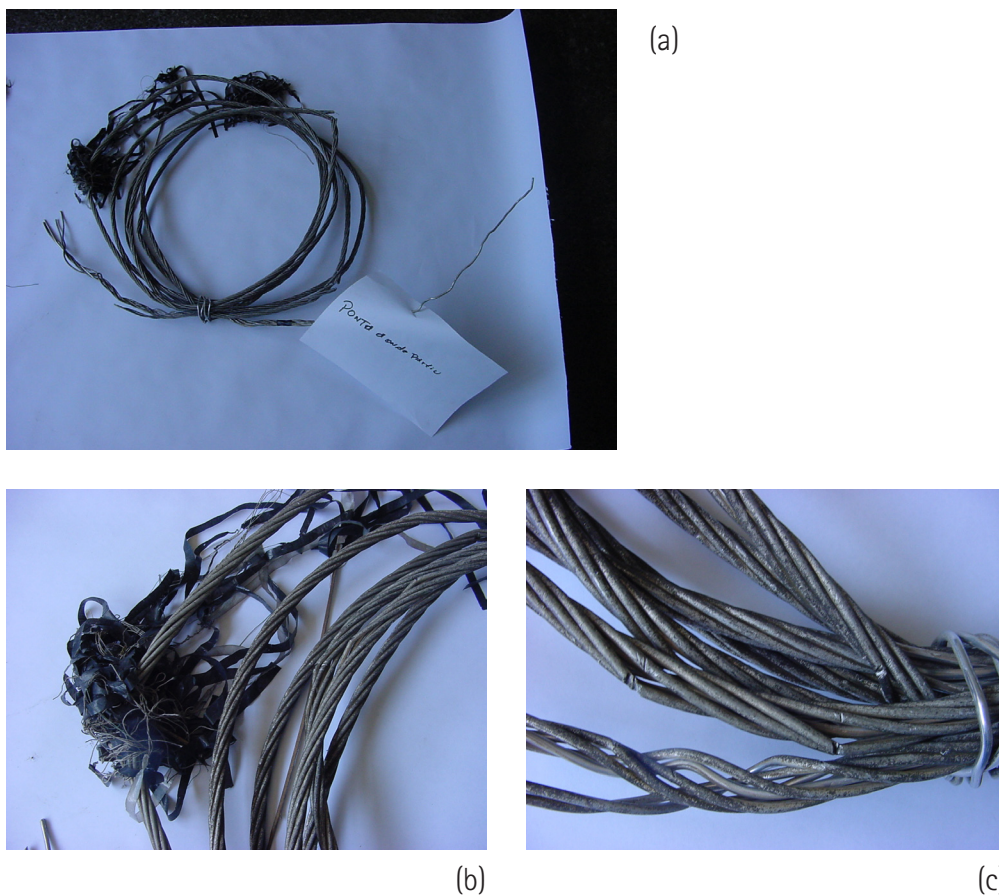


Figura 3 – (a) Aspecto geral da amostra removida do cabo, abrangendo a extremidade rompida, trazida para análise no IPT. (b) Detalhe de (a) mostrando restos de linha e de rabiolas de pipa presos no cabo. (c) Detalhe de (a) mostrando diversos fios cortados, sendo alguns totalmente seccionados.

2 procedimento experimental

O cabo removido do poste foi examinado visualmente e fotografado com câmara digital SONY DSC S30. As extremidades rompidas dos fios do cabo foram numeradas de 1 a 7, cortadas e montadas em resina epóxi para exame de suas superfícies em microscópio eletrônico de varredura (MEV) JEOL 6200. Pedacos da linha de pipa presa ao cabo também foram observados e submetidos à análise por dispersão de energia (EDS) no mesmo microscópio. Seções longitudinais de fios que apresentaram cortes transversais foram montadas em baquelite para observação em microscópio óptico Olympus BX 50M. A análise química do material foi realizada em espectrômetro de emissão óptica ARL – 3460.

3 Resultados

A análise química (**Tabela 1**) mostrou que o teor de alumínio do material do cabo é de 99,8 % em massa, que é apropriado para condução de eletricidade, pois atende à especificação ASTM B236 (American Society For Testing And Materials, 2015) para liga de alumínio para aplicações elétricas, conforme mostra a **Tabela 1**.

Tabela 1 – Composição Química.

Elemento	Massa obtida na análise (%)	Massa especificada pela ASTM B236 (%)
Boro (B)	0,0130 ± 0,0010	≤ 0,05
Cobre (Cu)	0,00090 ± 0,00010	≤ 0,05
Ferro (Fe)	0,100 ± 0,010	≤ 0,40
Gálio (Ga)	0,0096 ± 0,0006	≤ 0,03
Magnésio (Mg)	0,0020 ± 0,0010	≤ 0,03
Manganês (Mn)	0,00100 ± 0,00020	≤ 0,01
Silício (Si)	0,064 ± 0,004	≤ 0,10
Vanádio (V) + Titânio (Ti)	< 0,002	≤ 0,02
Zinco (Zn)	0,0033 ± 0,0003	≤ 0,05
Alumínio (Al)	99,8*	≤ 99,50

* Balanço

A microestrutura do material é constituída de matriz de solução sólida rica em alumínio e precipitados insolúveis ricos em ferro, conforme pode ser visto na **Figura 4**. Esta microestrutura é apropriada para condutores de eletricidade.

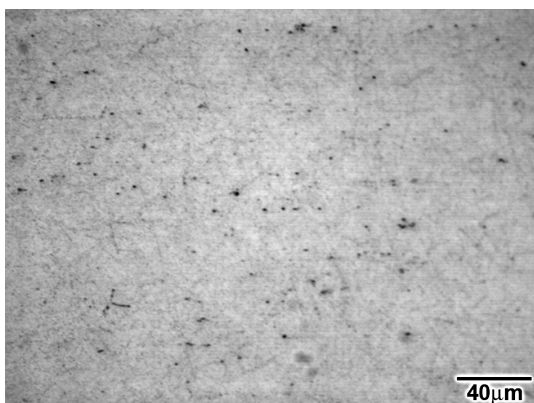


Figura 4 – Microestrutura: partículas insolúveis de FeAl₃ em uma matriz de solução sólida rica em alumínio. Ataque: HF 0,5 % em H₂O.

O exame visual do cabo (**Figura 5a**) mostrou um emaranhado misto de linha de pipa e rabiola preso

ao cabo retirado da rede após ruptura e queda. Essa observação constitui uma evidência de que é usual se empinar pipas na área em que ocorreu o acidente. Diversos cortes podem ser observados na superfície do cabo. Uma observação mais detalhada ao longo de todo o segmento de cabo trazido para análise revelou trechos em que diversos fios se apresentaram seccionamento e/ou com ruptura em 100 % da seção, conforme se pode observar nas Figuras 5b e 5c.

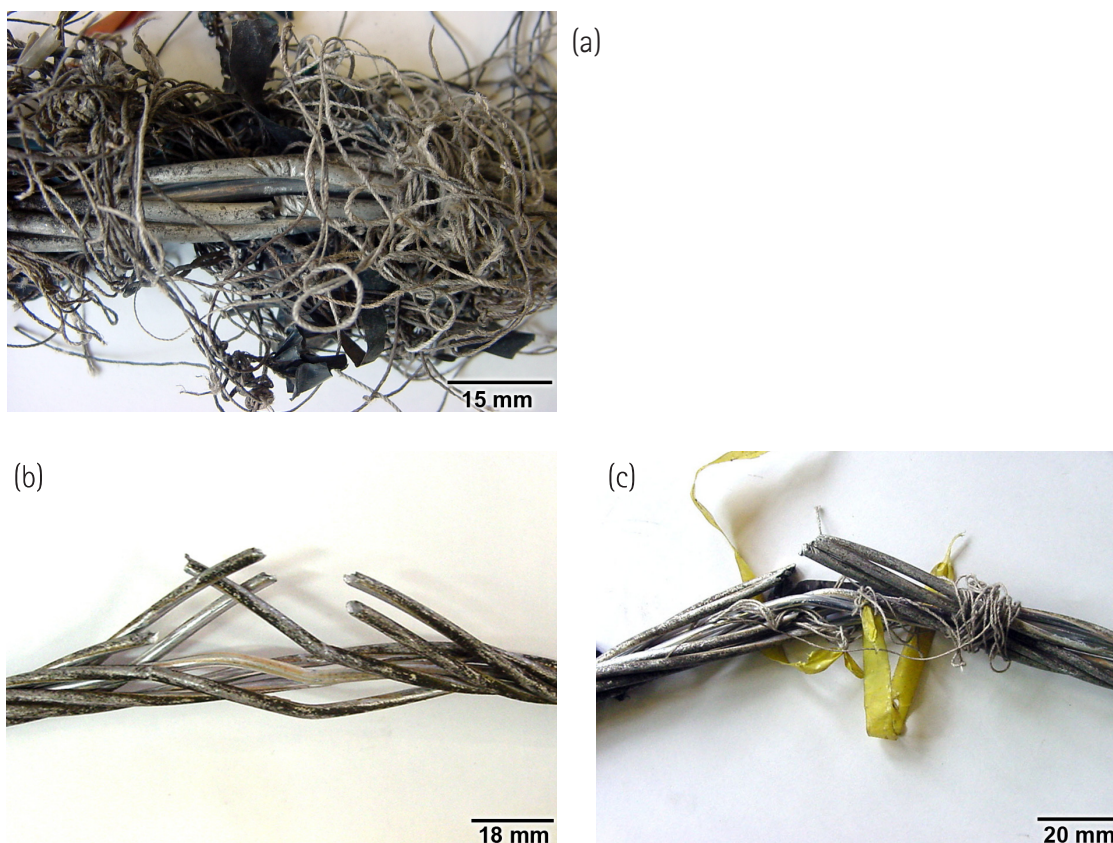


Figura 5 – (a) Observa-se um emaranhado misto de linha de pipa e rabiola preso ao cabo. Nessa mesma região, são observadas marcas de corte nos fios do cabo. (b) e (c) As fotografias apresentadas representam trechos do cabo em que há fios com 100 % de seccionamento por corte ou corte seguido de fratura.

Os sete fios de uma das extremidades rompidas do cabo, montados em resina epóxi, foram submetidos a exame por MEV, conforme se pode observar na Figura 6. Dos sete fios, quatro apresentaram 100 % da seção cortada, um apresentou 80 % da área da seção cortada e 20 % da área fraturada, um apresentou aproximadamente 20 % da área da seção transversal cortada e 80 % da área fraturada e apenas um dos fios (o fio central) apresentou 100 % da seção fraturada. Isso significa que, antes da ocorrência da ruptura, mais de 70 % da seção transversal já havia sido cortada. A Figura 7a mostra o aspecto típico das superfícies cortadas e a Figura 7b mostra alvéolos nas superfícies de fratura dos fios 4 e 5. Foi realizada uma observação detalhada de todas as áreas fraturadas e em nenhuma delas foram observadas estrias de fadiga.

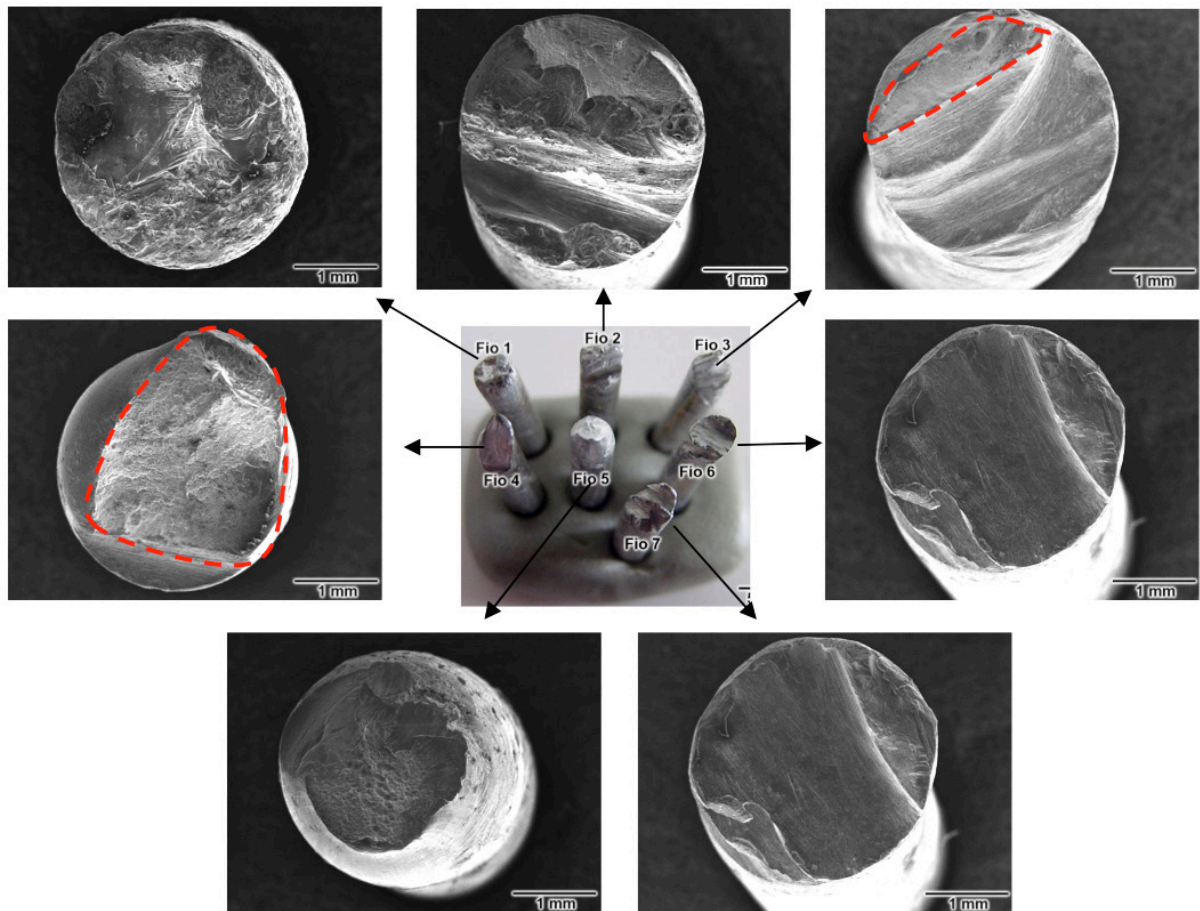


Figura 6 – Aspecto das superfícies dos sete fios de uma das extremidades rompidas do cabo. Os fios 1, 2, 6 e 7 apresentaram 100 % da seção cortada. No fio 3, a região delimitada em vermelho mostra cerca de 20 % da seção transversal fraturada e o restante da seção foi cortado. No fio 4, a região delimitada em vermelho mostra cerca de 80 % da seção transversal rompida e o restante da seção foi cortado. Apenas o fio 5 (fio central) apresentou 100 % da seção fraturada. Nesse fio, observa-se acentuada redução de área da seção rompida.

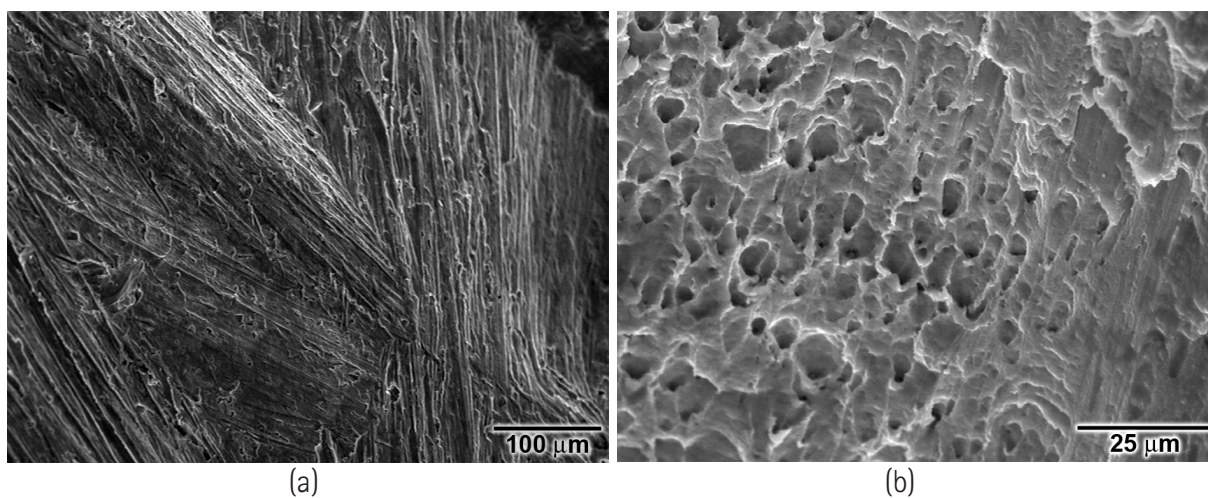


Figura 7 – (a) Aspecto típico das superfícies cortadas mostrando riscos causados pelo atrito entre os fios do cabo e a linha com cerol. (b) Os alvéolos mostrados na figura foram observados em todas as superfícies das áreas fraturadas. Esse aspecto microfractográfico é característico de ruptura dúctil.

Para observar as regiões em torno dos cortes, seções longitudinais de fios com cortes, mas não totalmente seccionados, foram embutidas em baquelite. A Figura 8 mostra duas regiões selecionadas apresentando duas situações. Na primeira observada na Figura 8a, é mostrado um corte abrangendo quase metade da seção resistente do fio, mas sem indicações de que esteja ocorrendo deformação plástica do material. Na segunda, observada na Figura 8b, é mostrada uma situação em que o corte abrange mais da metade da seção resistente. Nessa região, é possível observar uma estrição, indicando processo de ruptura dúctil em andamento.

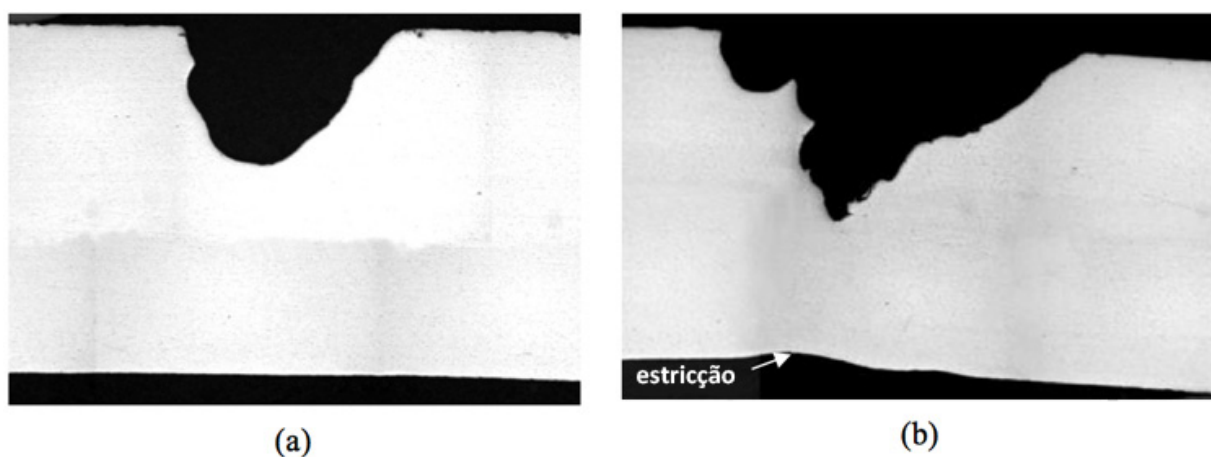


Figura 8 – (a) Aspecto de uma seção longitudinal de um fio mostrando um corte. (b) Aspecto de uma seção longitudinal de um fio mostrando uma região com corte em vias de sofrer ruptura. A seta aponta para a região em que o processo de estrição já estava iniciado.

A análise por EDS realizada em um pedaço da linha removido do emaranhado que veio preso à amostra do cabo, apresentada na **Figura 9**, revelou a presença dos elementos silício (Si), oxigênio (O), alumínio (Al), carbono (C) e ferro (Fe). O silício e o oxigênio são provavelmente resultantes da composição do vidro, o carbono da composição da fibra, o alumínio de resíduos removidos do cabo e o ferro provavelmente devido a alguma contaminação.

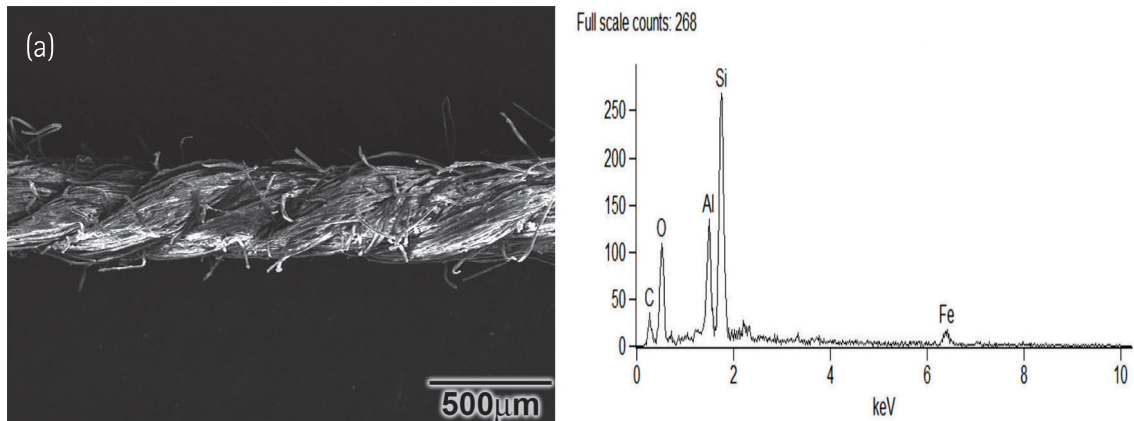


Figura 9 – (a) A região da linha de pipa demarcada pelo retângulo foi submetida à análise por dispersão de energia (EDS) em MEV. (b) Espectro obtido na análise por EDS. Os picos de oxigênio e silício indicam a presença de vidro, o pico de carbono é provavelmente decorrente da composição química da fibra, o pico de alumínio de resíduos removidos do cabo durante o corte e o ferro provavelmente de alguma contaminação.

4 Discussão

A análise sobre como a ruptura ocorreu é direta, ou seja, o cabo foi submetido à ação de um dispositivo de corte, neste caso à linha de pipa impregnada com cerol, que provocou a diminuição da sua seção resistente até o ponto em que este não suportou a carga e rompeu. A estrição observada na **Figura 8b** retrata o processo da falha, ou seja, a ocorrência de deformação plástica imposta pela redução da seção resistente do cabo, proveniente dos cortes. A **Figura 7b** mostra o resultado final desse processo, ou seja, a ruptura de caráter dúctil decorrente da sobrecarga mencionada. O evento da ruptura não deve ter ocorrido durante a ação da linha de pipa sobre o cabo. O mais provável é que sofreu uma carga adicional ao seu peso próprio, provavelmente uma rajada de vento suficiente para fraturar os fios que ainda estavam resistindo à carga de trabalho. Outra possibilidade, não observada neste caso, é que cortes com linha de pipa impregnada com cerol causam concentração de tensões favorecendo a ocorrência de fadiga que se propaga em consequência de esforços provenientes de vibração eólica.

Outra questão importante é que mesmo antes da etapa crítica de ruptura e queda dos cabos com

comprometimento da seção resistente, havendo algum carregamento excepcional como uma colisão de veículo contra postes, tais cabos se rompem e caem com muito mais facilidade do que cabos com seção resistente íntegra. A queda nessas circunstâncias coloca em risco de choque elétrico, não apenas transeuntes e vítimas do acidente, mas também os socorristas que chegam para atender a ocorrência.

No caso em questão, a causa da falha do cabo está diretamente relacionada com a ação humana de empinar pipas utilizando linhas impregnadas com abrasivo. O corte do cabo pode ter sido apenas o resultado de uma atitude de desafio e desobediência à recomendação de não empinar pipas perto da rede elétrica, mas também pode ter sido intencional. No caso da segunda hipótese se confirmar, o que deveria ser apenas uma brincadeira de criança se transforma num crime que deve ser combatido.

As consequências deste caso de falha merecem uma atenção especial nesta discussão porque falhas deste tipo ocorrem com mais frequência em regiões de periferia onde vivem pessoas com menor nível de informação. As vítimas potenciais de cabos energizados rompidos são normalmente das mesmas áreas em que vivem os agentes causadores das falhas. O cabo que sofreu falha e permitiu a produção deste artigo provocou uma morte devido a um choque elétrico e a interrupção do fornecimento de energia elétrica por várias horas em torno da área do acidente. Alguns anos atrás, analisamos um cabo de cobre instalado perto de uma favela em São Paulo que foi cortado do mesmo modo, provocando um *blackout* de muitas horas em uma área apreciável da cidade (Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2011). De acordo com a imprensa (EM DEZ ..., 2011), no Brasil, o cerol causou 372 acidentes em linhas de distribuição de energia entre 2001 e 2010.

Do ponto de vista técnico, algumas soluções podem ser aplicadas, umas mais caras do que outras. A melhor é substituir as linhas aéreas por linhas subterrâneas, ou, adotar como solução paliativa a substituição de cabos nus por cabos encapados com aço.

Em 2005, a Câmara Municipal de São Paulo aprovou a lei 14.023, que obriga concessionárias, empresas estatais e operadoras de serviço a enterrarem todo o cabeamento (de rede elétrica, telefonia, televisão e afins) instalado no município. A regulamentação da lei, em vigor desde 2006, prevê o enterramento de 250 km de fios e cabos por ano. Porém, a Grande São Paulo tem enterrados hoje apenas 5 % de seus 30 mil km de fios e cabos, o equivalente a 3 mil km, segundo informações da própria concessionária. (BURGARDT, 2011).

Tomando como referência que num prazo de cinco anos, apenas 5 % das obras foram realizadas, se for mantido o mesmo ritmo sem considerar o crescimento da cidade, o trabalho será concluído em 100 anos.

Diante desse cenário, fica claro que para melhorar a situação é necessária, além das medidas de caráter estritamente técnico, realizar ações sócio-político-educacionais, uma vez que o agente causador das falhas é o próprio ser humano. Em caso de constatação de que o corte dos cabos com linhas de pipa é resultado de ações criminosas, além das ações sócio-político-educacionais também terá que se acrescentar a ação policial.

5 Conclusões

- A composição química e a microestrutura do material são apropriadas para alumínio usado para condução de eletricidade.
- O atrito de linha impregnada com cerol contra a superfície do cabo provocou cortes que reduziram a seção resistente causando a ruptura.
- Do ponto de vista estritamente técnico, a solução para evitar acidentes similares ao ocorrido é substituir as linhas aéreas de distribuição de energia elétrica por linhas subterrâneas.
- Para se obter uma solução mais efetiva do problema, ações sócio-político-educacionais precisam ser realizadas.

6 Agradecimentos

À AES-Eletropaulo pela permissão para usar os resultados do relatório técnico sobre a análise de falha do cabo e ao Instituto De Pesquisas Tecnológicas Do Estado De São Paulo S.A. pelo incentivo para produzir este artigo.

7 Referências

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM B236-07**: Standard specification for aluminium bars for electrical purposes (Bus Bars). West Conshohocken, PA: ASTM International, 2015.

ASM INTERNATIONAL. **ASM Handbook volume 2**: Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special Purpose Materials., Material Park, OH: ASM International, 1990. p. 62-123.

BURGARDT, L. **Redes subterrâneas: Saiba como cidades viabilizaram a conversão da fiação aérea por cabeamento enterrado. Infraestrutura: projetos, custos e construção**, edição 7, out. 2011. Disponível em: <<http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/7/redes-subterraneas-235532-1.aspx>>. Acesso em: 27 set. 2016.

EM DEZ anos, **cerol causou 372 acidentes na rede elétrica. Portal R7 Notícias**, São Paulo, 1 ago. 2011. Disponível em: <<http://noticias.r7.com/sao-paulo/noticias/cerol-causou-372-acidentes-na-rede-eletrica-em-10-anos-20110801.html>>. Acesso em: 21 dez. 2012.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Análise de falha em cabo para-raios**. São Paulo: IPT, 2011. (Relatório Técnico do IPT N° 120 108-205).