

ESTUDO DE CORROSÃO ATMOSFÉRICA EM CONDUTORES DE ALUMÍNIO LIGA, INSTALADOS EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO, EM ÁREAS COM POLUIÇÃO MARINHA SEVERA

Vanderlei Robadey	Sidnei Ueda	Sebastião Carvalho
AMPLA	NEXANS BRASIL	NEXANS BRASIL
vrc@ampla.com	sidnei.ueda@nexans.com.br	sebastiao.carvalho@nexans.com.br

Palavras-chave

Alumínio Liga
Condutores
Cobre
Poluição Marinha

Resumo

Este trabalho objetiva mostrar os resultados obtidos, até a presente data, dos testes de campo e laboratoriais realizados em condutores de alumínio liga, utilizados em redes de distribuição instaladas em áreas de litoral com presença de poluição marinha.

O objetivo deste trabalho é analisar a possibilidade de substituição dos condutores de cobre pelos condutores de alumínio liga, em função da evolução do preço do cobre no mercado internacional.

Dentro deste contexto, as seguintes alternativas de condutores foram testadas:

Condutores de alumínio de liga 5005 e 6201, sem e com graxa.

Condutor de Alumínio 1350 com alma de aço.

1. Introdução

A atual conjuntura do mercado internacional faz-se necessária uma revisão periódica das tendências de utilização dos materiais condutores. De acordo com os gráficos abaixo se verifica o comportamento das variações dos preços dos materiais condutores, na Bolsa de Metais de Londres – LME, o que nos levou a estudar a aplicação do alumínio liga em substituição ao cobre.

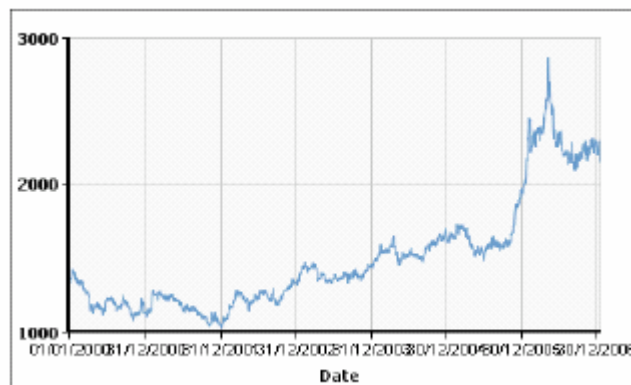


Fig. 1: Evolução do preço do Alumínio Liga (US\$/ton - período 01/2000 – 12/2006) Fonte: LME

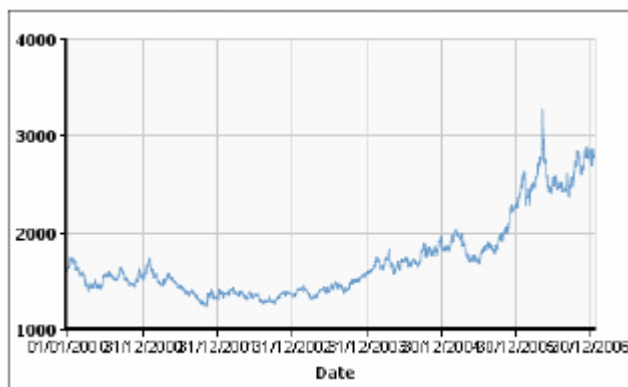


Fig. 2: Evolução do preço de alumínio (US\$/ton, período 01/2000 – 12/2006) Fonte: LME



Fig. 3: Evolução do preço do cobre (US\$/ton período 01/2000 – 12/2006) Fonte: LME

Uma das principais razões para existir boa resistência no alumínio é a formação de uma fina camada compacta de óxido na superfície do metal, a qual pode alcançar dezenas de angstroms de espessura.

A destruição desta película tem sido responsável pelo processo de corrosão, por isso um grande número de estudos está sendo direcionado aos fatores físico-químicos e climáticos relacionados com a passivação e corrosão em vários meios aquosos [1,2]. Outro ponto também muito discutido na literatura é a utilização de graxa como proteção contra corrosão, motivo pelo qual também instalamos condutores com graxa. Neste estudo se objetiva o comportamento eletroquímico e a resistência à corrosão das ligas 5005 e 6201 em NaCl 5% verificando a influência desse meio no caráter protetor da camada passivante existente sobre os condutores de alumínio sem e com alma de aço e sem e com graxa, respectivamente.

2. Características dos Condutores

2.1 Condutores de Alumínio com Alma de Aço

Os condutores de alumínio com alma de aço são condutores elétricos formados por um fio de aço galvanizado central e coroas de fios de alumínio 1350 encordoadas concêntricamente. Para nosso estudo optamos por um cabo de alumínio com alma de aço, com classe de revestimento da camada de zinco tipo B. A formação do condutor utilizado é 6x1, ou seja, 6 fios de alumínio e 1 de aço central conforme figura 4.

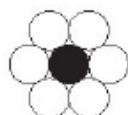


Fig.4 - Encordoamento condutor CAA 6x1

A tabela 1 apresenta a composição química do alumínio 1350, enquanto a tabela 2 apresenta a composição química do aço utilizado.[3]

Tabela 1 – Composição Química Al 1350

Elemento	%m/m
Alumínio, mínimo	99,5
Silício, máximo	0,10
Ferro, máximo	0,40
Cobre, máximo	0,05
Manganês, máximo	0,01
Cromo, máximo	0,01
Zinco, máximo	0,05
Boro, máximo	0,05
Gálio, máximo	0,03
Titânio + Vanádio, total máximo	0,02
Outros, cada, máx.	0,03
Outros, total, máx.	0,10

Tabela 2 – Composição Química do Aço

Elemento	%m/m
Alumínio, mínimo	99,5
Silício, máximo	0,10
Ferro, máximo	0,40
Cobre, máximo	0,05
Manganês, máximo	0,01
Cromo, máximo	0,01

2.2 Condutor de Alumínio Liga 5005 (sem e com graxa)

Os condutores de alumínio liga 5005 são condutores formados por fios de alumínio 5005 encordoados concentricamente. Nossa primeira amostra deste tipo de condutor trata-se de um condutor de alumínio 5005 com formação 7 fios, ou seja, 7 fios de alumínio liga 5005 conforme figura 5 sem graxa. A segunda amostra deste tipo de condutor foi confeccionada com graxa preenchendo seus interstícios. Em resumo, nosso estudo compreende a utilização de condutores de alumínio liga 5005 com e sem graxa.

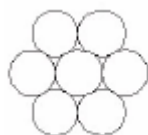


Fig.5 - Encordoamento condutor liga de Al 5005 7 fios

A tabela 3 apresenta a composição química do alumínio 5005 [4] e a tabela 4 as propriedades da graxa utilizada.

Tabela 3 – Composição Química Al Liga 5005

Elemento	%m/m
Silício, máximo	0,40
Ferro, máximo	0,70
Cobre, máximo	0,20
Manganês, máximo	0,20
Magnésio	0,50-1,10
Cromo, máximo	0,10
Zinco, máximo	0,25
Outros, cada, máx	0,05
Outros, total, máx	0,15
Alumínio	Rstante

Tabela 4 – Propriedades da Graxa

Propriedades	Valores
Ponto de Gota (°C)	180 mínimo
Penetração Trabalhada à 25 ° C (0,1mm)	0,10
Separação do óleo – 18h x 40°C (%)	0,40

2.3 Condutor de Alumínio Liga 6201(sem e com graxa)

Os condutores de alumínio liga 6201 são condutores formados fios de alumínio 6201 encordoados concentricamente. Nossa primeira amostra deste tipo de condutor trata-se de um condutor de alumínio 6201 com formação 7 fios, ou seja, 7 fios de alumínio liga 6201 conforme figura 6 sem graxa. A segunda amostra deste tipo de condutor foi confeccionada com graxa preenchendo seus interstícios. Em resumo, nosso estudo compreende a utilização de condutores de alumínio liga 6201 com e sem graxa.

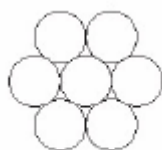


Fig.6 - Encordoamento condutor liga de Al 6201 7 fios

A tabela 5 apresenta a composição química do alumínio 6201 [5].

Tabela 5 – Composição Química Al Liga 6201

Elemento	%m/m
Cobre, máximo	0,10
Ferro, máximo	0,50
Silício, máximo	0,50-0,90
Manganês, máximo	0,03
Magnésio	0,60-0,90
Zinco, máximo	0,10
Cromo, máximo	0,03
Boro, máximo	0,06
Outros, cada, máx	0,03
Outros, total, máx	0,10
Alumínio	Rstante

3. Instalação Piloto

A instalação piloto foi realizada na Praia do Foguete em Condutor Frio-RJ, em 19/10/2004. Foram instaladas 5 amostras de condutores, conforme discriminado abaixo e de acordo com o croqui mostrado na Figura 7:

- __ Condutor de Alumínio com alma de aço classe B
- __ Condutor de Alumínio Liga 5005
- __ Condutor de Alumínio Liga 5005 com graxa
- __ Condutor de Alumínio Liga 6201
- __ Condutor de Alumínio Liga 6201 com graxa

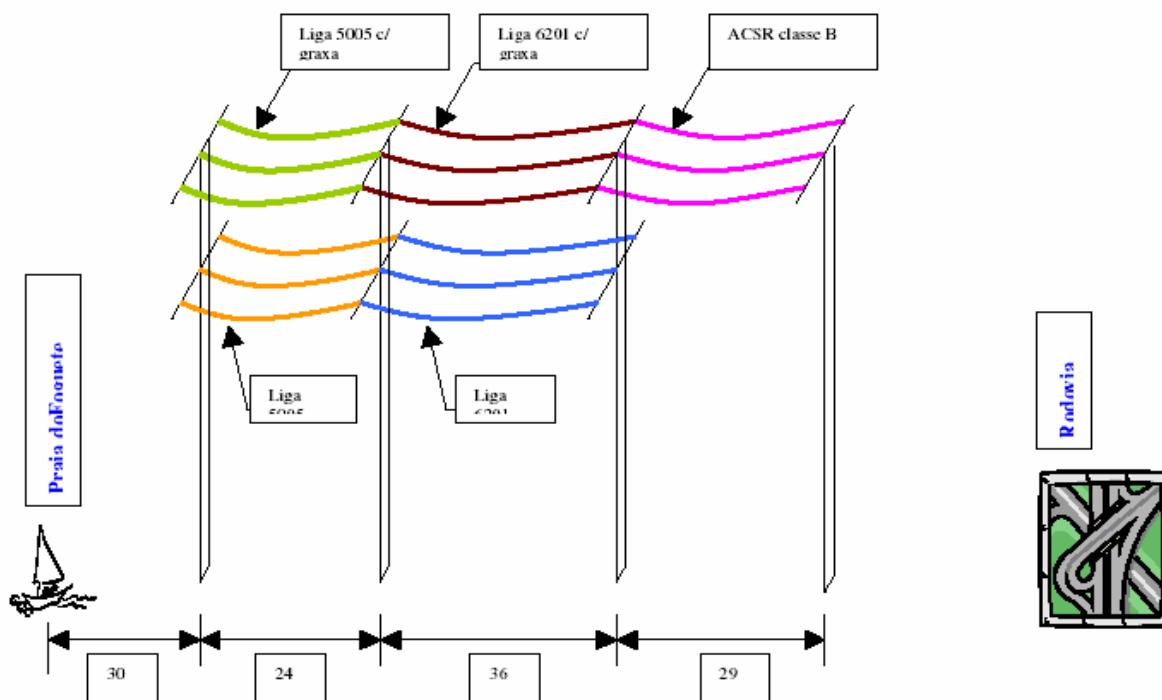


Fig. 7 – Croqui da Instalação na Praia do Foguete em Cabo Frio-RJ

As figuras 8 e 9 apresentam fotos registradas no dia da instalação.



Fig.8



Fig.9

4. Cronograma de Retirada de Amostras e Realização dos Testes

As amostras foram retiradas anualmente, após a estação de inverno, época de períodos mais longos de ventos fortes e escassez de chuvas, condições ambientais mais severas para degradação dos condutores.

Nas amostras retiradas foram feitas a análise das superfícies dos fios dos condutores para verificação do grau de degradação superficial e/ou corrosão, através da utilização de Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) com espectrômetro por dispersão de energia de raios X (EDS) e por metalografia.

Estes testes foram realizados na Faculdade de Engenharia Química de Lorena –FAENQUIL e na Universidade Federal de São Carlos.

5. Ensaio em Laboratório

5.1. Ensaio de Névoa Salina

Antes do início deste projeto foi realizado teste de névoa salina durante um período de 2000 horas, conforme norma ABNT NBR 8094.[6].

Após a exposição à névoa salina verificou-se os seguintes resultados:

___ Todos os condutores apresentaram perda de brilho metálico e manchas escuras, sobretudo nas coroas externas voltadas para o ambiente;

___ O condutor de alumínio com alma de aço apresentou corrosão branca junto à alma de aço. A corrosão branca pode ser atribuída à formação de óxidos e/ou hidróxidos. Mediu-se a espessura da camada galvanizada na alma de aço e a espessura máxima obtida foi de 85 μm de e a mínima foi de 15 μm . A figura 10 mostra uma análise metalográfica no condutor de alumínio com alma de aço.

___ O condutor de alumínio liga 6201 praticamente não apresentou presença de pites;

___ O condutor de alumínio liga 5005 apresentou poucos pites, sendo que estes se apresentavam esparsos e pouco profundos.



Fig.10 - Aspectos dos pites no condutor de alumínio com alma de aço.

Para este estudo de corrosão foi realizado o estudo eletroquímico que se desenvolveu inicialmente através das curvas de polarização potenciodinâmicas, utilizando-se um potenciostato/galvanostato EG&G PAR 283 interfaceado a um microcomputador para o controle e processamento dos dados. Os ensaios foram realizados com soluções aquosas NaCl 5% (m/m) a $35 \pm 1^\circ\text{C}$.

As curvas de polarização foram obtidas a $v = 0.333 \text{ mV s}^{-1}$, no intervalo de 300 mV abaixo do potencial de corrosão até -200 mV, realizadas com todas as amostras..

Nas figuras 11, é mostrada as curvas de polarização das amostras testadas.

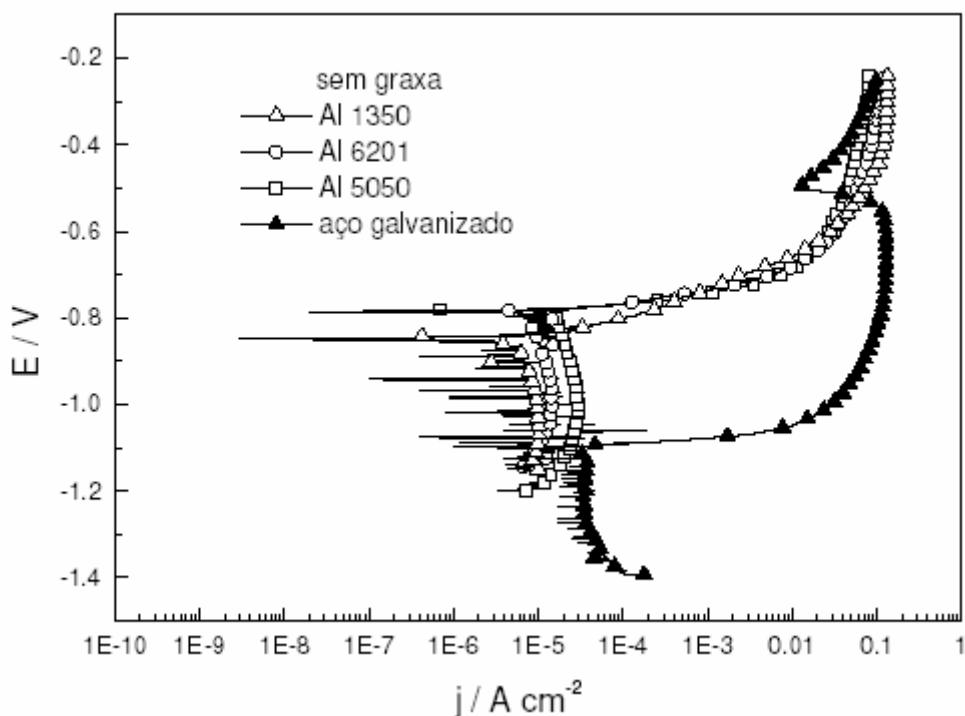


Fig. 11 – Curvas de polarização da alma de aço e das ligas Al 1350, Al 5005 e Al 6201 sem graxa

5.1. Ensaio para Verificação do Grau de Degradação Superficial e/ou Corrosão

Nas amostras retiradas do campo, foram feitas a análise das superfícies dos fios dos condutores para verificação do grau de degradação superficial e/ou corrosão, através da utilização de Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) com espectrômetro por dispersão de energia de raios X (EDS).

5.1.1. Preparação das Amostras

Foram removidos fios de cada uma das amostras e foram analisadas as regiões internas e externas dos condutores. Fora esta separação e remoção dos fios dos condutores, não houve qualquer outro tipo de preparação superficial das amostras, procurando-se deixá-las em seu estado de recebimento e procurando-se não alterar qualquer aspecto morfológico ou microestrutural das mesmas.

5.1.2. Técnicas Utilizadas para as Análises

O sistema MEV gera feixe de elétrons de alta energia (20keV) que, após colimação na coluna do microscópio, colide com a amostra na região de interesse.

Estes elétrons do feixe interagem com os átomos das amostras, gerando sinais que podem ser utilizados para formação de imagens de elétrons de baixa energia ou topográficos (elétrons secundários).

Devido às diferentes energias dos elétrons em cada átomo, a radiação X emitida é característica do átomo e poderá funcionar com uma identificação altamente precisa da presença de um certo tipo de átomo no material e também da sua quantidade naquele ponto analisado.

O espectrômetro EDS recebe a radiação X vinda da amostra e descrimina quais os átomos presentes na amostra e em que quantidades.

Através de programa de computador, pode ser feita a aquisição dos sinais de raios X, o processamento destes sinais na forma de um espectro de energias e a quantificação das concentrações de elementos químicos presentes nas amostras.

5.1.3. Análise dos Resultados dos Testes Realizados nas Amostras

De acordo com os resultados dos testes realizados nas amostras pode-se concluir que:

- a amostra do condutor de alumínio 1350 com alma de aço zincada, apresentou a camada de zinco completamente corroída e com pontos de corrosão vermelha no fio de aço, o que indica a corrosão do metal base (aço). Foi, também, observado pites de corrosão na superfície dos fios externos;
- a contaminação externa encontrada nas amostras foram, basicamente, areia e partículas de sal;
- todas as amostras apresentaram uma camada de óxido;
- aparentemente, em ordem crescente de intensidade de corrosão, podemos classificar as amostras como menos intensa – a amostra de alumínio liga 6201 engraxada e como mais intensa – a amostra do alumínio 1350.

Abaixo seguem algumas fotos das amostras analisadas:



Fig. 12 –Alumínio 1350 CAA – pite e camada de óxido

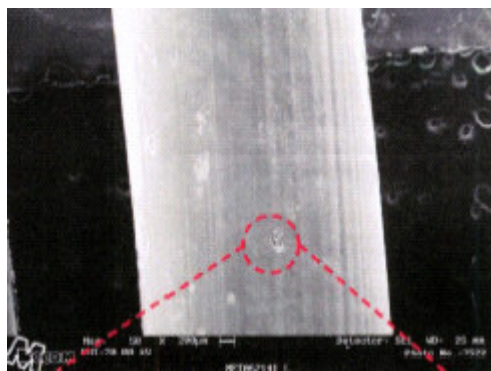


Fig. 13–Alumínio Liga 6201 c/ graxa - coroa externa limpa

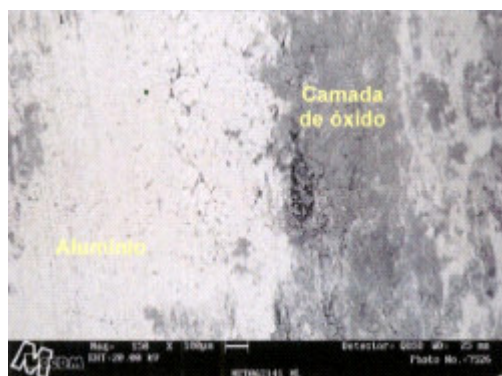


Fig. 14 – Alumínio Liga 6201 c/graxa – Fio externo limpo.

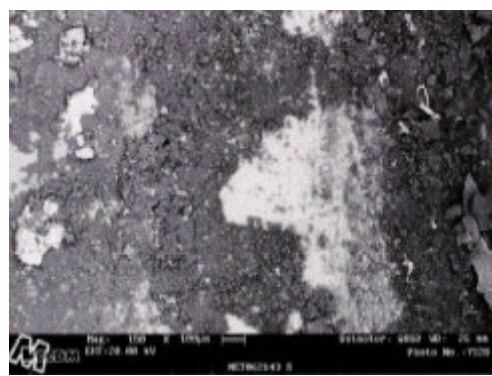


Fig. 15 – Alumínio Liga 5005 c/graxa – fio da coroa externa sujo.

5.2. Ensaio de Névoa Salina.

Em função dos resultados obtidos, resolveu-se repetir o ensaio de névoa salina, incluindo uma amostra de condutor de cobre nu, para que se obtivesse uma comparação da corrosão dos condutores de alumínio em comparação com o condutor de cobre.

Obtivemos como resultado o seguinte:

- Não foram observados pontos de corrosão nas amostras de fio e condutor de alumínio com graxa, apenas algumas manchas;
- As amostras de fio e condutor de alumínio sem graxa apresentaram mudança de coloração da superfície e opacidade;
- Nas amostras de cobre, foram observados pontos de corrosão verde e manchas enegrecidas, espalhados por toda a superfície tanto da amostra de condutor quanto da amostra de fio.

6. Conclusão

Com os resultados obtidos no ensaio de Grau de Degradação Superficial e/ou Corrosão e no ensaio de Névoa Salina, decidiu-se realizar a construção de um trecho de rede para melhor acompanhar o desempenho dos condutores de alumínio liga em áreas com poluição marinha severa.

Para realização deste acompanhamento foi construída uma rede de 13,8kV (alimentador) com 8 km de extensão, utilizando o condutor de alumínio liga 6201 engraxado, seção de 150mm², localizada na mesma área onde foi instalada a rede para teste citada na figura 7.

A utilização do condutor de alumínio liga 6201 engraxado em substituição ao condutor de cobre nu de 70mm², apresenta as seguintes vantagens técnico/econômicas:

1. O valor de aquisição do condutor de cobre é maior 81,6% que o valor do condutor de alumínio liga;
2. Como o condutor de alumínio liga é mais leve que o condutor de cobre nu, e ambos são adquiridos por quilo, se consegue construir maiores extensões de redes com o condutor de alumínio;
3. A ampacidade do condutor de alumínio liga de 150mm² é 24,8% maior que a do condutor de cobre nu de 70mm².

7. Referências Bibliográficas

- [1] CABOT, P.L., CENTELAS, F.A., CARRIDO, J.A., PEREZ, E.; VIDAL, H., **Electrochim. Acta** 36, 179, 1991.
- [2] EQUEY, J.F., MULLER, S., DESILVESTRO, J.; HAAS, O., **J. Electrochem. Soc.** 139, 1499, 1992.
- [3] ABNT NBR Vergalhão de Alumínio 1350 para fins elétricos, NBR 7103, Dez. 1981.
- [4] ASTM Standard Specification for Aluminum Alloy 5005 Drawing Stock for Electrical Purposes, ASTM B 531, 1990.
- [5] ASTM Standard Specification for Aluminum Alloy 6201 Wire for Electrical Purposes, ASTM B 398, 1999.
- [6] ABNT NBR Material Metálico revestido e não revestido – Corrosão por exposição à névoa salina, NBR 8098, Jul. 1983.
- [7] AGUIAR, F.E.C. Estudo Eletroquímico da Corrosão em Chapas de Aço Galvanizado e Fosfatizado por Coil-Coating. 2003. 92f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica. FEG, Universidade Paulista Júlio de Mesquita Filho, São Paulo.