

RAIO MÍNIMO DE CURVATURA DINÂMICO EM CABOS DE MÉDIA TENSÃO: Fundamentos, exemplos e recomendações diante da lacuna normativa no Brasil.

Marcondes Silvestre Takeda
Gerente de Aplicações e Produtos
Prysmian
Sorocaba, Brasil
marcondes.takeda@prysmian.com

Igor Amaral Delibório
Especialista de Aplicações e Produtos
Prysmian
Sorocaba, Brasil
igor.deliborio@prysmian.com

Resumo - O raio mínimo de curvatura (RMC) é um parâmetro crítico para a confiabilidade de cabos de média tensão isolados. Apesar de amplamente utilizado em projetos, o RMC dinâmico, associado ao momento mais crítico da instalação sob tração, ainda não recebe atenção adequada nas normas brasileiras. A norma ABNT NBR 9511:2019 aborda apenas a condição estática (aquela usada para definição de carretéis e bobinas para acondicionamento dos cabos ou aquela que considera o cabo já acomodado em seu local de instalação) enquanto a norma ABNT NBR 14039:2021 apenas remete-se a essa referência, sem diferenciar situações dinâmicas. Este artigo apresenta os fundamentos do tema e traz exemplos de campo em obras com cabos de média tensão. Com base em normas internacionais e guias técnicos de fabricantes, são oferecidas recomendações práticas para projetistas, instaladores e concessionárias, destacando a importância de incorporar explicitamente o RMC dinâmico às práticas e normas brasileiras.

Palavras-chave: Raio mínimo de curvatura; RMC dinâmico; NBR 9511; NBR 14039, cabos de média tensão; instalação subterrânea; pressão lateral (SWP); boas práticas de projeto e instalação.

O raio mínimo de curvatura (RMC) é amplamente reconhecido como um parâmetro crítico na instalação de cabos de potência isolados, pois define o menor raio que o cabo pode assumir sem sofrer danos elétricos ou mecânicos.

No Brasil, tanto as normas quanto a maior parte dos catálogos e guias de fabricantes tratam do RMC quase exclusivamente em sua condição estática — isto é, quando o cabo já está acomodado em sua posição final de operação. Entretanto, a experiência de campo evidencia que muitos danos surgem durante a instalação, em situações transitórias em que o cabo precisa ser movimentado, puxado ou mesmo conformado em alças provisórias.

Essa distinção entre raio estático e raio dinâmico ainda é pouco abordada no país e merece maior atenção de projetistas e instaladores. Internacionalmente, já se reconhece que os esforços impostos ao cabo na fase de lançamento podem exigir raios de curvatura significativamente maiores que aqueles previstos para a condição final em repouso.

De forma geral, o cálculo do RMC pode ser expresso pela equação:

$$\text{RMC} = \text{diâmetro externo do cabo (De)} \times \text{multiplicador}$$

Onde o multiplicador varia conforme o tipo de cabo, seus componentes e a norma aplicável.

I. CONCEITOS E DEFINIÇÕES

Nesta seção são apresentados os conceitos fundamentais que sustentam a discussão sobre o raio mínimo de curvatura (RMC). A clareza desses conceitos é indispensável para que projetistas, instaladores e fabricantes possam adotar critérios consistentes em suas práticas.

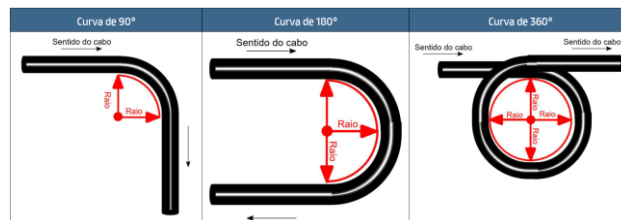


Figura 1 – Medição do raio de curvatura no intradorso em dobras de 90°, 180° e 360°. O raio considerado é o mesmo conceito geométrico em todas as dobras, medido do centro da curva até a face interna do cabo.

A seguir, destacam-se as principais definições utilizadas:

- Raio estático (*training radius*): condição final, cabo acomodado permanentemente.

- Raio dinâmico (*installation radius*): condição durante a instalação, quando há tração, movimento e atrito.

II. CENÁRIO NORMATIVO

O desenvolvimento das normas ao longo do tempo reflete o amadurecimento do setor frente aos desafios técnicos da instalação de cabos. Compreender essa evolução é essencial para contextualizar o cenário atual e identificar as lacunas existentes. Internacionalmente, podemos citar:

- IEC/BS (Europa): distinguem *installation radius* (dinâmico) e *training radius* (estático).
- ICEA/NEMA (EUA): estabelecem tabelas por construção de cabo e diferenciam instalação e operação.

No contexto brasileiro, a norma **ABNT NBR 9511: 2019** – “Cabos elétricos: Raios mínimos de curvatura para instalação e diâmetros mínimos de núcleos de carretéis para acondicionamento” é hoje a principal norma que trata do raio mínimo de curvatura de cabos elétricos. Ela estabelece valores de referência em função do diâmetro externo e da construção do cabo, aplicáveis tanto a condutores de cobre quanto de alumínio. Porém, sua abordagem restringe-se ao cenário estático, ou seja, à condição do cabo já instalado e em repouso. Quando se trata da fase mais crítica — a instalação — o documento não apresenta critérios objetivos, limitando-se a uma nota genérica de que seriam necessários raios de curvatura maiores. Essa lacuna evidencia que ainda há espaço para avançarmos em termos normativos.

Especificamente para os cabos de média tensão, a partir da tabela 1 da norma **ABNT NBR 9511: 2019**, temos os fatores multiplicativos para a determinação do **RMC = De x Multiplicador**:

Tipo de Blindagem	Armação	Multiplicador
Blindado com fios e/ou fita	Não armado	12
	Fita lisa helicoidal	12
	Fita lisa longitudinal	12
	Fita corrugada longitudinal	12
	Fita intertravada helicoidal	12
	Capa de chumbo	12
	Capa lisa de alumínio	20
	Capa corrugada de alumínio	16
	Fios circulares ou planos	12
	Trança de fios	12

Quadro 1 – Multiplicadores para cálculo do RMC estático em cabos de média tensão.

A norma **ABNT NBR 14039:2005 /Em1:2021** – Instalações elétricas de média tensão, de 1,0 kV a 36,2 kV, igualmente não se aprofunda no tema do raio mínimo de curvatura. A norma apenas determina que os valores de referência devem ser aqueles estabelecidos na norma **ABNT NBR 9511**, sem distinção entre raios estáticos e dinâmicos.

Ainda no contexto brasileiro, observa-se também que a imensa maioria das concessionárias de distribuição de energia, em seus manuais e padrões técnicos para instalação de redes primárias isoladas de média tensão, não aborda explicitamente o conceito de raio mínimo de curvatura dinâmico. De maneira geral, a prática adotada é apenas majorar os valores recomendados, muitas vezes aplicando **20×De** ou mesmo o dobro do valor sugerido pelos fabricantes. Ainda que essas margens adicionais tragam alguma segurança, elas não substituem uma orientação clara sobre o processo de instalação sob tração e os efeitos associados ao raio dinâmico, permanecendo assim uma lacuna importante nas normas de distribuição no Brasil.

III. REFERÊNCIAS INTERNACIONAIS

A compreensão do raio mínimo de curvatura exige não apenas definições conceituais, mas também a análise de como o tema é tratado nas normas técnicas.

No Brasil, as referências ainda são limitadas e concentram-se em documentos como a norma **ABNT NBR 9511: 2019**, enquanto em outros países já existem guias e normas mais detalhadas, que chegam a diferenciar o raio estático do dinâmico. Assim, os diversos guias internacionais oferecem contribuições que podem servir de inspiração para revisões futuras da ABNT, reforçando a importância de diferenciar claramente o raio estático (após instalação, sem esforço de tração) e raio dinâmico (durante a instalação sob tração e movimento) dentre os quais podemos citar:

- *AWG – Engineering Guide*: reforça que o raio mínimo deve ser medido na face interna do cabo. Em condições de instalação com tração, o raio deve ser ampliado (dinâmico) para limitar a pressão lateral. O guia ainda destaca que curvatura, tração e atrito devem ser tratados em conjunto.
- *General Cable (Prysmian Group) – Cable Installation Manual for Power and Control Cables* (9ª ed., 2011): manual abrangente que trata de raios mínimos de curvatura estáticos e dinâmicos, *sidewall bearing pressure* (SWBP), tensões de puxamento e coeficientes de atrito; traz tabelas, exemplos de cálculo e diretrizes de instalação em dutos, bandejas e curvas.
- *Prysmian UK – Installation Bending Radii*: apresenta tabelas distintas para instalação (dinâmico) e operação (estático).
- *Texcan – Cable Bending Radius*: Introduce exemplos práticos que ajudam a determinar rapidamente o espaço necessário.

Não existe uma padronização universal quanto aos fatores multiplicadores do diâmetro adotados nas diferentes normas e guias de instalação, sobretudo no que se refere ao raio mínimo de curvatura dinâmico em cabos de média tensão. Em publicações internacionais, encontram-se valores que variam entre 15×De e 20×De. No Brasil, quando o parâmetro é considerado, o fator 18×De tem sido o mais utilizado/recomendado como referência prática, o que resulta em 50% adicional em função do fator usado para o RMC estático.

IV. EFEITOS MECÂNICOS DA CURVATURA EM CABOS DE MÉDIA TENSÃO

A curvatura de um cabo de média tensão vai muito além de uma simples questão geométrica de espaço em caixas, dutos ou canalizações. Ela está diretamente associada a fenômenos mecânicos internos que atuam de forma distinta sobre as diversas camadas do cabo ao longo do seu comprimento. Sempre que um cabo é curvado, sua face externa entra em tração, enquanto a interna sofre compressão. Essas tensões podem comprometer condutores, blindagens e a própria isolamento, mesmo quando não há sinais visíveis de dano na capa. Além disso, durante a curvatura ocorre **movimentação relativa entre as camadas internas**, que são constituídas por materiais diferentes — metais (condutores, blindagens) e polímeros (isolamento, capas termoplásticas). Essa interação pode gerar **esforços de cisalhamento** e atrito, capazes de provocar microfissuras ou danos nas camadas semicondutoras e na isolamento, reduzindo a vida útil do cabo.

Nesta seção, alguns parâmetros físicos associados à curvatura — como deformação relativa, pressão lateral (SWP) e *sidewall bearing pressure* (SWBP) — são apresentados de forma superficial, apenas para contextualizar o fenômeno, uma vez que o foco principal deste artigo é o raio mínimo de curvatura (RMC). Ainda assim, vale uma breve explicação:

- **Deformação relativa (ϵ):** expressão de quanto o material do cabo é alongado ou comprimido quando submetido a uma curvatura. Na face externa da curva o material é tracionado (alongado), enquanto na face interna é comprimido.
- **Pressão lateral (SWP):** A pressão lateral (SWP) é a força radial exercida sobre o cabo quando ele é puxado sob tensão ao contornar uma curva. Esse esforço é crítico, pois pode causar danos à isolamento, blindagem ou mesmo deformar o condutor, caso ultrapasse os limites recomendados pelo fabricante.
- **Sidewall Bearing Pressure (SWBP):** parâmetro usado em normas internacionais para expressar a pressão que o cabo exerce contra a superfície de apoio (roldanas, eletrodutos, caixas) durante a instalação. Valores típicos admissíveis estão na faixa de **4,4 a 14,6 kN/m**.

A tradução destes efeitos em grandezas mensuráveis como raio mínimo de curvatura, pressão lateral e *sidewall bearing pressure* (SWBP) permite criar critérios objetivos de projeto e instalação. A seguir, são apresentadas fórmulas e parâmetros técnicos que explicam a deformação relativa e a pressão lateral.

a. Deformação relativa:

$$\epsilon = \frac{d}{2R}$$

Onde:

ϵ = deformação relativa (adimensional, normalmente expressa em %)

d = diâmetro externo do cabo (em metros, m)

R = raio de curvatura adotado (em metros, m)

Exemplo: um cabo com diâmetro de 50 mm (0,05 m) curvado em um raio de 0,60 m apresenta:

$$\epsilon = 0,05 \div (2 \times 0,60) = 0,0417$$

Isso significa que, na face externa da curva, o material sofre um alongamento relativo de aproximadamente **4,2%** em relação ao seu comprimento original.

b. Pressão lateral (Sidewall Pressure – SWP)

O cálculo da pressão lateral (SWP) permite avaliar se o raio de curvatura adotado é suficiente para limitar os esforços sobre o cabo.

A pressão lateral é calculada por:

$$SWP = \frac{T}{Rmc}$$

onde:

SWP = pressão lateral (N/m ou kN/m)

T = força de puxamento (N)

Rmc = raio da curva (m)

Para ilustrar consideremos um cabo de **15 kV**, com as seguintes características:

- **Diâmetro externo (De):** 50 mm (0,05 m)
- **Condutor:** Cobre
- **Blindagem metálica:** Fios de cobre aplicados helicoidalmente
- **Peso linear:** 5.500 kg/km (5,5 kg/m)

Como determinar a força de puxamento (T)

A força de puxamento máxima admissível depende de vários fatores:

- Peso do cabo e comprimento do trecho a ser instalado;
- Coeficiente de atrito entre cabo e duto (Ko), normalmente entre 0,3 e 0,8 (adota-se 0,5 para cálculos práticos);
- Fator de correção para múltiplos cabos (ω), geralmente entre 1,0 e 1,25;
- Existência de curvas, aclives e declives, que aumentam o esforço total.

A fórmula básica para trecho retilíneo é:

$$T = Ko \cdot \omega \cdot P \cdot L$$

Onde:

T = força de puxamento (kgf)

Ko = coeficiente de atrito (adimensional)

ω = fator de correção para múltiplos cabos

P = peso do cabo (kg/km)

Como exemplo, em 2024, durante a instalação subterrânea de cabos de média tensão (condutor de cobre 500mm², classe de tensão 25kV e diâmetro externo de 46mm) em uma obra privada no Brasil, observou-se que, embora o projeto previsse o raio estático conforme a norma ABNT NBR 9511 (12×De = 552mm), o manuseio em caixas de passagem com tamanho de 2x2 metros obrigou os cabos a assumirem curvas inferiores a 500 mm. Esse valor ficou abaixo do raio estático e ainda mais do raio dinâmico recomendado (18×De = 828mm), expondo o sistema a riscos de falha prematura em razão da possibilidade de fragilização da cobertura e de danos às camadas internas do cabo, incluindo blindagem metálica, camadas semicondutoras e isolamento.

A linha subterrânea contava com oito caixas de passagem ao longo de sua extensão, com os circuitos instalados em configuração trifólio, posicionados lado a lado.

Durante o puxamento, os cabos eram retirados nas caixas de passagem a fim de criar reservas de comprimento que permitisse o puxamento manual nas caixas seguintes. Embora esse procedimento seja amplamente utilizado, ele pode gerar esforços excessivos sobre o cabo no momento de acomodar a reserva dentro da rede de dutos e caixas de passagem. Isso ocorre porque, a depender do espaço disponível ao redor e das dimensões das próprias caixas, pode não haver área suficiente para comportar o comprimento final da reserva sem que o raio mínimo de curvatura seja violado.

Um método muito comum de se realizar nestas situações é o popularmente conhecido por “ohmega (Ω)” que faz com que o cabo assume a forma da letra grega durante a reentrada na caixa de passagem.

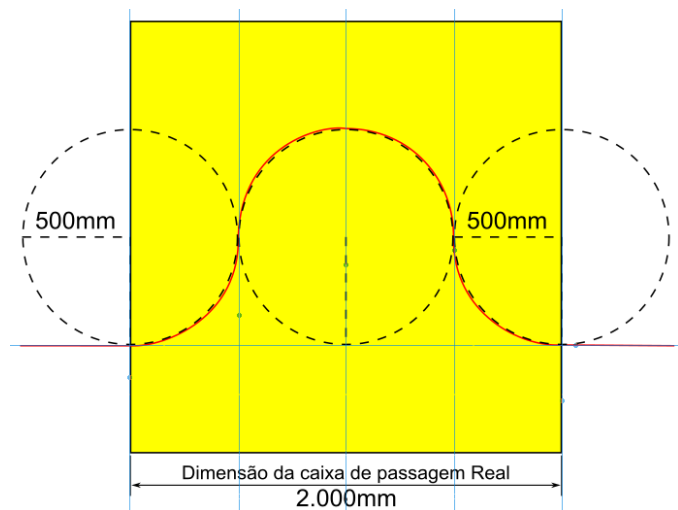


Figura 4: Exemplo teórico do método “ohmega (Ω)” na caixa de passagem Real do case.

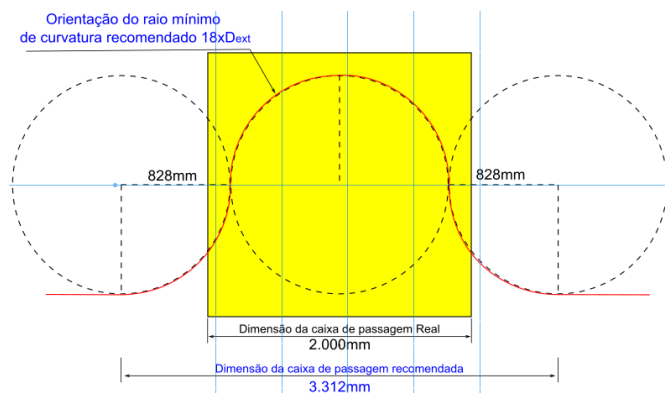


Figura 5: Orientação de dimensões da caixa de passagem recomendada para execução do método “ohmega (Ω)” para este case.

Em algumas situações, o método “ohmega” não pode ser realizado devido à falta de espaço para acomodar a reserva de cabos ou porque a própria caixa de passagem não possui dimensões suficientes para cumprir com a recomendação. Nesses casos, torna-se necessário adotar alternativas de instalação, como o puxamento direto passando por toda a extensão do trecho, porém de forma mecanizado e não manual como foi adotado no exemplo em questão, utilizando assim guinchos específicos com cabos de aço e controle da tração aplicada. Além desta operação, outras situações com curvatura em excesso também foram identificadas durante o processo de instalação dos cabos, como mostrado na figura 6.



Figura 6 – Situação encontrada na caixa de passagem durante processo de instalação.

A figura 7 apresenta uma projeção de como deveria ser o raio mínimo de curvatura dinâmico na instalação.

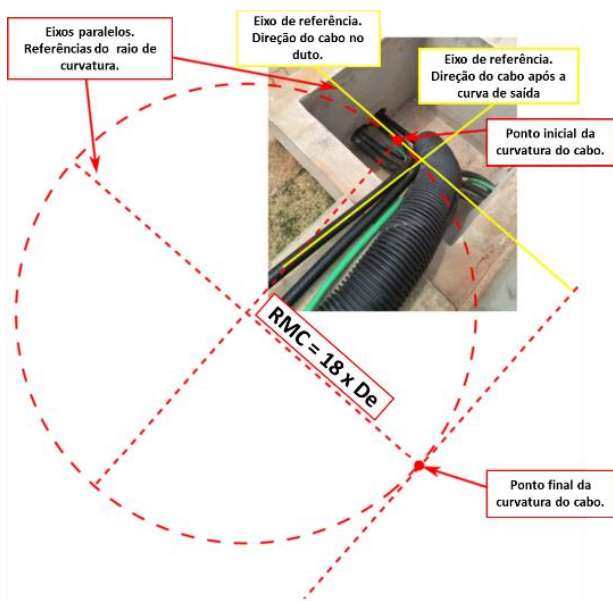


Figura 7 – Projeção do raio mínimo de curvatura dinâmico.

O caso evidencia que atender apenas ao raio estático em projeto não é suficiente. É indispensável considerar o raio dinâmico durante o lançamento, principalmente em obras de grande porte e de missão crítica como hospitais, aeroportos, data centers, entre outros. A solução apontada foi o aumento das dimensões das caixas de passagem e a utilização de puxamento contínuo com equipamentos adequados, mitigando os riscos de violação de curvatura.

VI. RECOMENDAÇÕES PRÁTICAS

Embora tabelas normativas sejam fundamentais como referência, em campo muitas vezes é necessário ter regras simples que permitam calcular rapidamente o raio mínimo. Fórmulas de bolso, multiplicadores fixos e exemplos numéricos facilitam a vida de projetistas e instaladores, ajudando a estimar o espaço necessário em curvas e caixas sem necessidade de consultar normas complexas a cada passo.

- Projetistas: prever espaço para o raio dinâmico; evitar caixas que forcem alças.
- Instaladores: diferenciar estático \times dinâmico; usar roletes adequados; monitorar tração.
- Fiscalização: exigir memoriais com os dois valores de RMC.
- Fabricantes: incluir nos catálogos nacionais valores distintos de raio estático e dinâmico.

VII. CONCLUSÃO

O tratamento do raio mínimo de curvatura (RMC) em cabos de potência ainda carece de maior detalhamento em normas, projetos e catálogos. A distinção entre valores estáticos e dinâmicos deve ser claramente incorporada às práticas de projetistas, instaladores, fabricantes, distribuidoras de energia e ao próprio segmento normativo, de modo a reduzir falhas ocultas, prolongar a vida útil dos cabos e garantir a confiabilidade das redes com cabos isolados de média tensão.

Para compreender plenamente a importância do RMC, é essencial distinguir os diferentes contextos em que ele se aplica. Cabos podem ser curvados em repouso (condição estática), durante a instalação sob tração (condição dinâmica) ou até mesmo em situações de operação especial. Essa diferenciação orienta a aplicação correta de cada parâmetro em cada etapa.

No cenário normativo, documentos brasileiros como as normas ABNT NBR 9511:2019 e ABNT NBR 14039: 2021 ainda se limitam ao raio estático. Em contrapartida, normas internacionais já avançaram em diferentes graus de maturidade, algumas diferenciando explicitamente os dois contextos, outras ainda com abordagens mais generalistas. Esses referenciais não apenas reforçam a relevância do tema, como também mostram que existe uma base consolidada de boas práticas que pode ser progressivamente incorporada aos padrões técnicos e operacionais aplicados às redes de média tensão.

REFERÊNCIAS

- [1] ABNT NBR 9511:2019 - Cabos elétricos: Raios mínimos de curvatura para instalação e diâmetros mínimos de núcleos de carretéis para acondicionamento. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2019.
- [2] ABNT NBR 14039:2005/Em1:2021 - Instalações elétricas de média tensão, de 1,0 kV a 36,2 kV. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2021.
- [3] IEC 60502-2:2014 - Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV up to 30 kV. International Electrotechnical Commission, Geneva, 2014.
- [4] ICEA S-94-649 / NEMA WC 74:2013 - Standard for concentric neutral cables rated 5 through 46 kV. Insulated Cable Engineers Association / National Electrical Manufacturers Association, USA, 2013.
- [5] BS 6622:2007 - Power cables with XLPE insulation for rated voltages from 3,8/6,6 kV up to 19/33 kV. British Standards Institution, UK, 2007.
- [6] General Cable (Prysmian Group) - Cable Installation Manual for Power and Control Cables. 9ª ed. Highland Heights, KY: General Cable Technologies Corporation, 2011. (Empresa incorporada ao Prysmian Group em 2018).
- [7] Prysmian Brasil - Guia de Instalação de Cabos de Média Tensão: Boas práticas. Prysmian Cabos e Sistemas Elétricos, Brasil. Disponível em: https://br.prysmian.com/sites/br.prysmian.com/files/media/documents/Guia_dimensionamento_media_tens%C3%A3o_amostra.pdf
- [8] AWG - Engineering Guide. Cable Handling and Installation Suggestions. American Wire Group. Disponível em: <https://www.buyawg.com/viewitems/-cable-handling-and-installation-engineering-guide/engineering-guide-installation-suggestions-part-ii>.
- [9] Prysmian UK - Installation Bending Radii. Disponível em: <https://uk.prysmian.com/sites/uk.prysmian.com/files/media/documents/Installation%20Bending%20Radii.pdf>.
- [10] Texcan - Cable Bending Radius for Power & Control. Disponível em: <https://www.texcan.com/articles/technical-news/cable-bending-radius-for-power-control>.