

Cabos CCA (Copper Clad Aluminum) não são permitidos em sistemas de cabeamento estruturado e não são reconhecidos por normas técnicas para cabeamento estruturado

Paulo S. Marin

Doutor em EMI/EMC, especialista em infraestrutura de TI

Coordenador da CE 003:046.005 ABNT/Cobei

(Artigo publicado na revista RTI, Ano XXV, Nº 290, julho/2024 – Interface/Parte 1)

(Artigo publicado na revista RTI, Ano XXV, Nº 291, agosto/2024 – Interface/Parte 2)

Os cabos CCA não podem ser usados em sistemas de cabeamento estruturado. Entre as normas para cabeamento estruturado (ABNT, ISO, TIA, CENELEC, etc.), nenhuma reconhece esse tipo de cabo.

Essa é uma questão recorrente quando o assunto é cabo balanceado reconhecido para utilização em sistemas de cabeamento estruturado. Conforme mencionei na edição passada de Interface, estamos trabalhando na revisão da norma brasileira de cabeamento estruturado industrial (ABNT NBR 16521) e o tema surgiu novamente como uma preocupação para os membros da comissão de estudo. Há um certo mito de que os cabos CCA são especificados para algumas aplicações industriais em cabeamento estruturado.

Antes de entrarmos em mais detalhes sobre os motivos que impedem o uso de cabos CCA em sistemas de cabeamento estruturado, vamos conhecer um pouco sobre os cabos com condutores de alumínio revestidos com cobre (CCA).

Cabos CCA e aplicações

O condutor de alumínio revestido com cobre (CCA) está disponível normalmente com revestimento de cobre de 10% ou 15% sobre um núcleo de condutor de alumínio. Em relação ao cobre, o alumínio é um pior condutor de eletricidade. Tecnicamente, ele apresenta uma condutividade bastante inferior à do cobre.

Além disso, o alumínio puro não é adequado para uso como condutor elétrico por sua característica mecânica de maleabilidade, o que oferece alguns desafios para a montagem de fios e cabos. Atualmente, a liga mais comumente utilizada para sistemas elétricos é a Al 6101, utilizada em barramentos, que apresenta 56% da condutividade do cobre. Como consequência, os condutores de alumínio aquecem mais que os de cobre e precisam de seções transversais com áreas maiores para uma mesma capacidade de condução de corrente.

Essa característica, por si, já é um grande impedimento para uso de cabos com condutores de alumínio em aplicações PoE (Power over Ethernet), para citar um exemplo.

No entanto, a combinação de alumínio e cobre torna o condutor especialmente adequado para algumas aplicações em sistemas elétricos, eletrônicos e de telecomunicações. As áreas de aplicação desses cabos são as mais variadas, porém, para não confundir ou induzir o leitor a interpretações equivocadas, prefiro não entrar em detalhes sobre aplicações específicas dos cabos CCA lembrando, novamente, que esses cabos não podem ser utilizados em sistemas de cabeamento estruturado.

Isso se aplica a todos os subsistemas do cabeamento estruturado e para qualquer que seja sua aplicação, desde edifícios comerciais a data centers, passando por ambientes industriais e residenciais.

Cabos balanceados para cabeamento estruturado

Os cabos reconhecidos como meio físico padronizado para cabeamento estruturado, devem ter as seguintes características e especificações:

- seus condutores devem ser constituídos de cobre em 100% (nominal); outras ligas não são reconhecidas pelas normas, note o leitor que os cabos com condutores CCA têm apenas 10% a 15% de cobre em sua constituição;
- seus condutores devem ser isolados individualmente e ter bitolas entre 22 AWG e 26 AWG;
- seus condutores devem ser configurados fisicamente em pares trançados (par balanceado);
- os cabos devem ser fabricados com quatro pares balanceados;
- a impedância característica nominal do cabo deve ser de 100 ohms ($\pm 15\%$);
- o cabo deve ter capa externa para isolamento termoplástica;
- os cabos balanceados podem ser blindados ou não; vários tipos de construção são reconhecidos quanto ao emprego (ou não) de blindagem.

Algumas variações nas especificações desses cabos são possíveis, como a construção de cabos em quadras, ou seja, com quatro pares trançados em conjunto em vez de dois (configuração muito rara atualmente), seus condutores podem ser sólidos ou multifilares (para uso em *patch cords* para manobras, nesse caso), o tipo de capa pode variar com a aplicação e requisitos de resposta a eventos de queima, podem ter elemento de tração, podem ter separadores internos de pares, condutor de dreno, etc. Um detalhe muito importante e que faz muita diferença aqui, é que os condutores dos cabos balanceados especificados para sistemas de cabeamento estruturado devem ser de cobre puro.

Porque os cabos CCA não são adequados para sistemas de cabeamento estruturado

Os cabos CCA não podem ser utilizados como meio físico em sistemas de cabeamento estruturado porque não são reconhecidos pelas normas pertinentes.

Isto, sem qualquer outra justificativa, é o suficiente para impedir o uso de cabos CCA em sistemas de cabeamento estruturado. Por não ser reconhecido por normas técnicas, uma eventual instalação executada com esse tipo de cabo não poderá ser certificada simplesmente porque seu desempenho de transmissão não apresenta conformidade com as especificações padronizadas para uma determinada categoria de desempenho.

Entrando em detalhes mais técnicos, há diferenças importantes.

O desempenho de transmissão de canais constituídos por cabos metálicos é baseado em seus parâmetros de transmissão primários e secundários. Os parâmetros primários são aqueles relacionados diretamente aos condutores propriamente ditos, como resistência, indutância, capacitância e condutância. Os parâmetros secundários são atenuação e desvio de fase. Esses parâmetros caracterizam a resposta em frequência de um canal.

Como requisito normativo, o cabeamento estruturado instalado deve passar por testes de certificação. Além de ser um requisito normativo, a certificação do cabeamento é um requisito dos fabricantes para a concessão da garantia estendida de sistema, que costuma variar entre 20 e 25 anos e se aplica ao desempenho do cabeamento instalado para diversas aplicações atuais e futuras, ao longo da vida útil da instalação, que tenham como requisito mínimo de meio físico a categoria de desempenho dos cabos e hardware de conexão instalados.

Para uma análise técnica um pouco mais aprofundada, porém ainda simples, há três parâmetros que podemos utilizar para comparar as respostas de cabos de cobre puro e de cabos CCA, que são a atenuação, a resistência em corrente contínua e a resistência em corrente alternada.

Atenuação

A atenuação é um parâmetro secundário de transmissão (mais informações sobre a atenuação estão em meu artigo publicado na edição 268 da RTI, de setembro/2022). Para lembrar, a atenuação pode ser definida como a perda de potência de um sinal devido a sua propagação por um determinado meio físico. Entretanto, o grau de atenuação do meio varia em função do material (cobre ou alumínio, conforme nosso interesse aqui), ou combinação de materiais (liga de materiais condutores), que o constitui, perdas no dielétrico, frequência de operação, temperatura, entre outros fatores.

Como é de conhecimento do profissional de infraestrutura de telecomunicações e redes, os cabos com condutores de cobre têm atenuação bastante elevada. No entanto, os cabos com condutores de alumínio têm atenuação ainda mais elevada, cerca de 40% superior (em

relação aos cabos de cobre).

Há que se levar em consideração também, que a atenuação aumenta com o aumento do comprimento do canal de transmissão. É por esse motivo que as normas de cabeamento estruturado limitam o comprimento de um enlace permanente a 90 m e de um canal, a 100 m. Um cabo CCA, se fosse uma opção, reduziria ainda mais esses comprimentos. Para complicar um pouco o cenário, a atenuação de cabos metálicos também aumenta com o aumento da temperatura de operação. Aqui não é diferente, a resposta dos cabos CCA ao aumento da temperatura, também é pior em relação aos cabos de cobre.

O exemplo a seguir passa uma boa ideia das diferenças entre cabos de cobre e cabos CCA quanto à atenuação.

Exemplo ilustrativo

Vamos considerar um enlace permanente Classe D (Categoria 5e) com duas conexões. Na frequência máxima dessa categoria de desempenho (100 MHz), para um comprimento de 90 m, a atenuação é de **20,4 dB** (ISO/IEC 11801-1).

$$A_{100\text{ MHz (Cu)}} = 20,4\text{ dB}$$

Se essa mesma configuração fosse implementada com um cabo balanceado com condutores CCA “equivalente” (o que não existe, mas vamos considerar dessa forma para efeito ilustrativo), a atenuação do enlace, em 100 MHz e 90 m de comprimento, seria de **28,6 dB**.

$$A_{100\text{ MHz (Al)}} = 28,6\text{ dB}$$

Devemos nos lembrar que uma atenuação de 20 dB representa uma perda de potência de 100 vezes no sinal transmitido, ou seja, um sinal de 1 W chega ao receptor com 0,01 W. Uma atenuação de 30 dB representa uma perda de potência de 1000 vezes, ou seja, um sinal de 1 W chega ao receptor com 0,001 W.

Conforme discutido nesse exemplo, a comparação entre as atenuações de um cabo balanceado de cobre e um cabo CCA “equivalente” é apenas ilustrativo. Quando digo que não existe cabo balanceado CCA Categoria 5e é porque essa categoria de desempenho traz especificações de limites bem definidos para diversos parâmetros de transmissão para cabos balanceados de cobre, aos quais a resposta de um cabo CCA não alcança, ou seja, fica muito longe desses limites. Por esse motivo, mesmo que um determinado cabo CCA seja muito parecido em termos construtivos com um cabo balanceado, não passa de aparência. Tecnicamente, eles são muito diferentes.

Para concluir a discussão sobre atenuação, a figura 1 apresenta uma comparação entre a resposta de um enlace permanente Categoria 5e, com três conexões e 90 metros de comprimento e uma representação da atenuação de um cabo CCA para a mesma configuração, extrapolado até 100 MHz.

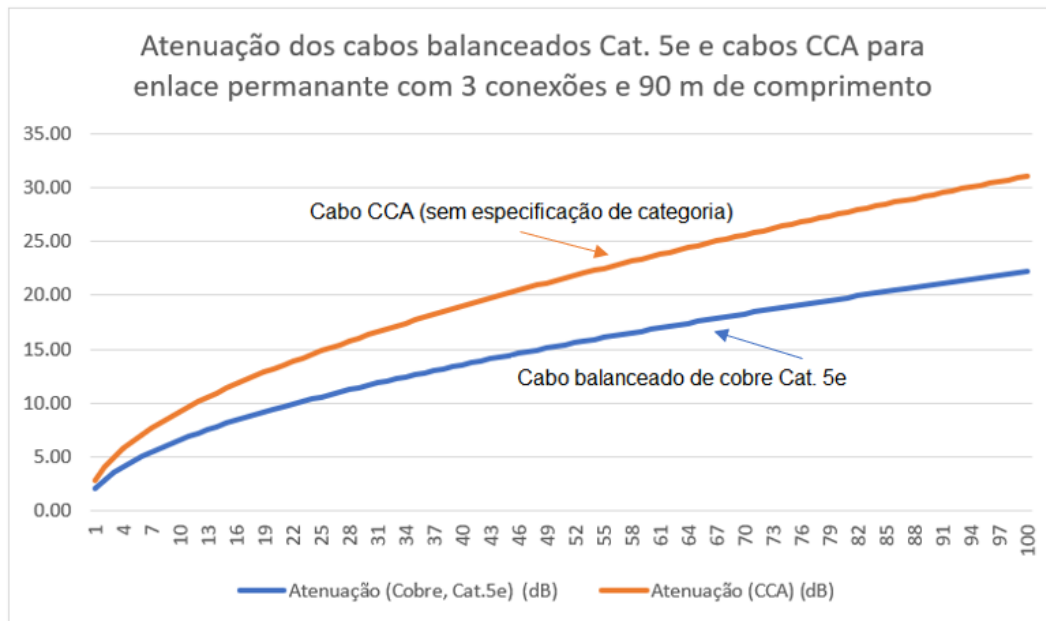


Figura 1 – Comparação entre as atenuações de cabos balanceados Cat. 5e e cabos CCA

É importante que o leitor entenda que, para o caso do cabo CCA, a resposta de atenuação é calculada com base na atenuação do cabo balanceado Cat. 5e. Em outras palavras, trata-se de uma simulação com o propósito de mostrar a diferença entre as respostas de ambos os cabos (para o parâmetro atenuação) para as mesmas condições.

De forma objetiva, o cabeamento instalado com cabos CCA não passaria no teste de certificação. Em uma certificação de um enlace permanente Categoria 5e, conforme apresentado na figura 1, o limite de atenuação, ou seja, os valores máximos esperados para o resultado do teste para cada frequência da escala avaliada (1 MHz a 100 MHz) é aquele mostrado em cor azul na figura 1. Os valores acima dessa curva (limite da Categoria 5e) não passam no teste de certificação e geram um resultado “rejeitado” para a Categoria 5e.

Vamos ver em seguida os parâmetros resistência em corrente contínua, o efeito pelicular e a resistência em corrente alternada dos condutores de cobre e CCA.

Resistência em corrente contínua (R_{cc})

A resistência em corrente contínua (R_{cc}) de um condutor é sua resistência “natural”, ou seja, em frequência zero, normalmente especificada em Ω/m linear. É importante lembrar que a resistência aumenta com a variação da frequência, referida como resistência em corrente alternada, que tem relação direta com sua atenuação.

Novamente, quanto maior o comprimento do segmento de cabo, maior sua resistência em corrente contínua e, como consequência, maior a atenuação do canal de transmissão. Esta é a relação entre a R_{cc} e a atenuação.

Outros fatores determinantes da resistência em corrente contínua, relacionados com aspectos construtivos dos cabos são o material do condutor (cobre, alumínio, etc.) e sua bitola. Condutores com bitolas de dimensões maiores, apresentam valores menores de resistência em corrente contínua. Cada material condutor tem um valor de resistividade correspondente. Além disso, a variação de temperatura de operação também leva ao aumento da resistência do condutor.

Conforme discutido na edição passada de Interface, sabemos que a condutividade dos cabos de cobre é maior que a condutividade dos cabos CCA, ou seja, a resistividade do cobre (ρ_{Cu}) é menor que a resistividade do alumínio (ρ_{Al}) e isso determina a resistência em corrente contínua dos cabos, conforme mostrado na tabela 1.

Tabela 1 – Resistência em corrente contínua de cabos balanceados de cobre e cabos CCA

Bitola do condutor (AWG)	R_{cc} Cobre ($\Omega/100m$) $\rho_{Cu} = 17,24 \Omega/mm^2/km$	R_{cc} Alumínio ($\Omega/100m$) $\rho_{Al} = 28,21 \Omega/mm^2/km$
24	8,42	13,77
23	6,67	10,93

Os valores apresentados na tabela 1 mostram que há uma diferença importante entre as respostas dos cabos balanceados de cobre e cabos CCA para a resistência em corrente contínua.

Fique de olho!

De acordo com normas brasileiras, as bitolas de condutores elétricos devem ser especificadas em mm^2 . No entanto, as bitolas dos condutores de cabos para telecomunicações continuam sendo especificadas em AWG. Quanto maior a bitola de um condutor em AWG, menor sua dimensão.

No entanto, a resistência em corrente contínua, embora importante, por si só não caracteriza a resposta de um canal metálico para uma determinada largura de banda. O aumento da frequência leva ao aumento da resistência do condutor. Isso ocorre devido a um efeito conhecido como efeito pelicular e a resistência resultante, denomina-se resistência em corrente alternada.

Efeito pelicular (ou skin effect) e resistência em corrente alternada

De forma objetiva, o efeito pelicular consiste na concentração de cargas nas camadas superficiais do condutor e ausência de carga em seu núcleo. Esse efeito leva ao aumento da atenuação do condutor em função do aumento da frequência e isso independe do comprimento do canal, ou seja, mesmo mantido o comprimento do canal, o aumento da frequência leva ao aumento de sua atenuação. O mecanismo do efeito pelicular é mostrado na figura 2.

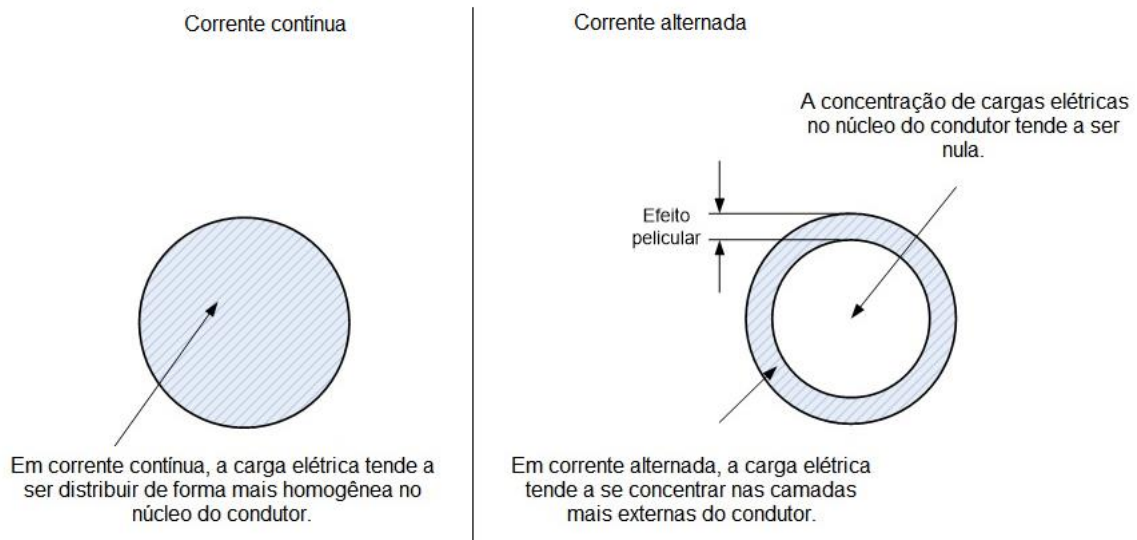


Figura 2 - Mecanismo do efeito pelicular

O mecanismo exemplificado na figura 1 é uma representação simplificada e suficiente para o nosso propósito aqui. Quanto mais alta a frequência, menor será a espessura da camada superficial do condutor que terá concentração de cargas elétricas. A figura 3 apresenta o comportamento da resistência em corrente alternada para cabos de cobre e cabos CCA.

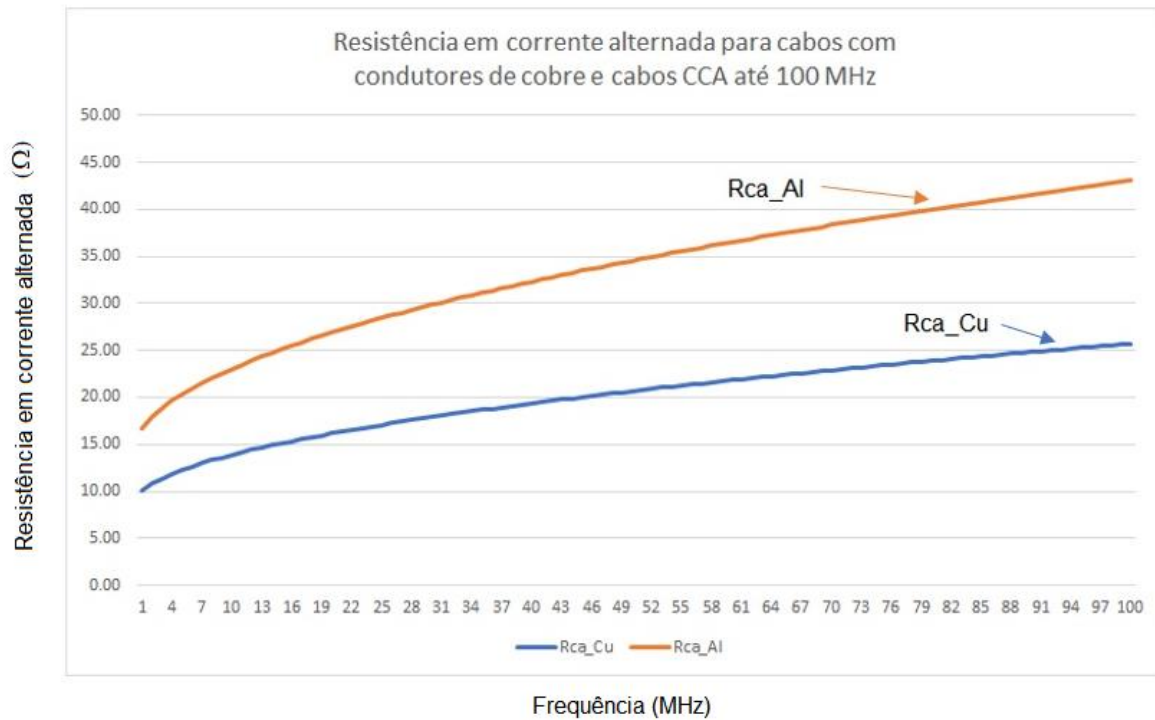


Figura 3 – Resistência em corrente alternada para cabos com condutores de cobre e cabos CCA

Novamente, conforme mostrado na figura 3, os cabos CCA apresentam resistência em corrente alternada muito superior à dos cabos balanceados de cobre e que, portanto, excedem os limites especificados por normas de cabeamento estruturado.

Como se todos os aspectos analisados até aqui não bastassem, ainda temos um agravante que é a resposta da resistência de condutores metálicos ao aumento da temperatura do ambiente de operação. É importante observar que os valores de resistência em corrente contínua, atenuação e resistência em corrente alternada que revisamos, são todos para a temperatura ambiente de 20 °C. Quando o cabo opera em uma escala de temperaturas maior, seja para baixo ou para cima, sua resposta muda. A figura 4 apresenta o comportamento da resistência em corrente alternada para cabos balanceados de cobre e cabos CCA para uma escala de temperaturas entre 20 °C e 60 °C.

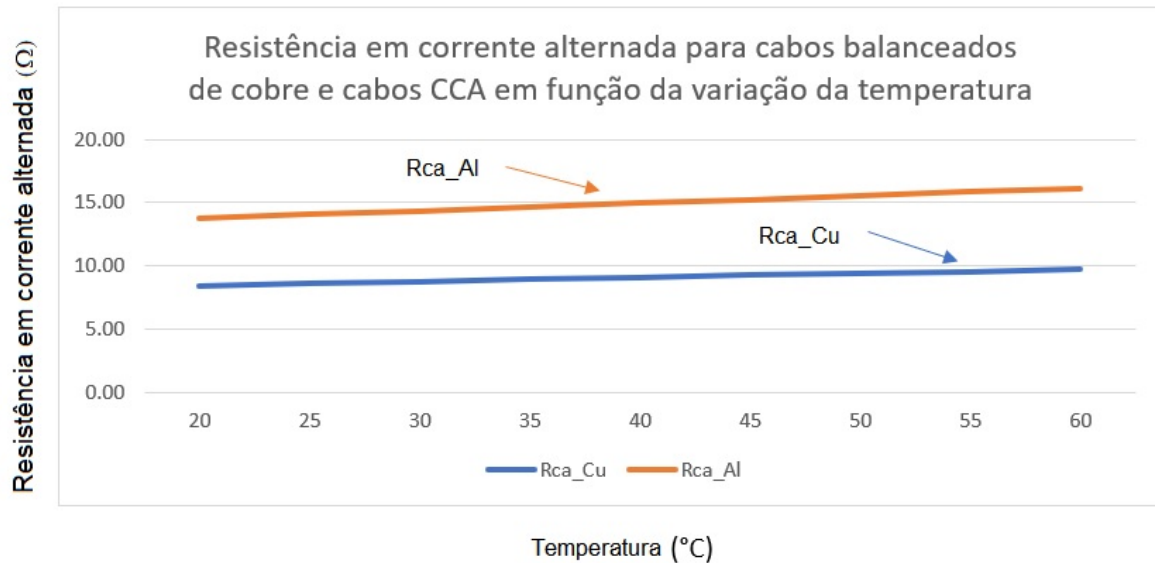


Figura 4 – Resistência em corrente alternada para cabos de cobre e CCA em função da variação da temperatura operacional

A faixa de temperatura considerada no gráfico da figura 4 é a faixa de operação de cabos (e componentes, em geral) para ambientes comerciais. Cabos fabricados para ambientes industriais, por exemplo, operam em outra faixa de temperatura. Entre -15 °C e $+85\text{ °C}$, normalmente.

Embora não entremos em detalhes aqui, há outros dois fatores adicionais que contribuem para a elevação da atenuação de cabos metálicos que são a resistência da blindagem e o efeito de proximidade. Quando um cabo é coberto por uma blindagem metálica cilíndrica, as correntes de sinal que se propagam através de seus condutores induzem correntes na blindagem que representam uma fonte adicional de perda no sinal. Essas correntes contribuem para o aumento da resistência em corrente alternada do cabo. O efeito de proximidade ocorre devido a distância entre cada condutor de um par e também leva ao aumento da resistência em corrente alternada. Portanto, colocando tudo junto, sabemos que a atenuação, que é um parâmetro de transmissão determinante da resposta de cabos metálicos, é função da resistência em corrente contínua, que depende das características construtivas de seus condutores, inclusive do material utilizado (cobre ou alumínio em nossa análise) e da resistência em corrente alternada, que é função da frequência, temperatura de operação, blindagem e também da construção do cabo (efeito de proximidade).

Para finalizar, os cabos CCA, embora úteis em determinados sistemas, não podem ser usados como meio físico em sistemas de cabeamento de estruturado. Esses cabos não são reconhecidos por normas técnicas de cabeamento porque não atendem aos requisitos mínimos das categorias de desempenho e classes de aplicação especificadas para cabeamento estruturado. A questão não é se o cabo CCA é bom ou não, ele simplesmente não é fabricado para cabeamento estruturado.