

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO INSTITUTO MAUÁ DE TECNOLOGIA**

**INOVAÇÃO NA UTILIZAÇÃO DE CABOS DE ALUMÍNIO EM CHICOTES  
ELÉTRICOS AUTOMOTIVOS NA INDÚSTRIA BRASILEIRA**

**São Caetano do Sul**

**2014**

**FÁBIO FRANCISCO DA ROCHA**

**INOVAÇÃO NA UTILIZAÇÃO DE CABOS DE ALUMÍNIO EM CHICOTES  
ELÉTRICOS AUTOMOTIVOS NA INDÚSTRIA BRASILEIRA**

Monografia apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Automotiva, da Escola de Engenharia Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia para obtenção do título de Especialista.

Orientador: Prof. Wanderlei Marinho da Silva

**São Caetano do Sul**

**2014**

Rocha, Fábio Francisco da

Inovação na utilização de cabos de alumínio em chicotes elétricos  
automotivos na indústria brasileira / Fábio Francisco da Rocha. São Caetano do  
Sul, SP: CEUN-CECEA, 2014.

44p.

Monografia apresentada ao curso de Especialização em Engenharia  
Automotiva. Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano  
do Sul, SP, 2014.

Orientador: Prof. Wanderlei Marinho da Silva

1. Chicote Elétrico 2. Cabo de Alumínio 3. Fiação Automotiva I. Rocha,  
Fábio Francisco da II. Instituto Mauá de Tecnologia. Centro Universitário.  
Centro de Educação Continuada. III. Inovação na utilização de cabos de alumínio  
em chicotes elétricos automotivos na indústria brasileira.

## **DEDICATÓRIA**

Dedico esse trabalho aos meus pais Osvaldo e Maria Aparecida que são a base do que sou hoje e sempre se dedicaram em aprimorar o meu conhecimento e desenvolvimento. A minha esposa Denise que sempre me apoiou nos meus projetos.

## **AGRADECIMENTOS**

A todos, que direta ou indiretamente, fizeram parte da minha formação, e contribuíram para que eu pudesse dar um passo á frente no meu desenvolvimento pessoal e profissional.

## **RESUMO**

Para reduzir peso dos veículos, visando entre outros aspectos diminuir o consumo de combustível e aumentar a autonomia dos veículos, o mercado automotivo propõe incrementar a utilização do material alumínio. Mirando no futuro, a indústria do metal investe em desenvolver novas aplicações. Em relação aos chicotes elétricos automotivos, o alumínio torna-se um importante material como uma alternativa na substituição dos cabos de cobre atualmente utilizados. Um dos grandes desafios da aplicação de cabos de alumínio nos chicotes ocorre principalmente pela necessidade de se aumentar a bitola dos circuitos, por consequência o aumento de todo o ramal do chicote, devido a diferença na resistividade em relação ao chicote de cobre. Este aumento impacta diretamente na flexibilidade do chicote, na interferência com as outras peças mecânicas do veículo e nas especificações das conexões elétricas que devem atender as aplicações de alumínio com a mesma qualidade atual dos cabos de cobre.

Este trabalho tem como objetivos analisar os principais aspectos que norteiam a aplicação dos cabos de alumínio em chicotes elétricos automotivos e apresentar quais os desafios que a indústria enfrentará para a aplicação dessa solução tecnológica.

**Palavras-chave:** Chicote Elétrico. Cabo de Alumínio. Fiação Automotiva.

## ***ABSTRACT***

To reduce vehicle weight, targeting among others points reduce fuel consumption and increase the vehicles autonomy, the automotive market proposes increase aluminum usage. Targeting the future, the metal industry invests in developing new applications. Regarding automotive wiring harness, aluminum becomes an important material as an alternative of replacing copper cable currently used in vehicles. One of the major challenges to the application of aluminum cables in wiring harness occurs primarily by the need to increase wires gauges, moreover the increase of the entire bundle of the wiring harness, due to the resistivity difference of wiring harness with cooper cables. This increase directly affects wiring flexibility and the clearance to the other mechanical spare parts, and mainly the specification of electrical connections that must meet the application of aluminum with the same quality found in the current copper cables.

This study will analyze the main aspects that drive the application of aluminum in automotive cable harnesses and present what challenges that the industry can faces to implement this technology solution.

**Keywords:** Electrical Harness. Aluminum Cable. Wiring Harness.

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	9
2 A IMPORTÂNCIA DOS METAIS .....	10
2.1 UTILIZAÇÃO DO COBRE E DO ALUMÍNIO NO MUNDO .....	10
2.1.1 O Cobre .....	10
2.1.2 O Alumínio.....	13
3 O ALUMÍNIO COMO CONDUTOR ELÉTRICO .....	18
3.1 APLICAÇÃO DO ALUMINIO NA INDUSTRIA AUTOMOTIVA.....	20
3.2 OS DESAFIOS NA UTILIZAÇÃO DOS CABOS DE ALUMÍNIO NA INDUSTRIA AUTOMOTIVA.....	21
3.3 O CHICOTE ELÉTRICO .....	24
3.3.1 Chicote Frontal.....	26
3.3.2 Chicote de Injeção ou Chicote de Motor.....	27
3.3.3 Chicote do Painel de Instrumentos.....	27
3.3.4 Chicote do Habitáculo / Carroceria / Interior .....	28
3.3.5 Chicote do Porta Malas ou Tampa Traseira .....	29
3.3.6 Chicote de Portas.....	30
3.3.7 Outros chicotes.....	30
4 APLICAÇÃO DOS CABOS DE ALUMÍNIO NA AVIAÇÃO .....	33
5 VANTAGENS E DESVANTAGENS NA APLICAÇÃO DE CABOS DE ALUMÍNIO .....	36
6 O QUE TEM SIDO FEITO HOJE? .....	38
7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	42
REFERÊNCIAS .....	43

## 1 INTRODUÇÃO

Cada vez mais está em discussão no meio automotivo as vantagens e desvantagens de se utilizar cabos de alumínio em substituição aos cabos de cobre. Esses questionamentos são levantados devido as diferentes propriedades dos dois materiais e da necessidade da adequação nas mais diversas aplicações.

Considerando uma provável escassez dos combustíveis fósseis e a crescente busca na redução dos gases que causam o efeito estufa, cada vez mais os fabricantes de automóveis necessitam desenvolver soluções inovadoras para reduzir o custo e peso do carros. Especificamente na questão de chicotes elétricos automotivos uma solução que parece ser promissora é a substituição dos cabos de cobre por cabos de alumínio.

Quando pensamos em Brasil, o que pode acelerar esse processo pela busca de soluções inovadoras no mercado automotivo está diretamente relacionado as medidas do governo que incentivam ações como essas. Nessa direção o mercado automotivo começa a dar sinais reais de que o Inovar-Auto estimulará cada vez mais a participação do alumínio nos veículos nacionais.

## 2 A IMPORTÂNCIA DOS METAIS

### 2.1 UTILIZAÇÃO DO COBRE E DO ALUMÍNIO NO MUNDO

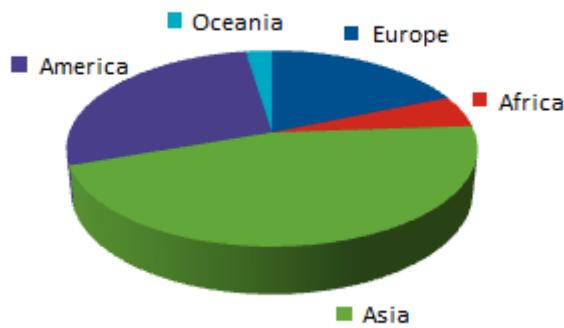
Cobre e alumínio são os dois materiais mais comumente utilizados para conduzir corrente elétrica em sistemas elétricos, cada qual com suas características que afetam suas aplicações.

#### 2.1.1 O Cobre

O cobre é um elemento de transição e, por ser um metal nobre, conta com propriedades semelhantes as da prata e do ouro, sendo a sua condutividade, maleabilidade e resistência à corrosão derivadas da origem elementar do cobre.

Na indústria mundial é amplamente utilizado conforme apresentado na figura 1 e tabela 1. (INTERNATIONAL COPPER ASSOCIATION, 2011).

**Figura 1- Produção de Cobre no Mundo, 2011**



FONTE: London Metal Exchange, 2011

**Tabela 1 – Produção de Cobre no Mundo, 2011**

<b>Region</b>	<b>%</b>
Asia	46
America	28
Europe	19
Africa	5
Oceania	2

FONTE: London Metal Exchange, 2011

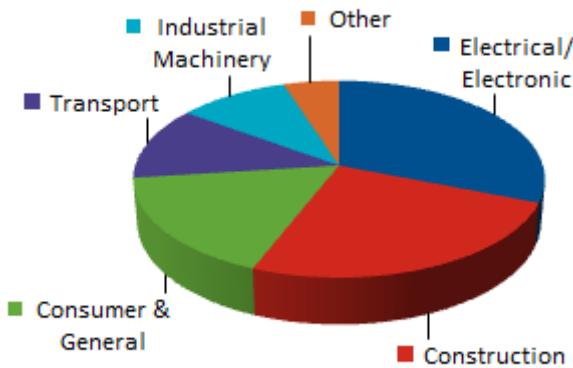
O cobre foi um dos primeiros metais a serem extraídos da natureza e assim como o estanho, foi um componente fundamental da Idade do bronze. De extração e refino relativamente fácil as pessoas descobriram métodos para a extração do cobre a partir de seus minérios a pelo menos 7.000 anos atrás.

A obtenção do cobre é feita através do tratamento dos minerais sulfurosos que o contêm e é purificado após passar por processos eletrolíticos. Sua alta ductibilidade permite a obtenção de fios muito finos, entretanto o endurecimento causado neste processo limita a sua flexibilidade, obrigando o recozimento dos fios.

Apesar de suas múltiplas qualidades, o cobre tem inconvenientes como a densidade alta e custo elevado o que, por diversas vezes, pode levar a procura por sua substituição por outro metal mais leve e econômico que permita reduzir custos.

O cobre é um excelente condutor de calor e eletricidade o que o torna fundamental para o uso nas indústrias de construção e bens elétricos. Na indústria da construção é utilizado na forma de cabos, fiação, encanamento, aquecimento e ventilação e outros materiais de construção, também é largamente utilizado na fiação e placas de circuitos de celulares, computadores, equipamentos elétricos. Na indústria automotiva é amplamente utilizado nos chicotes elétricos como é apresentado na figura 2 e tabela 2.

**Figura 2- Consumo de Cobre no Mundo, 2011**



FONTE: London Metal Exchange, 2011

**Tabela 2– Consumo de Cobre no Mundo, 2011**

Market Sector	%
Electrical/Electronic	31
Construction	25
Consumer & General	17
Transport	12
Industrial Machinery	10
Other	5

FONTE: London Metal Exchange, 2011

Os automóveis utilizam cada vez mais dispositivos eletrônicos para seu funcionamento, conforto, segurança e entretenimento. A fiação que transporta a energia e promove a conectividade continuará influenciando o uso do cobre na indústria automotiva, especialmente em relação aos cabeamentos e conectores.

A crescente diminuição do espaço nos automóveis está motivando os fabricantes a buscar a redução tanto dos chicotes como dos conectores. Essa tendência de miniaturização implica em uma maior exigência nas propriedades mecânicas dos materiais condutores e conectores, principalmente uma resistência maior nos condutores bem como uma melhor resistência de relaxamento das tensões nas ligas de cobre.

A resistência do cobre a corrosão, sua conformidade, estabilidade térmica, reciclagem e compatibilidade com muitos processos de fabricação existentes proporcionam ao cobre a viabilidade no setor de fiação automotiva. (PROCOBRE, 2014).

Contudo, a possibilidade da escassez desse recurso natural e a variação do valor de mercado do cobre preocupam a indústria. (ALMEIDA; SILVA; HALLAK, 2010).

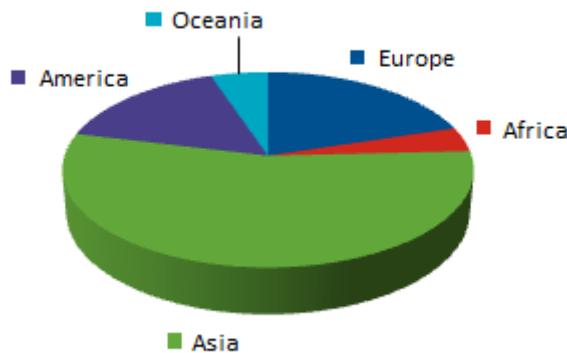
### **2.1.2 O Alumínio**

O Alumínio é o terceiro elemento, em abundância, encontrado na crosta terrestre, sua cronologia mostra que já nas civilizações antigas o metal empregava um ar de modernidade aos mais diferentes artefatos. Entretanto, o metal, na forma como é conhecido atualmente, somente começou a ser produzido e comercializado há cerca de 150 anos.

Embora seja o metal mais abundante na terra, em seu estado bruto (bauxita), o alumínio costumava ser considerado um metal precioso, podendo ser encontrado em três principais grupos climáticos: O Mediterrâneo, o Tropical e o Subtropical.

Em temperatura ambiente é encontrado em seu estado sólido, ou seja, tem volume e forma definido. Uma vez feito processos de extração e fundição mais eficientes e os custos de energia elétrica se tornaram mais baratos e acessíveis fizeram com que o alumínio se tornasse o metal ferroso mais utilizado no mundo conforme apresentado na figura 3 e tabela 3.

**Figura 3- Produção de Alumínio no Mundo, 2011**



FONTE: London Metal Exchange, 2011

**Tabela 3- Produção de Alumínio no Mundo, 2011**

Region	%
Asia	55
America	20
Europe	16
Africa	5
Oceania	4

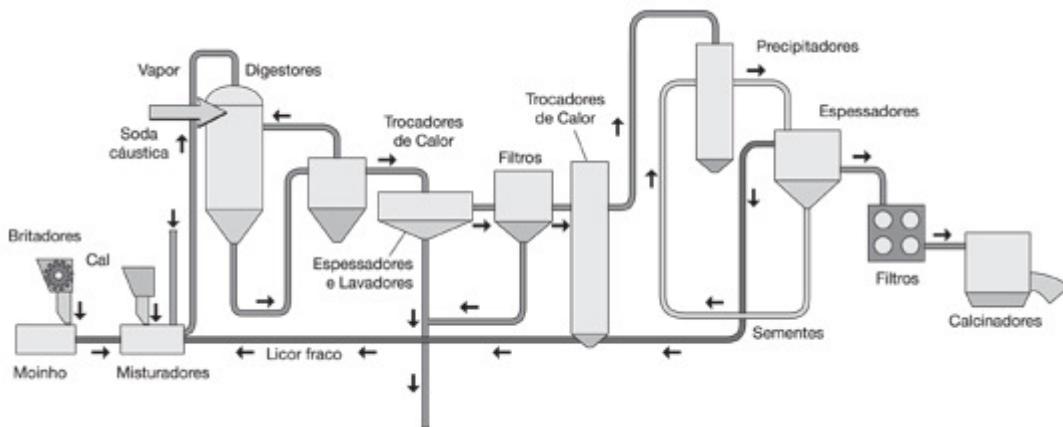
FONTE: London Metal Exchange, 2011

O Brasil possui a terceira maior reseva mundial de bauxita, com potencial da ordem de 2,5 bilhões de toneladas, concentrada principalmente na região Norte do país, estado do Pará, as quais têm como principal concessionária a empresa Mineração Rio do Norte S.A. (MRN).

A bauxita deve ter no mínimo 30% de óxido de alumínio ( $Al_2O_3$ ) aproveitável para que seja economicamente viável o processo de obtenção do alumínio, processo esse que basicamente divide-se em 3 etapas: mineração, refinaria e redução.

As principais fases da produção da alumina, desde a entrada do minério até a saída do produto final são divididas em: moagem, digestão, filtração/evaporação, precipitação e calcinação. Tais operações podem ser resumidamente exemplificadas na figura 4:

**Figura 4- Fluxograma Básico de uma Refinaria**



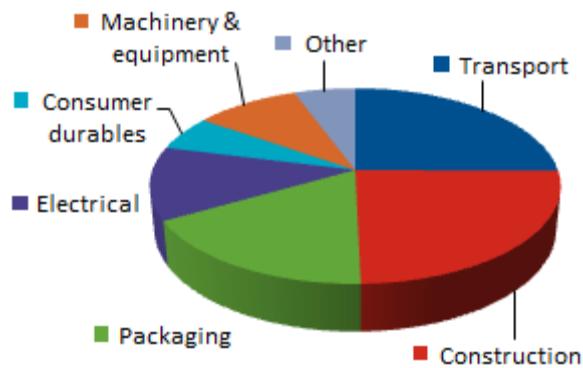
FONTE: Associação Brasileira de Alumínio (ABAL), 2013

Além da bauxita e de combustíveis energéticos, a produção de uma tonelada de alumina requer outros insumos cujo consumo varia devido a qualidade do minério.

O alumínio é extremamente leve, flexível, tem boa condutividade elétrica e é resistente à corrosão. É amplamente utilizado em latas, chapas, esquadrias, painéis do corpo do carro, fiação e utensílios de cozinha.

Segundo a Organização PROCOBRE (2014) e a Associação Brasileira de Alumínio (ABAL) (2013) foi constatado um aumento no consumo destes metais. No caso do cobre o principal uso é na construção de condutores elétricos e componentes eletrônicos, enquanto o alumínio teve um expressivo crescimento na indústria de transporte, principalmente pela sua relação resistência/peso, como elementos estruturais de barcos, aeronaves, automóveis e setor de embalagens conforme apresentado na figura 5 e tabela 4.

**Figura 5- Consumo de Alumínio no Mundo, 2011**



FONTE: London Metal Exchange, 2011

**Tabela 4- Consumo de Alumínio no Mundo, 2011**

Market Sector	%
Transport	25
Construction	25
Packaging	17
Electrical	12
Machinery & Equipment	10
Consumer durables	6
Other	6

FONTE: London Metal Exchange, 2011

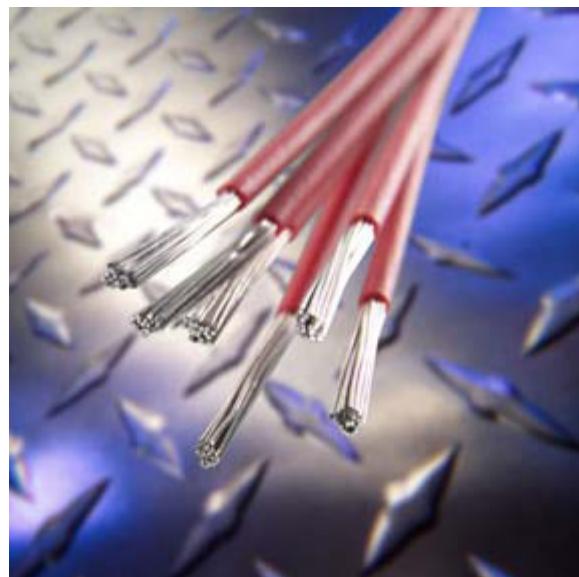
O alumínio, em contato com o ar, cobre-se com uma película de óxido (Alumina) que o protege de futuras oxidações, porém como consequência tem o inconveniente de esta película

se transformar em um isolante elétrico e dificultar a execução de junções. O Alumínio em contato com metais mais nobres com por exemplo, cobre e ferro, e em presença de umidade poderá constituir em um par galvânico que corrói lentamente até a degradação.

### 3 O ALUMÍNIO COMO CONDUTOR ELÉTRICO

Segundo a International Copper Association (2011) os estudos sobre a utilização de cabos de alumínio, figura 6, em relação aos cabos de cobre tem sido desenvolvida há muito tempo, principalmente pelas diferentes propriedades desses dois materiais. Ainda mais porque o bom desempenho dos condutores, conexões e terminais dos cabos são essenciais para o funcionamento do sistema elétrico. A Figura 6 apresenta uma fotografia de um conjunto de cabos de alumínio com isolamento utilizada em conexões elétricas automotivas.

Figura 6- **O Cabo de Alumínio**



FONTE: Catálogo Delphi Automotive Systems (DELPHI, 2013)

Ainda de acordo com a International Copper Association (2011) a decisão do uso do cabo de alumínio não pode ser apenas técnica e com base no preço de venda dos cabos, deve-se avaliar também os custos do ciclo de vida do produto nos aspectos de logística, instalação, utilização e manutenção do circuito elétrico.

Os cabos de alumínio são largamente utilizados nas aplicações de transmissão e distribuição de energia elétrica, com grande predominância dos cabos de alumínio com alma

de aço. Entretanto com os avanços da tecnologia o cabo com 100% de alumínio ocupará, no futuro, a maior parte dos sistemas de distribuição de energia (REVISTA ALUMÍNIO, 2011).

O Alumínio tem seu ponto de fusão de 660°C, entretanto em ligas de alumínio, devido a presença de outros metais, possuem geralmente um ponto de fusão mais baixo que o alumínio puro.

Conforme mencionado no inicio deste estudo, a leveza é uma das principais características do alumínio. Seu peso específico é de aproximadamente 2,70 g/cm<sup>3</sup> o que corresponde aproximadamente a 30% do peso do cobre. Essa característica associada a adição de elementos de liga e/ou tratamentos térmicos torna o alumínio um metal estratégico para a indústria.

O alumínio puro tem uma resistência à tração de cerca de 90 MPa, resistência essa que pode ser aumentada com pequenas adições de outros metais e elementos de liga como: silício, cobre, manganês, magnésio, cromo, zinco, cobre, etc.

Quando o alumínio é exposto à atmosfera, forma-se uma fina camada de óxido que protege o metal contra oxidações, essa característica de auto-proteção dá ao alumínio uma elevada resistência a corrosão. A menos que seja exposto a uma determinada condição agressiva que destrua essa película de óxido de proteção, o metal permanece totalmente protegido contra a corrosão.

O alumínio possui resistividade de 0,00000263 ohm/cm<sup>3</sup> da IACS (International Annealed Copper Standard) e associada a sua baixa densidade significa que um condutor de alumínio pode conduzir tanta corrente quanto um condutor de cobre que é duas vezes mais pesado e proporcionalmente mais caro.

A condutibilidade térmica (k) de 0,53 calorias por segundo por centímetro quadrado por centímetro de espessura por grau Celsius.

Para uma melhor visualização das propriedades do alumínio é apresentado na tabela 5 o comparativo do alumínio com o cobre:

**Tabela 5- Comparativo Alumínio e Cobre**

<b>Propriedades</b>	<b>Alumínio</b>	<b>Cobre</b>	FONTE:
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	2,70	8,96	
Temperatura de fusão (°C)	660	1.083	
Módulo de elasticidade (MPa)	70.000	110.000	
Coeficiente de dilatação térmica (L/°C)	0,00000023	0,00000165	
Condutibilidade térmica a 25°C (Cal.cm/cm <sup>2</sup> .s°C)	0,53	0,94	
Condutibilidade elétrica (%IACS)	61	100	
Ponto de Ebuição (°C)	2.450	2.595	

Fundamentos e aplicações do Alumínio (ABAL, 2007)

### 3.1 APLICAÇÃO DO ALUMINIO NA INDUSTRIA AUTOMOTIVA

Historicamente na industria automotiva o cobre tem sido o único material utilizado na fiação automotiva na função de interligar todo o sistema eletro-eletrônico e fazer a distribuição de potência e sinais entre os dispositivos basicamente por ter alta condutividade, flexibilidade e resistência a corrosão, ficando em segundo lugar como condutor, atrás apenas da prata porém com um custo bem inferior.

Entretanto na industria automotiva é crescente a aplicação de materiais leves que possibilitem a redução de peso e custo e como consequência a diminuição nas emissões de gases poluentes. Nesse sentido o cobre tende a ser substituído na fiação elétrica automotiva principalmente para veículo híbridos.

Tradicionalmente a aplicação de cabos elétricos de alumínio tem sua utilização voltada para as linhas de transmissão de energia, cabos de distribuição aérea e em algumas aplicações de potência mais elevadas, nas demais aplicações os condutores utilizados são de cobre. Contudo, a busca de novas soluções para a indutria automotiva, têm surgido a oportunidade da aplicação de condutores de alumínio.

A principal vantagem do alumínio em relação ao cobre deve-se ao fato de ser bem mais leve que o cobre, até mesmo em aplicações de cabos com bitolas grandes o alumínio fica mais leve que a aplicação em cobre.

Outra vantagem importante do alumínio e o fato desse metal ser bem mais acessível que o cobre.

Segundo o IQPC - International Quality & Productivity Center (2013) cada grama adicional em um veículo híbrido afeta o consumo de combustível e por consequência a vida útil da bateria.

Ainda de acordo com o IQPC - International Quality & Productivity Center (2013) o preço do cobre tem aumentando cada vez mais em decorrência do aumento da demanda dos países emergentes, principalmente, Índia e China e ainda com a diminuição, globalmente, da produção de instalações de mineração.

Na indústria automotiva o alumínio está substituindo o cobre nas aplicações com cabos de potência.

### 3.2 OS DESAFIOS NA UTILIZAÇÃO DOS CABOS DE ALUMÍNIO NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA

Um dos maiores desafios encontrados na substituição do cobre pelo alumínio na fiação elétrica automotiva é devido ao aumento de bitola dos cabos e, dos ramais, como consequência do aumento da resistividade do alumínio em relação aos cabos de cobre, o que acarreta em uma condutividade menor, cerca de 1/3 da condutividade do cobre, ou seja, para conduzir a mesma corrente a seção do condutor de alumínio deve ser maior que a do cobre. Ainda assim, a massa de alumínio será menor que a do cobre, uma vez que a densidade do alumínio é 30% da densidade do cobre conforme apresentado na tabela 6:

**Tabela 6- Comparativos seções entre Alumínio e Cobre**

Tipo de Cabo					
Cobre			Alumínio		
Seção (mm <sup>2</sup> )	RΩ (mΩ/m)	Cable Weight (kg/km)	Seção (mm <sup>2</sup> )	RΩ (mΩ/m)	Cable Weight (kg/km)
0,50	37,10	6,1	0,75	39,10	4,67
0,75	24,70	9	1,25	22,52	7,04
1,00	18,50	11,5	2,00	15,00	9,69
1,50	12,70	16,4	2,50	10,73	13,49
2,50	7,60	26,1	5,00	5,78	23,55
4,00	4,70	41,1	8,00	3,59	35,31
6,00	3,10	61,3	10,00	2,79	49,45
10,00	1,82	109,4	16,00	1,69	88,24
16,00	1,16	176,6	25,00	1,09	142,41
25,00	0,74	292,9	42,00	0,65	218,07

FONTE: ALMEIDA, Ivan Alves de; SILVA, Luiz Carlos da; SILVA, Maurício, 2012

De acordo com os estudos de Almeida, Silva, Silva (2012) o sucesso no desenvolvimento robusto dos cabos de alumínio está relacionado com a correta análise dos pontos críticos que poderão aparecer, fatores esses que podem resultar na não conformidade do produto. Tais fatores podem aparecer tanto na seleção dos materiais a serem utilizados quanto em decorrência da aplicação do produto final. A figura 7 apresenta quais os caminhos críticos devem ser considerados na especificação dos cabos de alumínio.

Figura 7- Desafios tecnológicos para a construção e aplicação de cabos de alumínio



FONTE: ALMEIDA, Ivan Alves de; SILVA, Luiz Carlos da; SILVA, Maurício, 2012

No entanto, segundo o IQPC - International Quality & Productivity Center (2013) a utilização do alumínio não é tão simples quanto parece, principalmente pelo fato de que os fabricantes de cabos não podem simplesmente alterar sua linha de produção removendo o cobre e adicionando a alumínio de sua máquinas.

Um dos principais fatores que deve ser levado em consideração é o calor, pois com o calor o alumínio pode deformar-se e como resultado a diminuir o contato entre o cabos e os terminais criando assim um relaxamento na conexão, piorando sua propriedade básica de condução de energia.

Com base nessa questão, os sistemas de conexões utilizados para os cabos de cobre devem ser reavaliados para garantir a efetividade da aplicação nas conexões atuais e nas novas conexões que vierem a ser desenvolvidas para o atendimento dessas novas aplicações.

Outro fator que não deve ser esquecido é o baixo conhecimento do comportamento do alumínio no ambiente crítico de um automóvel. Existem estudos em andamento sobre o envelhecimento dos cabos de alumínio e esses devem evidenciar qual a aplicabilidade desses cabos nos automóveis.

Algumas definições sobre a aplicação dos cabos de alumínio são um consenso entre as empresas que desenvolvem a aplicação desses cabos, uma amostra do que tem sido estudado é apresentado abaixo:

- Não aplicar cabos de alumínio em circuitos de AIRBAG;
- Não aplicar cabos de alumínio em circuitos de ABS;
- Não aplicar cabos de alumínio em circuitos do pedal de acelerador;
- Utilizar cabos de alumínio em circuitos sem juções de cabos;
- Utilizar cabos de alumínio em aplicação dentro do carro (região seca);
- Utilizar cabos de alumínio em aplicação com baixa vibração;

### 3.3 O CHICOTE ELÉTRICO

De acordo com Hamzagic (2003) o chicote elétrico é uma peça constituida por uma série de fios, conectores e terminais que se estendem por todo o veículo, conectando-se ao longo de todo o seu interior. Sua função é conduzir todas as informações elétricas e eletrônicas de uma ponta a outra do veículo com o objetivo de acionar as mais diversas funções ligadas ao impulso elétrico e comando eletrônico, como, por exemplo, faróis, limpador de vidro dianteiros e traseiro, central de alarme, travas das portas, vidros elétricos, módulo de air bag, módulo ABS, rádio, lanternas traseiras, módulo de injeção eletrônica, alternador, sensores, etc.

Ainda de acordo com Hamzagic (2003) o chicote elétrico é um componente elétrico do veículo composto principalmente por fios de cobre recobertos por PVC ou silicone,

dependendo da região do veículo e aplicação, que, com terminais metálicos em suas extremidades, unem-se conectam-se a uma peça plástica denominada conector. Esses por sua vez conectam-se com as contra-peças do veículo, também conhecidas como headers<sup>1</sup>, e possuem a função de conduzir as informações elétricas de comando que farão essas partes funcionar.

Conforme Hamzagic (2003) desde 1926, o chicote elétrico faz parte do veículo como um componente muito importante. Inicialmente suas funções eram restrinidas somente ao acionamento das lanternas e faróis, luz de freio, limpador de vidros dianteiro, ignição e iluminação interna do veículo. Com o aumento da demanda dos veículos, a procura por inovações e o desenvolvimento tecnológico dos projetos no decorrer dos anos, novos comandos e novas funções foram adicionadas ao veículo, desde as funções de segurança, até conforto, beleza e tecnologia.

Atualmente os chicotes executam o acionamento de várias funções no veículo, quanto mais sofisticado forem os carros mais complexos serão os chicotes e executarão mais funções.

No inicio o chicote elétrico do veículo tinha estrutura única e o carro possuía somente um ou no máximo dois chicotes que faziam todas as funções necessárias do veículo.

O chicote elétrico é um item de segurança do carro, pois envolve comandos de seu funcionamento básico. É responsável por conduzir a eletricidade que é acionada no painel do veículo, quando a partida do carro é acionada, é distribuída por todo o carro. Seu material não é inflamável, mas combustível o que o torna também um item perigoso onde qualquer pane pode por em risco o veículo, seus ocupantes e o entorno, condição que pode ser agravada com a presença de materiais ou outros derivados explosivos.

Com isto, no decorrer dos anos, as empresas obrigaram suas engenharias a conceber chicotes elétricos segmentados, dividindo o originariamente único em vários, melhorando a segurança do veículo e a opção de manutenção e conserto, por ocasião de qualquer quebra ou pane. A busca por melhores custos também foi beneficiada, uma vez que a compra, conserto ou troca poderia ser feita somente em parte e não na totalidade da peça, se esta fosse única.

Desde 1980, os projetos de chicotes elétricos são concebidos em parte chamadas famílias, essas por sua vez exercem a mesma função ou possuem características de fácil administração. É um agrupamento de itens com as mesmas características e podem ser

<sup>1</sup> Parte plástica fixada nos dispositivos eletrônicos com terminais acoplados nas extremidades que servem para acomodar os conectores

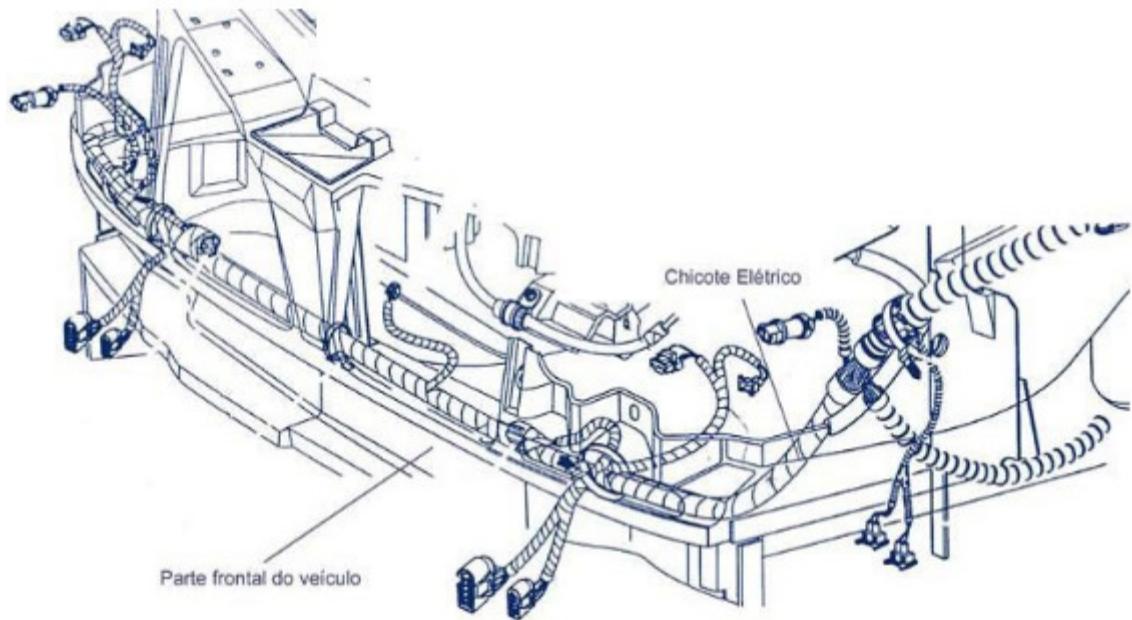
classificadas por similaridade técnica, de matéria-prima, localização, origem, etc., obedecendo à concepção de plataforma, conceito este originário, também, da filosofia da produção enxuta.

Basicamente os chicotes elétricos são classificados baseado nas funções exercidas no carro. Considerando as particularidades de cada montadora e projetos, podemos classificar os chicotes conforme apresentados a seguir:

### 3.3.1 Chicote Frontal

Este chicote localiza-se na parte frontal do veículo, sua função interligar os dispositivos elétricos-eletrônicos da parte frontal do veículo como, por exemplo: radiador, buzina, faróis, farol de neblina. A Figura 8 apresenta um exemplo da localização do chicote elétrico frontal no veículo.

**Figura 8- Localização do Chicote Elétrico Frontal no Veículo**

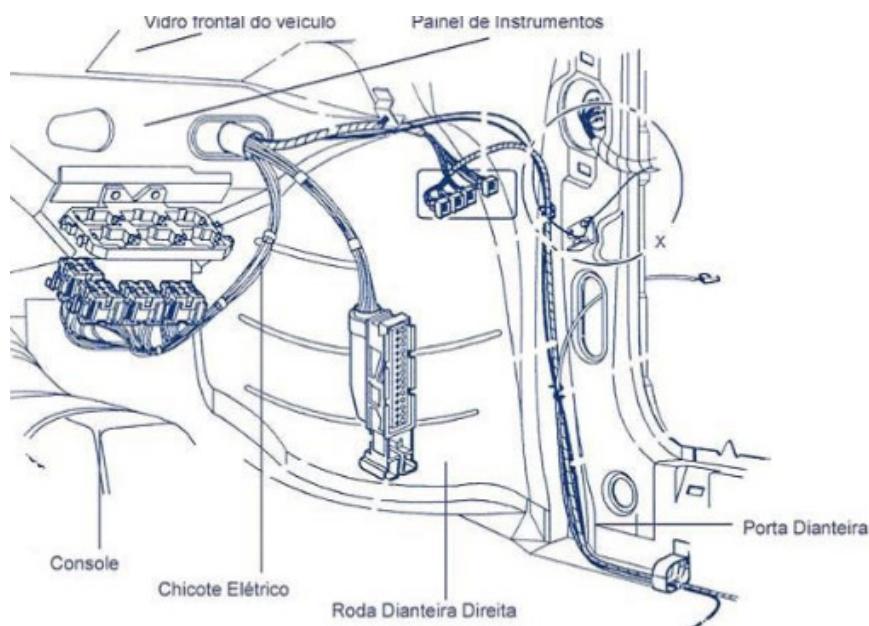


FONTE: Miroslava Hamzagic, 2003

### 3.3.2 Chicote de Injeção ou Chicote de Motor

Este chicote localiza-se sobre o motor do veículo e é responsável pelo acionamento do carro. Ele contorna o motor e é conectado ao sensores na região do motor e ao módulo de injeção eletrônica e em sua maioria é interligada á central eletrônica presente no compartimento motor dos veículos. A Figura 9 apresenta um exemplo da localização do chicote de injeção ou chicote de motor no veículo.

**Figura 9- Localização do Chicote de Injeção ou Chicote de Motor no Veículo**



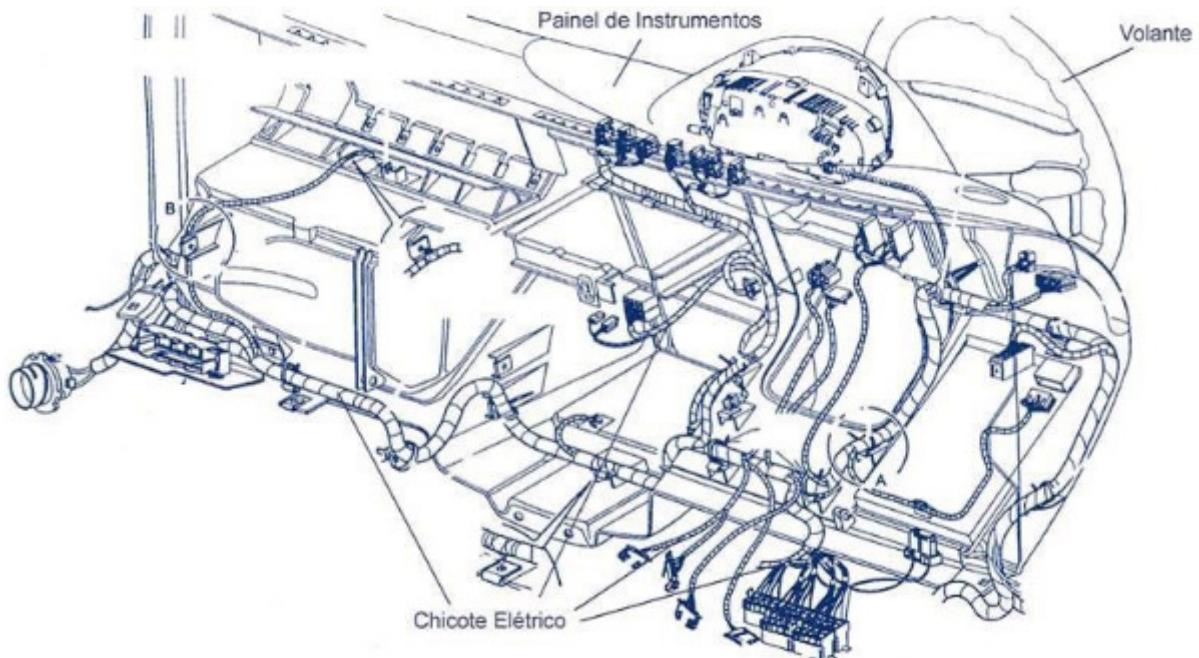
FONTE: Miroslava Hamzagic, 2003

### 3.3.3 Chicote do Painel de Instrumentos

Este chicote localiza-se embaixo do painel de instrumentos do veículo e é responsável por interligar todos os comandos disponíveis no painel, volante, etc. Também é responsável

por alimentar a caixa de fusíveis. A Figura 10 apresenta um exemplo da localização do chicote do painel de instrumentos.

**Figura 10- Localização do Chicote do Painel de Instrumentos**

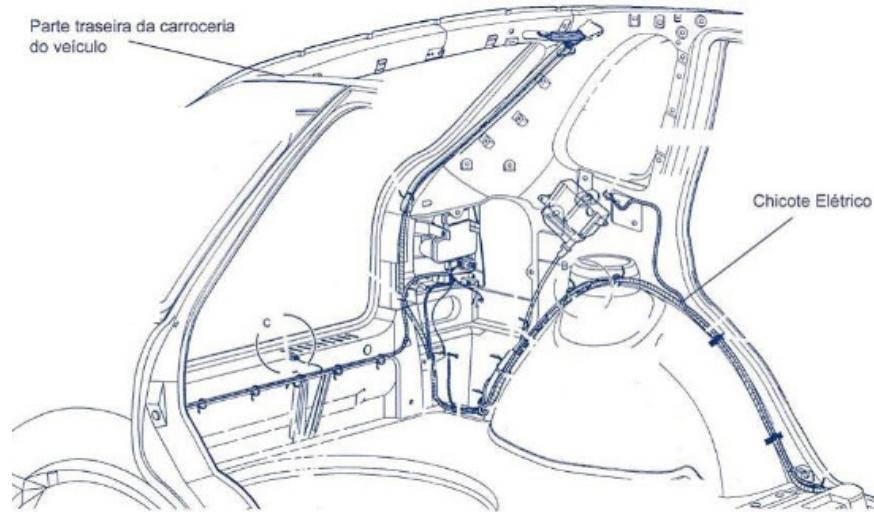


FONTE: Miroslava Hamzagic, 2003

### 3.3.4 Chicote do Habitáculo / Carroceria / Interior

Este é geralmente o maior chicote do veículo pois percorre o carro inteiro e faz a ligação com quase todos os outros chicotes do veículo, recebe sinais dos chicotes da parte frontal, motor, painel, portas, tampa traseira e parachoque, e geralmente é responsável pelas funções das lanternas traseiras, break light, desembraçador traseiro, limpador traseiro, alarmes e travas traseiras, abertura e iluminação do porta-malas. A Figura 11 apresenta um exemplo da localização do chicote do habitáculo / carroceria / interior no veículo.

**Figura 11- Localização do Chicote do Habitáculo / Carroceria / Interior no Veículo**

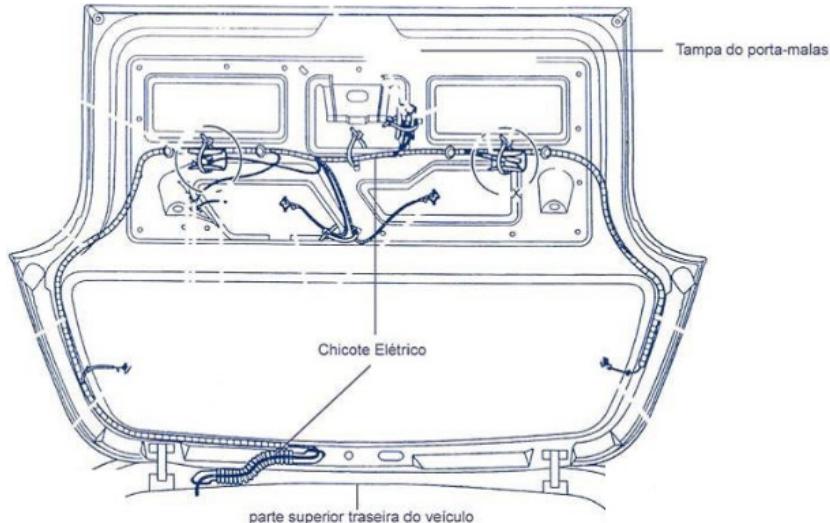


FONTE: Miroslava Hamzagic, 2003

### 3.3.5 Chicote do Porta Malas ou Tampa Traseira

Este chicote localiza-se na tampa traseira e/ou porta malas e geralmente é responsável pelas funções de break light, limpador e desembaçador traseiro e pelo acionamento da trava da tampa traseira. A Figura 12 apresenta um exemplo da localização do chicote do portas malas ou tampa traseira no veículo.

**Figura 12- Localização do Chicote do Portas Malas ou Tampa Traseira no Veículo**

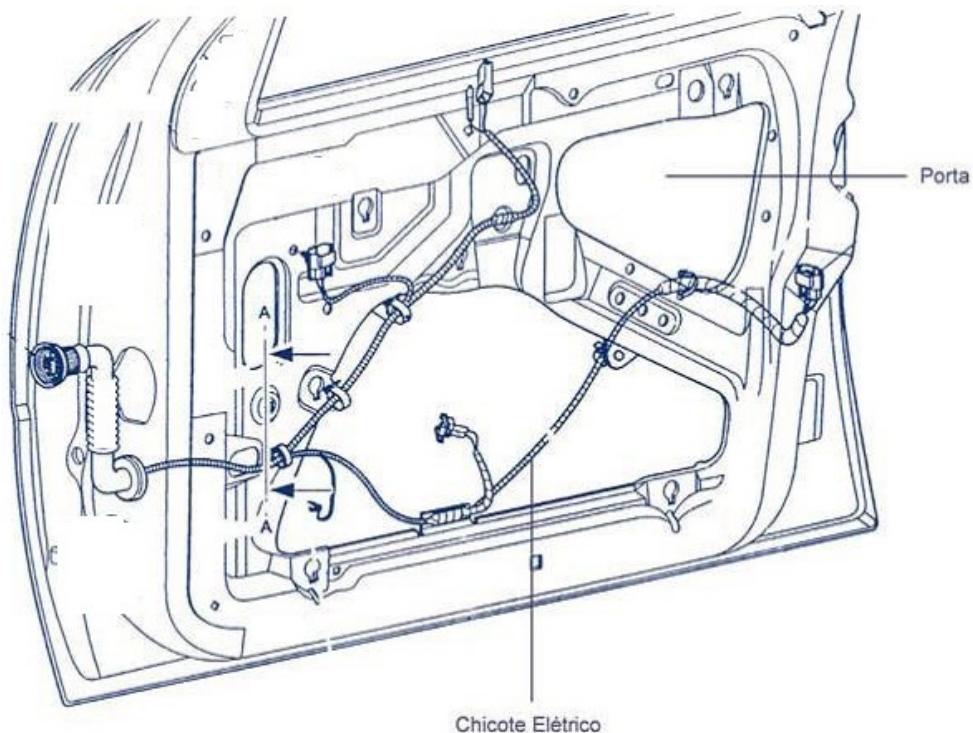


FONTE: Miroslava Hamzagic, 2003

### 3.3.6 Chicote de Portas

Este chicote é responsável pelo funcionamento das funções dos falantes, vidros elétricos, travas elétricas, retrovisores elétricos das portas frontais e traseiras. É a única peça que pode não ser utilizado no veículo caso o mesmo não tenha nenhuma das funções citadas acima. A Figura 13 apresenta um exemplo da localização do chicote de portas no veículo.

**Figura 13- Localização do Chicote de Portas no Veículo**



FONTE: Miroslava Hamzagic, 2003

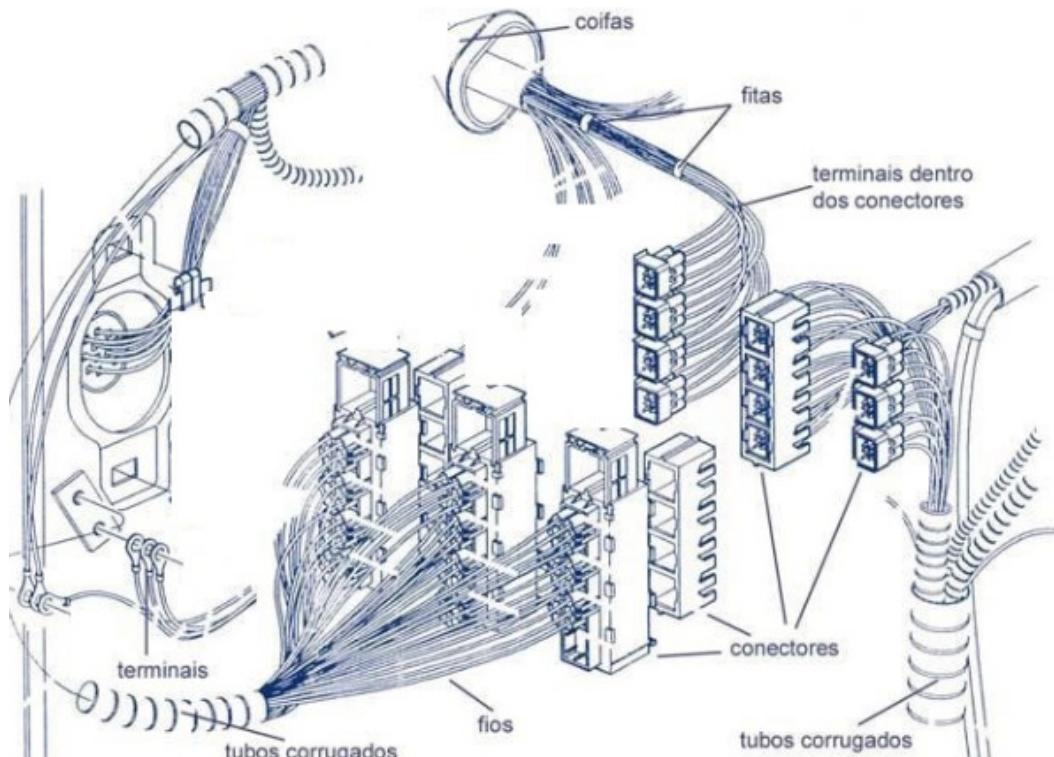
### 3.3.7 Outros chicotes

Hoje cada vez mais os carros estão com grande conteúdo eletrônico e com isso outros chicotes podem ser empregados para acrescentar essas funcionalidades, por exemplo, chicotes de teto, chicotes de sensores de estacionamentos dianteiros e traseiros, chicotes de aquecimentos de bancos, chicotes de direção elétrica, chicotes de airbag de bancos e chicotes de airbag de cortina, etc.

Conforme fora referenciado no início deste estudo, Hamzagic (2003) o chicote elétrico é uma união de fios de cobre recobertos por PVC ou silicone que cortados em determinado tamanho, são prensados com terminais metálicos nas extremidades. Estes terminais em conjunto se encaixam em conectores (que irão se conectar) nas partes dos carros que emitem, recebem ou trocam informações elétricas e eletrônicas.

Fazendo uma analogia, o chicote elétrico é considerado o sistema nervoso do carro e embora os projetos possam variar, de acordo com o tipo de veículo e/ou montadora e função dos chicotes, as peças são geralmente semelhantes conforme exemplo apresentado na figura 14.

**Figura 14- Conectores com Terminais e Fios**



FONTE: Miroslava Hamzagic, 2003

São os terminais e os fios os responsáveis por conduzir a eletricidade e os sinais (informações) dentro do veículo. Dependendo da posição que estas conexões estiverem deverão ser especificados materiais mais ou menos resistentes à temperatura, intempéries, vibrações, impactos, rupturas, trincas e até se essas informações podem falhar ou não.

Cada chicote elétrico é constituido por uma grande quantidades de peças e essa quantidade de peças está relacionada diretamente com a quantidade de funções do veículo, ou seja, quanto mais funções disponíveis no veículo maior será a quantidade de peças e fios nos chicotes.

O conjunto formado por um fio cortado com terminais crimpados em umas ou nas duas extremidades é chamado de circuito, e vários circuitos unidos e aplicados em conectores formam um chicote elétrico.

## **4 APLICAÇÃO DOS CABOS DE ALUMÍNIO NA AVIAÇÃO**

Nos últimos 40 anos houveram poucas mudanças no campo dos condutores elétricos utilizados na aviação (BALLENGHIEN; SYNODINOS, 2003).

As especificações de corrente tem sido melhoradas em decorrência da redução de peso, tolerâncias menores e menor variação dos processos fabris, contudo as funções principais ainda são interligadas por condutores de cobre, por isso a Airbus, desde 1985, estuda generalizar o uso de cabos de alumínio hoje limitado a bitolas maiores que 8mm<sup>2</sup>.

Segundo Ballenghien e Synodinos (2003) devido a problemas de fornecimento de terminais para cabos de alumínio, a Airbus, começou em 1975 a desenvolver as suas próprias soluções de conexão. Um dos pontos chaves no desenvolvimento é a estabilidade elétrica da conexão.

Historicamente as instalações elétricas aeronáuticas são baseadas em condutores de cobre com várias soluções de revestimento, geralmente em estanho, prata ou níquel. Apenas uma pequena porção de cabos tem sido utilizados com fio de alumínio sem acabamento ou com acabamento em níquel. Ao mesmo tempo, e apesar de suas conhecidas vantagens de massa, estima-se que apenas 2 a 5% em comprimentos de cabos de alumínio são utilizados em aviões.

De acordo com Ballenghien e Synodinos (2003) as principais razões são:

### **Menor condutividade;**

Para o mesmo tamanho do condutor de alumínio, em relação ao cobre, uma economia de peso de até 70% pode ser conseguida, contudo haverá a necessidade de se aumentar a bitola do cabo em cerca de 35%.

### **Baixas forças de ruptura e flexibilidade;**

A flexibilidade é necessária quando há a necessidade de muitas curvas na instalação elétrica, em particular para as pequenas seções de fios que são mais fragéis do que os tamanhos maiores.

### **Presença de óxidos não condutores superficiais;**

O principal objetivo para a utilização dos cabos de alumínio é garantir uma ligação estável e confiável. Atualmente existem duas formas de se chegar a esses resultados.

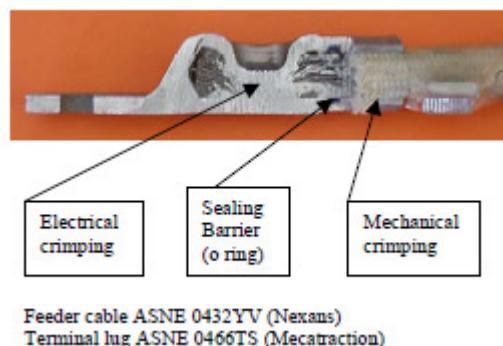
O mais antigo consiste em romper a camada de alumina que cobre as superfícies dos fios, por isso, uma grade com dentes é aplicado no interior do pino do terminal. Esse processo permite que os dentes, no cravamento, penetrem através da superfície do cabo rompendo a camada de óxido garantindo o contato.

Esta é uma solução de confiança, porém só é recomendada em fios com um determinado diâmetro, por isso não é recomendado para bitolas menores que 8mm<sup>2</sup>.

Para isso a AIRBUS escolheu as seguintes tecnologias:

- Utilização de cabos de alumínio revestidos de níquel, para evitar a presença de não óxidos condutores nas superfícies;
- Uso de ferramentas e configurações de cravação, para limitar o fenômeno da dilatação diferencial;
- Vedação completa da área de cravação, para evitar presença de umidade e penetração de ar para evitar a corrosão conforme apresentado na figura 15;
- Inclusão do isolamento para comportamento da força de tração.

**Figura 15- AIRBUS Aluminum feeder connection technology**



FONTE: (BALLENGHIEN; SYNODINOS, 2003).

### **Dificuldades para a industrialização.**

Não é simples de encontrar parceiros para participar de um desafio, considerando que para a aplicação dessa nova tecnologia são necessários novos investimentos técnicos e financeiros e isso leva tempo.

## **5 VANTAGENS E DESVANTAGENS NA APLICAÇÃO DE CABOS DE ALUMÍNIO**

### **5.1 DESVANTAGENS**

Primeiramente, a superfície do alumínio quando diretamente exposta ao ar, fica coberta por uma camada de óxido, de características altamente isolante e de difícil remoção. Esse óxido só é removido, gerando um bom contato elétrico, com a ruptura dessa camada de óxido, o que não ocorre com os condutores de cobre.

Segundo a Allcab (2014) o alumínio escoa sob pequenas pressões, afrouxando as conexões ocasionando a possibilidade de formação de óxido o que irá gerar a elevação da resistência elétrica da conexão o que provocará o aquecimento da mesma.

Outro ponto é que a maioria dos terminais são constituídos em sua composição de cobre e, como cobre e alumínio são eletroquimicamente diferentes existe uma predisposição para a corrosão galvânica.

De acordo com estudos da International Copper Association (2011), uma vez que o cabo de alumínio é instalado, deve ser manuseado com grande cuidado para garantir que o mesmo não seja dobrado muitas vezes, pois pode ocasionar trincas e danos. O raio de curvatura permitido para o cabo de alumínio é menor do que o do cobre.

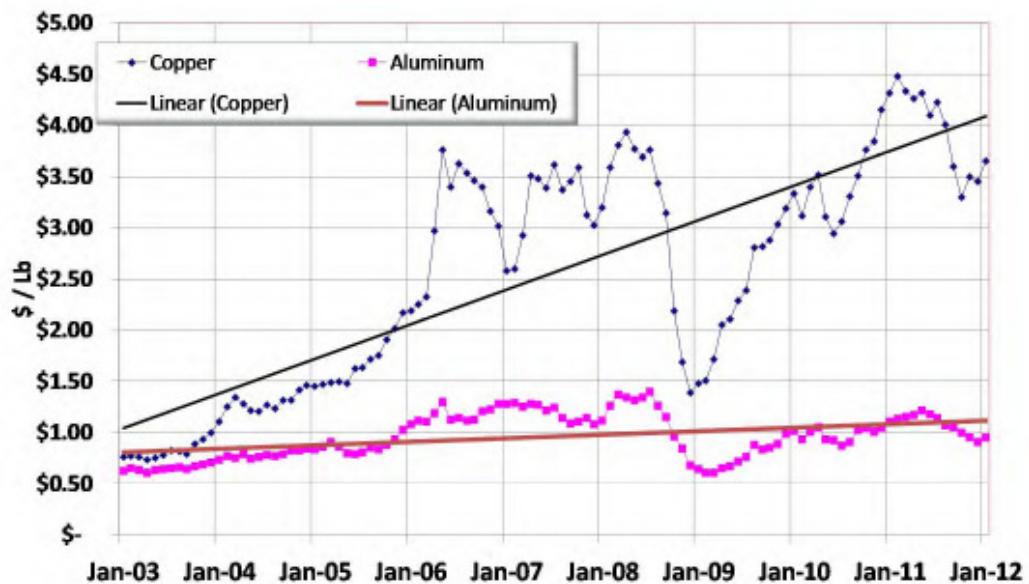
Ainda, segundo estudos da International Copper Association (2011), um grande cuidado deve ser tomado na aplicação de produtos inibidores de umidade ou graxa em todas as conexões, para evitar a reação eletrolítica.

### **5.2 VANTAGENS**

As principais vantagens no uso de alumínio estão no menor custo em relação ao cobre conforme apresentado na figura 16 no fato de o alumínio ser mais leve que o cobre (cerca de 30% mais leve).

Auxilia na redução de peso do veículo contribuindo para a redução das emissões de CO<sub>2</sub>.

Figura 16- Evolução do preço do cobre a alumínio no mundo



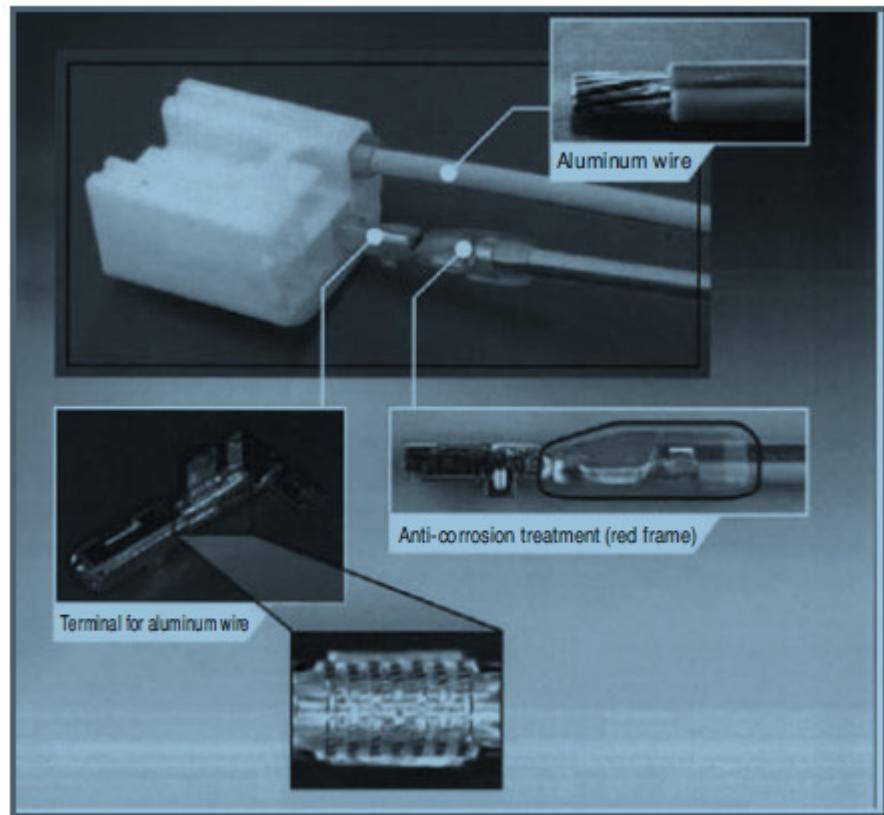
FONTE: (PRICE; PATEL; SEIFERT, 2012)

## 6 O QUE TEM SIDO FEITO HOJE?

Algumas empresas têm trabalhado em busca de soluções para a viabilização da utilização do cabos de alumínio nas aplicações automotivas.

De acordo com Yoshiaki et al. (2011) foi desenvolvida uma tecnologia para os cabos de alumínio e uma tecnologia para cravação dos terminais e uma proteção anticorrosiva para a cravação, como podemos verificar na figura 17, para ser aplicada nas bitolas de cabos de até  $2,5\text{mm}^2$ , range esse, que abrange as bitolas mais aplicas nos chicotes automotivos.

**Figura 17- Desenvolvimento de tecnologia de cabo de alumínio, terminal e sistema anticorrosão**



FONTE: Yoshiaki et al. (2011)

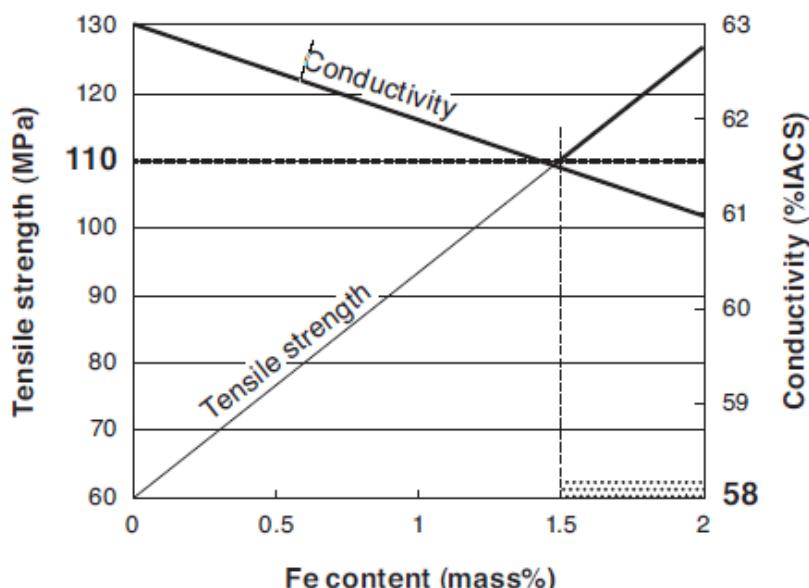
Para os cabos utilizados nos chicote elétricos automotivos as principais características necessárias para a aplicação são a condutividade e a resistência a tração, Segundo Yoshiaki et al. (2011) o objetivo do seu desenvolvimento foi encontrar um cabo de alumínio que tivesse uma resistência a tração de 110 MPa ou mais, e que atingisse uma condutividade mínima de 58% IACS (International Annealed Copper Standard) utilizando como base que um cabo de cobre de 0,50mm<sup>2</sup> pode ser substituído por um cabo de alumínio de 0,75mm<sup>2</sup>.

O Alumínio 99,6% puro tem um condutividade de 62% IACS, porém sua resistência a tração após o recozimento é muita baixa (70MPa). Para a aplicação nos chicotes automotivos essa resistência precisa ser melhorada e, com isso, surge a necessidade do desenvolvimento de uma liga de alumínio para esse fim.

A solução desenvolvida pela Yoshiaki et al. (2011) adiciona um aditivo que melhora a resistência a tensão do cabo, entretanto, diminui a condutibilidade significativamente. Para ser adequado para os cabos de automóveis a força deve ser melhorada ao mesmo tempo que deve-se preservar a condutividade.

Em sua pesquisa Yoshiaki et al. (2011) concluiram que o melhor aditivo a ser aplicado é o ferro (Fe), pois verificaram que adicionando 1,5% ou mais de massa de ferro (Fe) conseguiriam atingir a performance desejada para a aplicação conforme apresentado na figura 18.

**Figura 18- Relação entre teor de Ferro e propriedade do material**



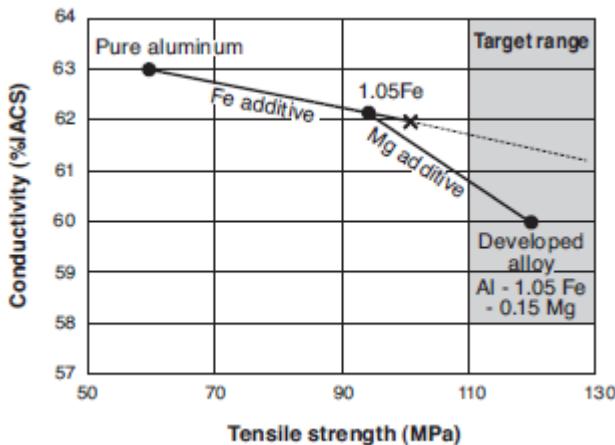
FONTE: Yoshiaki et al. (2011)

Entretanto foi verificado que o processo para a fabricação do cabo é deteriorado quando a quantidade de massa ferro excede 1,2%, devido ao diâmetro de cada filamento dos cabos utilizados na industria automotiva estar entre 0.15 e 0,50mm, o que é muito fino para um cabo de alumínio. A solução encontrada para esse problema foi a adição de mais um material para melhorar a resistência sem afetar a manufaturabilidade do cabo.

Com essas definições a composição ideal encontrada foi de adicionar ao alumínio 1,05% de massa de ferro (Fe) e 0,15% de massa de magnésio (Mg).

Utilizando essa composição pode-se obter um resistência a tração de 120 MPa e condutividade de 60% IACS (International Annealed Copper Standard) como pode ser visto na figura 19:

**Figura 19- Composição e performance da liga desenvolvida**



FONTE: Yoshiaki et al. (2011)

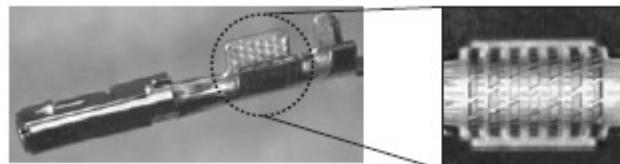
Contudo, não são apenas os cabos de alumínio que estão sendo desenvolvidos para as aplicações em automóveis, os terminais elétricos também necessitam estarem aptos para o cravamento desses cabos de alumínio.

O ideal é que todos os cravamentos estejam na condição de garantir o melhor valor de condutibilidade e de resistência a tração, esse é um dos grandes desafios da aplicação dos cabos de alumínio. No cravamento do cabo de alumínio as garras do terminal precisam quebrar a barreira de óxido de alumínio presente no cabo.

Segundo Yoshiaki et al. (2011) para o atendimento das condições ideais de cravamento é necessário que as asas do terminais, responsável pelo contato com o condutor, após o cravamento, contenham microserrilhas que ao receberem a pressão para o cravamento

serão responsáveis pela quebra do óxido de alumínio do cabo. Um exemplo dessas microserrilhas pode ser visto na figura 20.

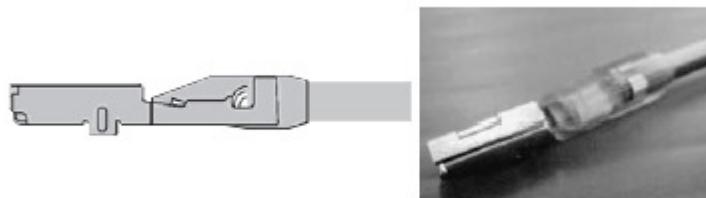
**Figura 20- Microserrilhas nos terminais para crimpagem dos cabos de alumínio**



FONTE: Yoshiaki et al. (2011)

Outro ponto fundamental no desenvolvimento dos cabos de alumínio refere-se a proteção após a crimpagem , pois o alumínio cravado no terminal de cobre está sujeito a corrosão galvânica em contato com o ar. Para isso, Yoshiaki et al. (2011) desenvolveram uma aplicação de resina sobre a crimpagem, figura 21, que impede o contato com o ar, evitando assim a possibilidade de corroção do terminal.

**Figura 21- Exemplo de proteção de cravamento**



FONTE: Yoshiaki et al. (2011)

Atualmente outras empresas vem trabalhando no desenvolvimento de soluções similares a apresentada acima, bem como em algumas melhorias para diminuir os custo e os possíveis impactos de custos na produção dessa solução. Provavelmente nos próximos anos veremos novas tecnologias e com isso o aumento progressivo na aplicação do cabos de alumínio nos chicotes elétricos automotivos.

## 7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Economicamente, o alumínio apresenta-se mais atrativo que o cobre para aplicação em condutores, entretanto sua aplicação em veículos deve ser rigorosamente estudada e validada.

Com o avanço destes estudos novas ligas e conexões com maior tecnologia devem ser apresentadas possibilitando assim o aumento progressivo na aplicação de cabos de alumínio nos automóveis.

Para que a utilização dos cabos de alumínios possa ser largamente empregada na fiação elétrica dos automóveis é necessário que a tecnologia das conexões atendas as especificações e particularidades dos cabos de alumínio. Isso exigirá da engenharia brasileira profunda avaliação no desenvolvimento das aplicações de conexões, terminais e processos para utilização dos cabos de alumínio, principalmente para bitolas com pequenos diâmetros.

Tais conhecimentos serão fundamentais para encontrar as melhores soluções para evitar que as aplicações dos terminais em cabos de alumínio apresentem deformações ou a perda do desempenho elétrico ao longo do tempo, bem como a prevenção da corrosão nas aplicações em regiões úmidas. Também deve ser analisado o roteamento dos chicotes em cada aplicação devido ao aumento do diâmetro dos cabos que faz-se necessário na utilização dos cabos de alumínio no lugar do cobre.

Nesse ponto a Lei do Inovar auto, em conjunto com a crescente busca pela redução de massa e melhora na eficiência energética dos veículos, aparece como o grande impulsionador para o desenvolvimento e aplicação dos cabos de alumínio na indústria automotiva.

Como sugestão para estudos futuros, fica a continuidade na análise de abrangência da aplicação dos cabos de alumínio nas demais áreas e aplicações dos veículos que hoje são restritivas, mas que, com o desenvolvimento de novas ligas de alumínio e de novos tipos de garras e proteção dos terminais poderão permitir a ampliação da utilização dos cabos de alumínio.

## REFERÊNCIAS

- APPOLINÁRIO, Fabio. **Metodologia da Ciência**: Filosofia e Prática da Pesquisa. São Paulo: Cengage Learning, 2012.
- ABAL - Associação Brasileira do Alumínio – Disponível em: <http://www.abal.org.br>. Acesso em: 22 nov. 2013.
- ABAL, Associação Brasileira do Alumínio -. **Fundamentos a Aplicações do Alumínio**. São Paulo: ABAL, 2007.ALUMÍNIO, Abal - Associação Brasileira do. **Fundamentos e Aplicações do Alumínio**. São Paulo: Abal, 2007.
- ALLCAB. **Condutor de Alumínio ou Cobre?** Disponível em: <http://www.allcab.com.br/condutor-de-aluminio-ou-de-cobre/>. Acesso em: 20 abr. 2014.
- ALMEIDA, Ivan Alves de; SILVA, Luiz Carlos da; HALLAK, Sérgio Gattás. Aluminum Alloy for Automotive Cable - A perspective on emerging cars applications. In: CONGRESSO E EXPOSIÇÃO INTERNACIONAIS DE TECNOLOGIA E MOBILIDADE, 19., 2010, São Paulo. **Paper**. São Paulo: Sae, 2010. p. 1 - 9.
- ALMEIDA, Ivan Alves de; SILVA, Luiz Carlos da; SILVA, Maurício. **APLICAÇÃO AUTOMOTIVA DE CABOS DE ALUMÍNIO –**. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DO ALUMÍNIO, 5., 24262012, São Paulo. **APLICAÇÃO AUTOMOTIVA DE CABOS DE ALUMÍNIO –**. São Paulo: Expo Alumínio, 2012. p. 1 - 14.
- BALLENGHIEN, Jean-luc; SYNODINOS, Alexis. FLY BY ALUMINUM CABLES AND ASSOCIATED CONTACT TECHNOLOGY. [s.i]: Aeiss, 2003. 9 p.
- DELPHI. **Cables and Wiring**: Delphi Aluminum Cable Systems. Disponível em: <http://delphi.com/manufacturers/auto/ee/cables/cable-al/>. Acesso em: 22 jan. 2013
- HAMZAGIC, Miroslava. **FLEXIBILIDADE DE ENTREGA NA MONTADORA E POSTPONEMENT**. 2003. 167 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Administração De Empresas, Departamento de Economia, Contabilidade e Administração, Universidade de Taubaté, Taubaté, 2003.
- INTERNATIONAL COPPER ASSOCIATION (Org.). **Comparação de Custo Entre Cabos Isolados de Baixa Tensão de Cobre e Alumínio**. 2011. Disponível em: <http://procobre.org/pt/cobre/aplicacoes/energia/sistemas-eletricos/>. Acesso em: 18 nov. 2013.
- IQPC - INTERNATIONAL QUALITY & PRODUCTIVITY CENTER. **Automotive Wiring – The Evolution from Copper to Aluminum**. Disponível em: <http://www.iqpc.com/Event.aspx?id=450784> . Acesso em: 27 dez. 2013
- LONDON METAL EXCHANGE (Londres). **METALS**. 2011. Disponível em: <http://www.lme.com/metals/non-ferrous/copper/>. Acesso em: 27 out. 2013.
- PRICE, Don; PATEL, Rakesh; SEIFERT, Kurt. Automotive Aluminum Wire....in Your Future? In: ELECTRICAL WIRE PROCESSING TECHNOLOGY EXPO, 0., 2012,

Milwaukee. **Anais...** . Milwaukee: Electrical Wire Processing Technology Expo, 2012. p. 1 - 24.

PROCOBRE – Instituto Brasileiro do Cobre – Disponível em: <http://www.procobrebrasil.org> Acesso em: 23 jan. 2014.

REVISTA ALUMÍNIO. **Perspectiva iluminada.** 2011. Disponível em:  
<http://www.revistaaluminio.com.br/recicla-inovacao/2/artigo210719-1.asp>. Acesso em: 20 dez. 2013.

YOSHIAKI, Yamano et al. **Development of Aluminum Wiring Harness.** 73. ed. [s. L.]: Sei Technical Review, 2011. 80 p.