



Revisão da norma ABNT NBR 5422

Palestrante: Carlos Kleber da Costa Arruda (CEPEL)

Agenda

- Escopo
- Processo de revisão
- Principais mudanças
- Expectativas futuras

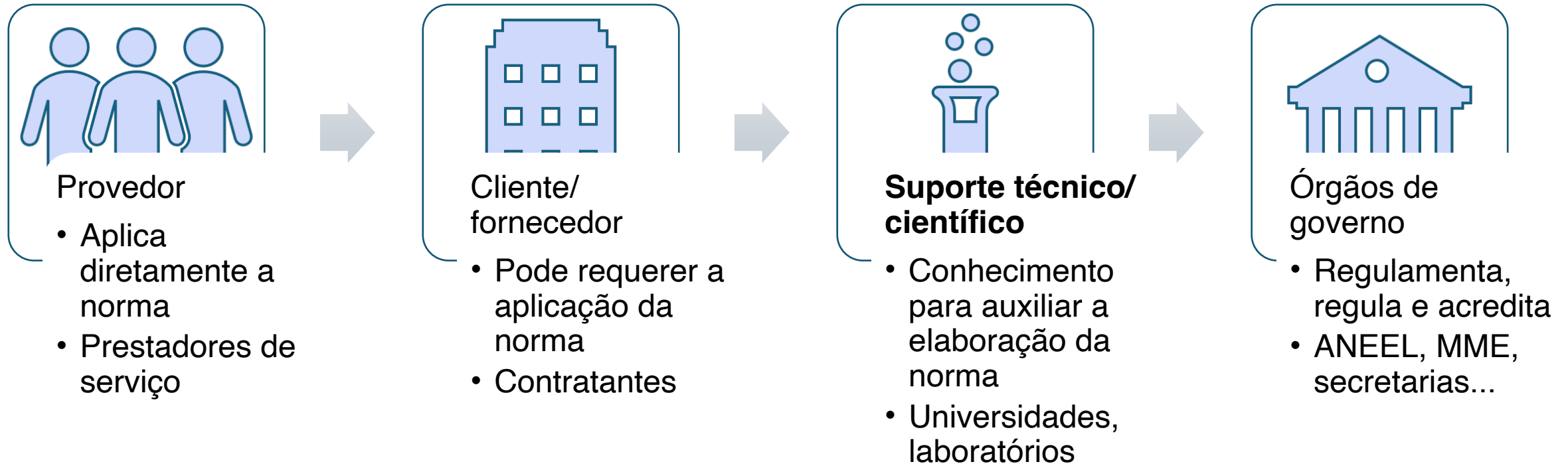
REALIZAÇÃO:



Sobre o comitê de estudo

- CE 003 011 001 "Projeto de Linhas Aéreas de Transmissão de Energia Elétrica"
- Coordenador: Athanasio Mpalantinos Neto (CEPEL)
- Secretário: Carlos Kleber da Costa Arruda (CEPEL)
- Versão anterior: 1985, processo de revisão iniciado em 1986
- Comissão atual aberta em 27/04/2017
- Publicação: 17/01/2024
- 281 membros (de acordo sistema ISO)

Partes interessadas



REALIZAÇÃO:

- Critérios técnicos sobre projeto de linhas aéreas de energia elétrica
 - Corrente alternada: tensão máxima de linha acima de 38 kV e não superior a 800 kV
 - Corrente contínua: tensão máxima por polo acima de 200 kV e não superior a 800 kV
 - Seções 7 e 9 não se aplicam a linhas CC
- Não aplicável a
 - Redes de distribuição
 - Linhas de condutores isolados
 - Linhas de contato para tração elétrica
 - Linhas de telecomunicação

O processo com dois extremos

1986

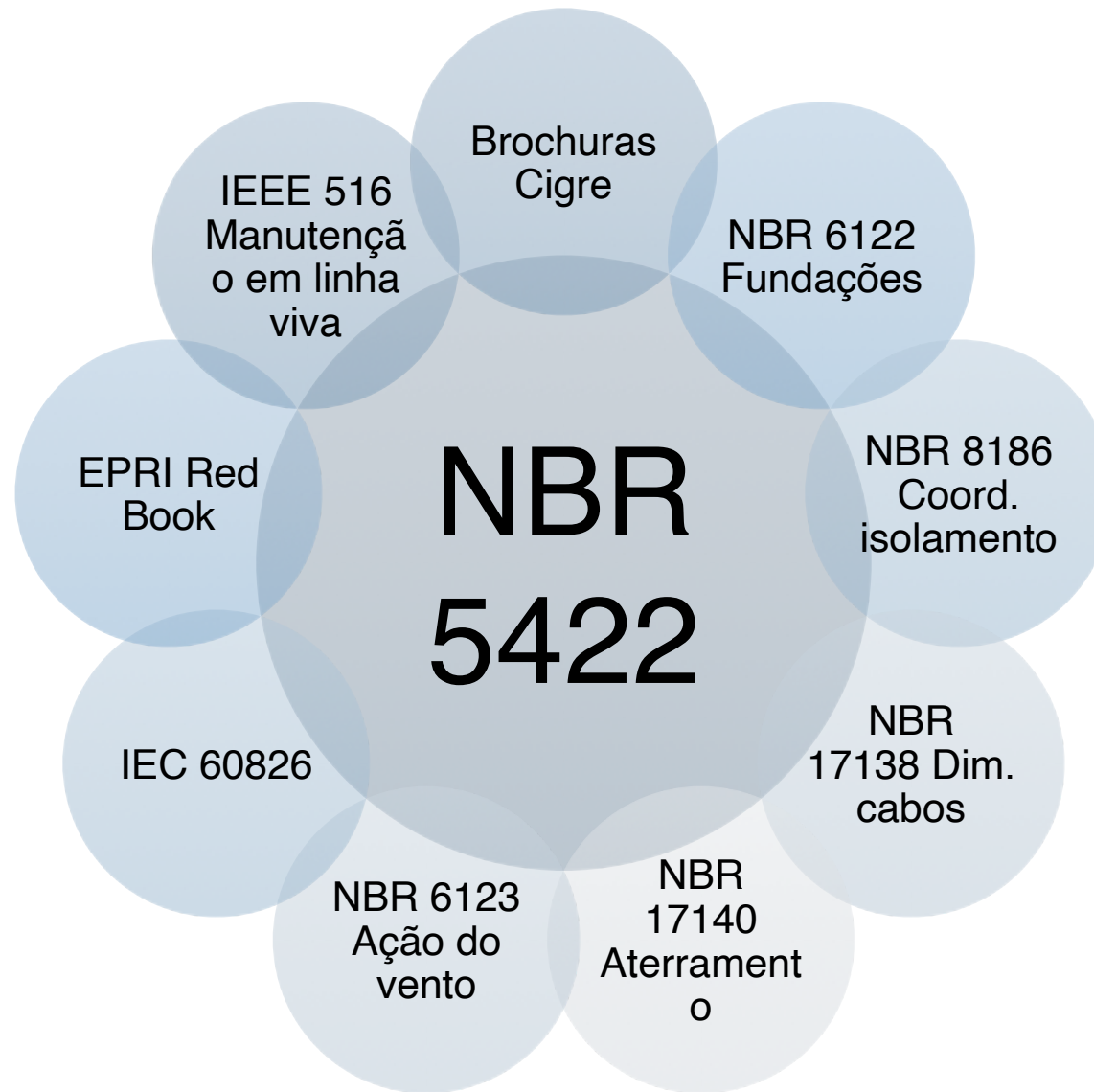
- MME, CNAEE, Eletrobras
- Empresas estatais
- Hidrelétricas
- Pranchetas, ábacos, *mainframes*
- 30~40 GW carga instalada

2024

- MME, ANEEL, ONS
- Mercado de energia elétrica
- Leilões de transmissão, RAP, PVI
- Fotovoltaicas, eólicas, carros elétricos, H₂...
- Plotação automática, IA, *cloud*
- 200 GW carga instalada

Seção 1985		Seção 2024		Principais mudanças (a = antiga, n = nova)
Parâmetros meteorológicos	4	4	Elementos meteorológicos	Inclusão dos fatores de correção atmosférico.
Cabos	5	5	Critérios para cálculo de temperatura do condutor	Definições de risco térmico
		6	Cálculo da temperatura do condutor	Cálculo em função do risco térmico (“ampacidade estatística”)
Distâncias de segurança	10	7	Distâncias de segurança	Balanço de condutor movido para seção 8n.
		9	Projeto do isolamento	Nova. Distinção em distâncias para freq. fundamental, frente lenta e frente rápida. Base estatística.
Esforços mecânicos	8	8	Ação mecânica do vento	Dividido entre seções 4n, 8n e 11n. Baseado na IEC 60826. Fator de turbulência. Critério de vento de 3 s.
		10	Campos, corona e interferências	Nova. Esclarecimentos da legislação vigente e aplicação.
Cabos	5	11	Cabos	Troca da tabela EDS pelo critério H/p
Suportes e fundações	7	12	Suportes	Detalhamento das hipóteses de carregamento
		13	Fundações	Detalhamento de dimensionamento e ensaios.
Aterramento	9	15	Aterramento	Suplantada pela ABNT NBR 17140
		16	Meio ambiente	Nova
Faixa de segurança	12	17	Largura da faixa	Esclarecimentos de faixas em suportes estaiados, critérios de balanço e compartilhamento de faixa.
Limpeza da faixa	13	18	Uso da faixa	Definições de zonas

Relação com outras publicações

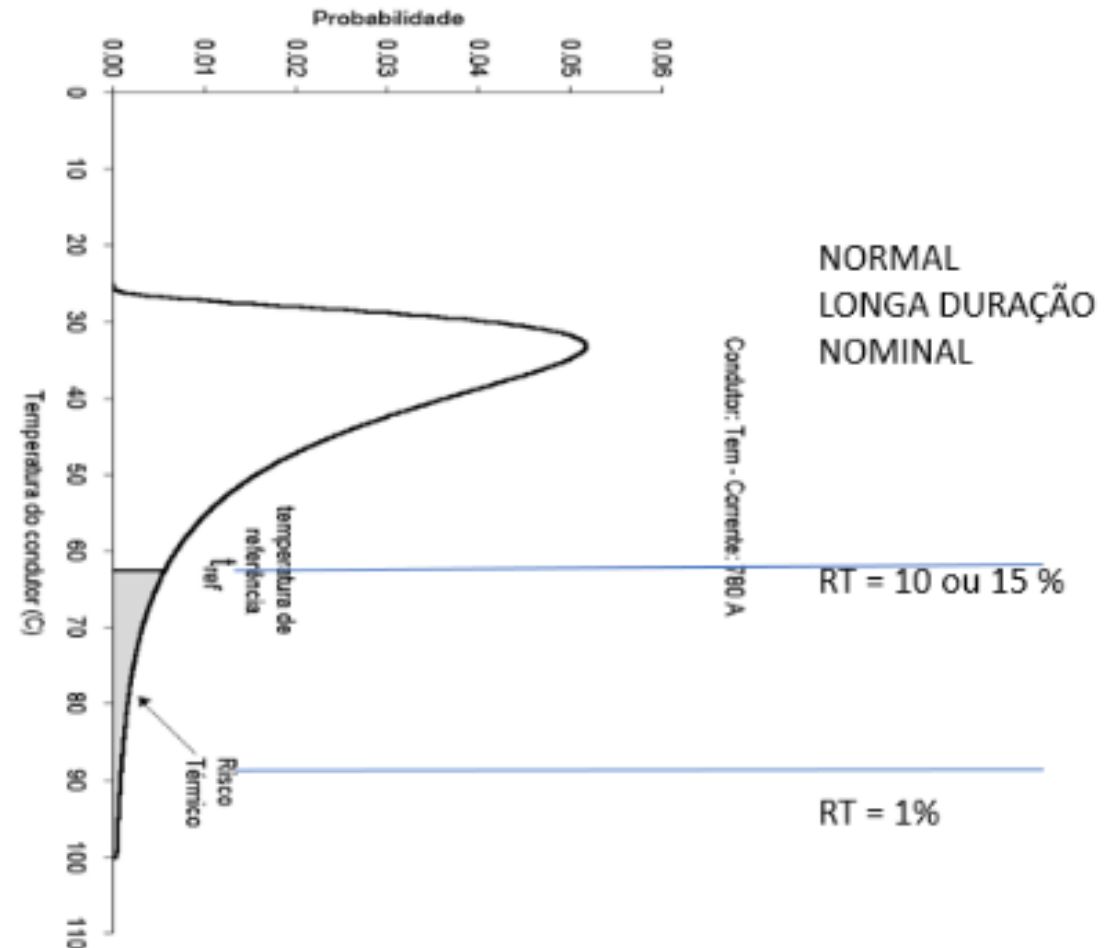


Dados meteorológicos

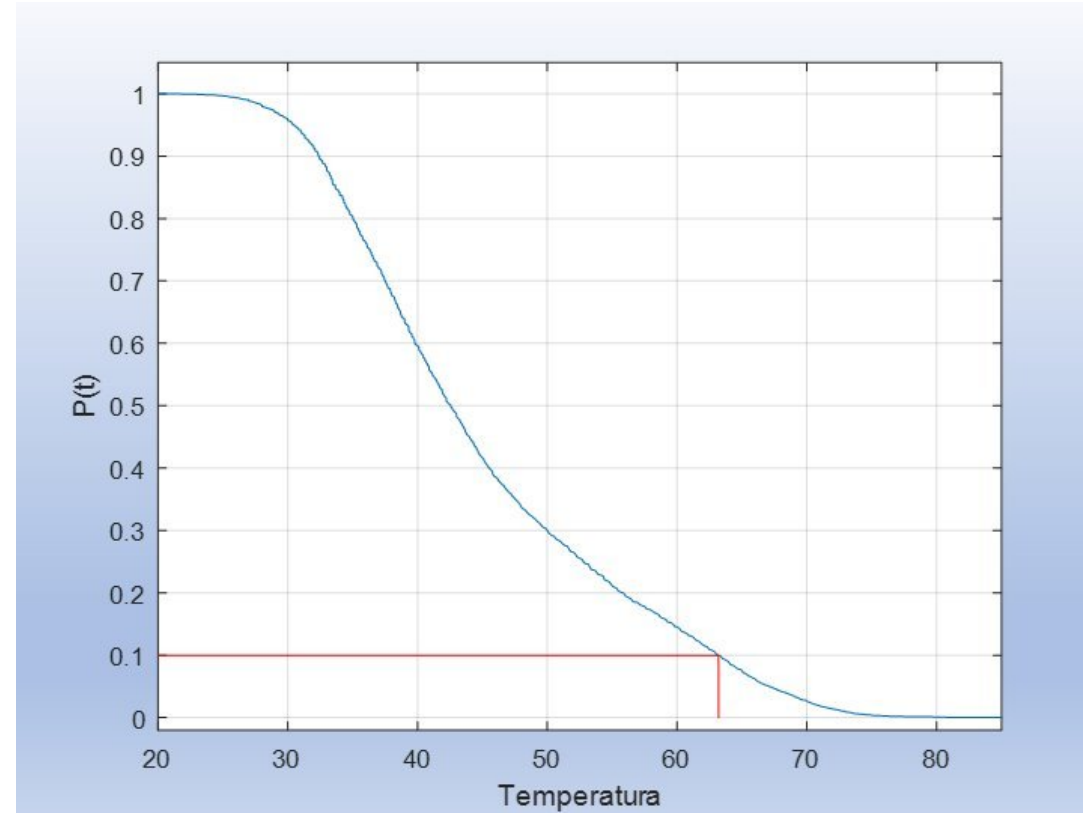
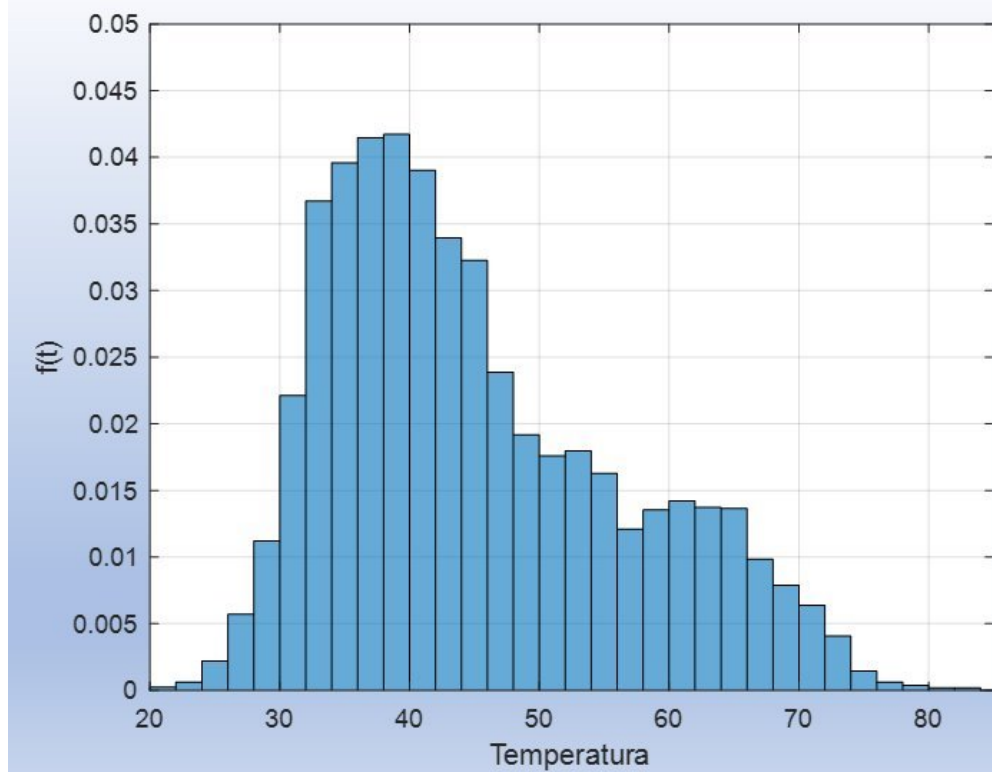
- Série horárias – mínimo 1 medida/ hora
 - Medição simultânea: vento, temp. ar, radiação solar, umidade relativa
 - Temperatura no condutor
 - Parâmetros de correção
 - Cálculo mecânico
- Séries máximas anuais
 - Velocidade máxima do vento
 - Cálculo estrutural
 - Balanço de condutores

Temperatura do condutor – Risco Térmico

- A temperatura do cabo condutor é determinada pelo conceito de risco térmico.
- Distribuição estatística da temperatura do condutor considerando medidas simultâneas, a cada hora, por um período mínimo de 3 anos da velocidade e direção do vento, temperatura do ar e radiação solar.



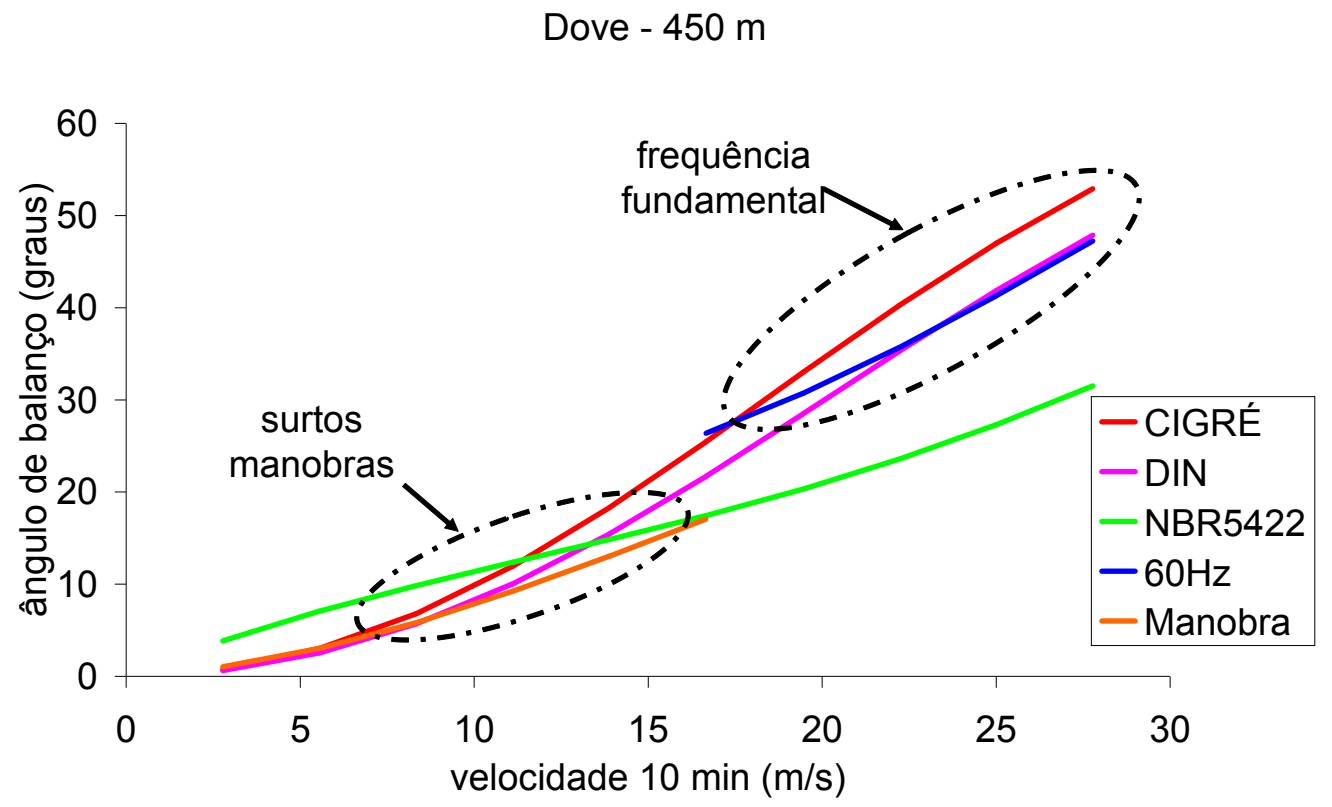
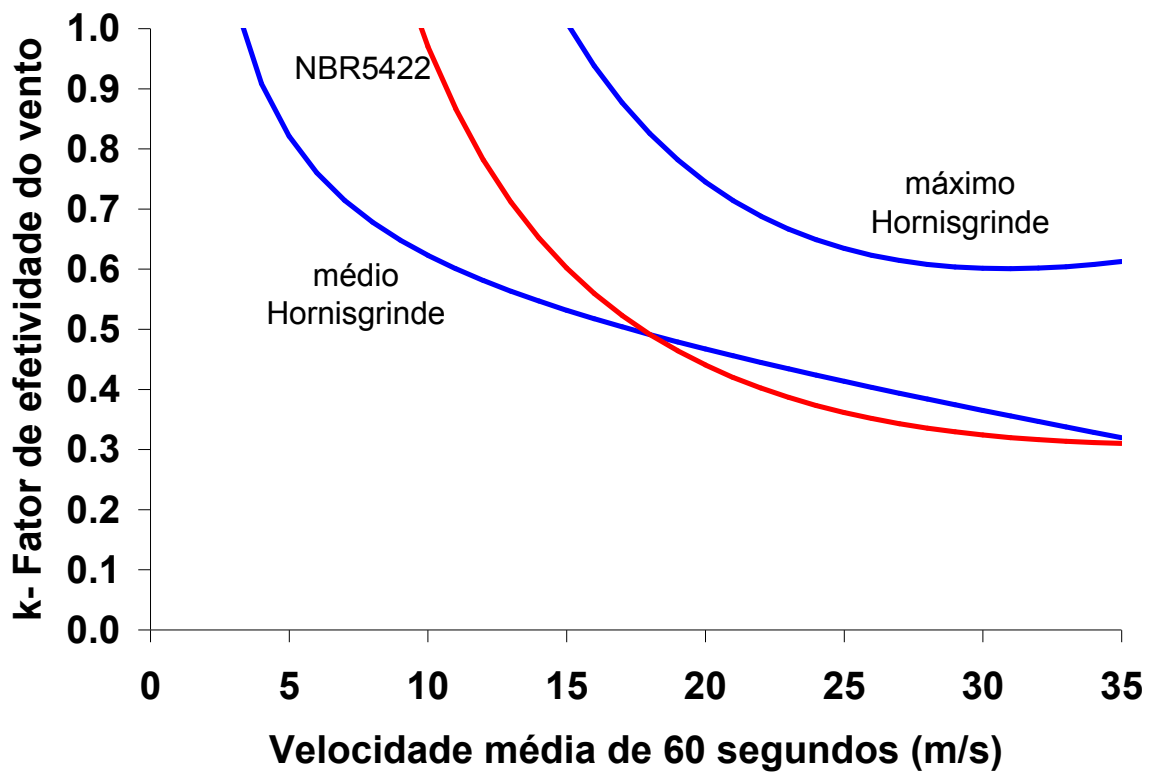
Temperatura do condutor – Risco Térmico

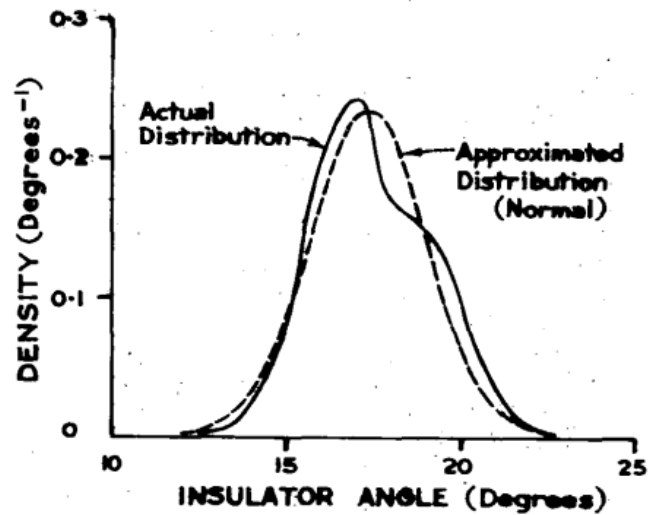
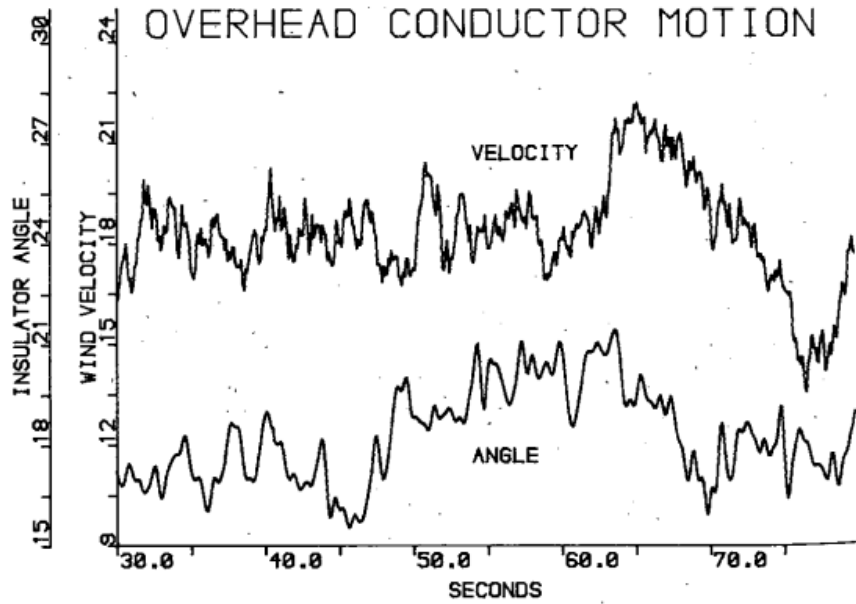


Ação do vento

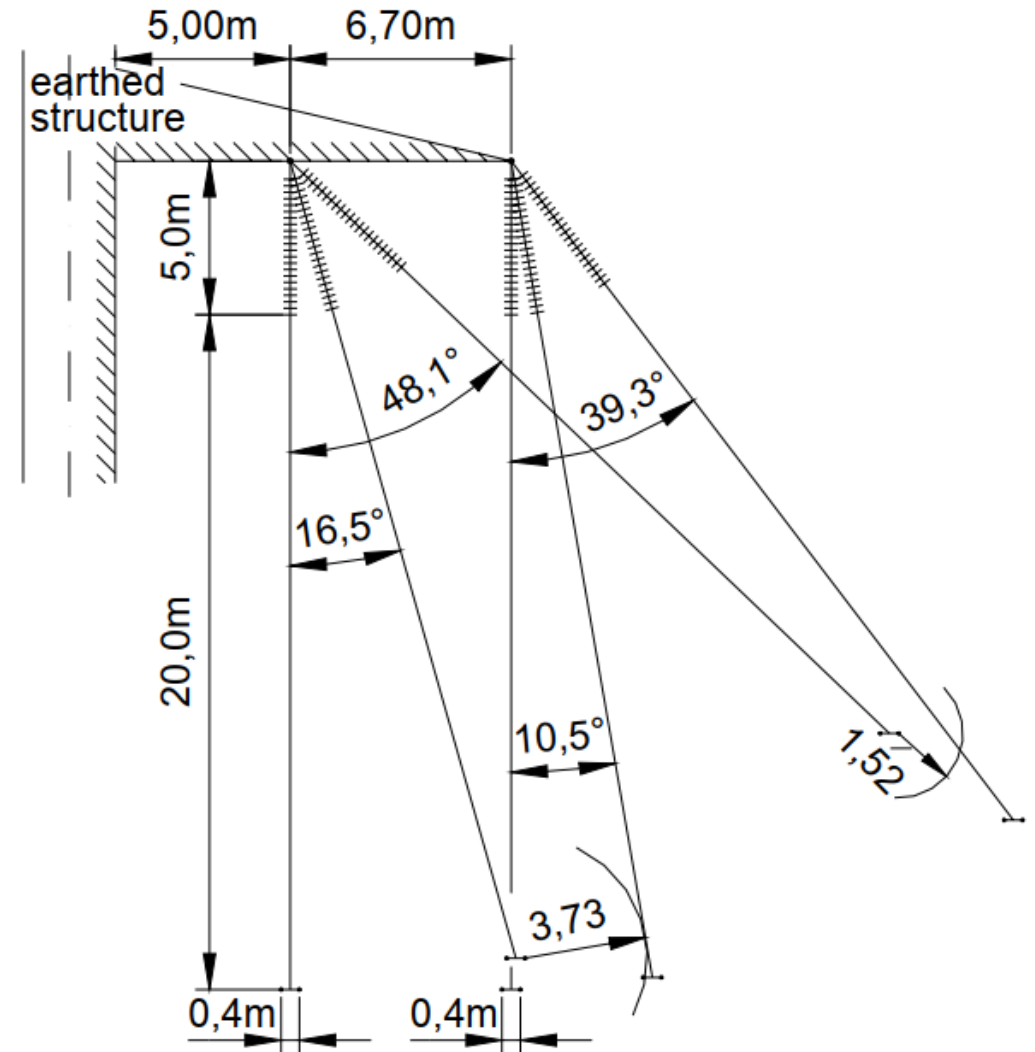
- Definição de ventos de projeto (série de máximos anuais com período de integração)
- Vento de 10 min
 - Parâmetro básico de projeto
 - Baseada na IEC 60826
 - Fator K_{tur} - majoração de acordo com a região (8 a 16%)
- Vento de 3 s
 - Efeito das microexplosões
 - Não varia com a altura
 - Vento agindo no suporte e sobre uma fração do vão (não inferior a 30%)
- Vento de 30 s
 - Balanço de condutor

- Discussões balizadas pelos possíveis impactos
 - Dimensionamento da cabeça da torre
 - Distâncias de segurança horizontais
 - Largura da faixa de passagem
- Os ângulos calculados pela NBR 5422:1985 relativamente pequenos
 - Em muitos projetos são majorados de acordo com o projetista
- Três metodologias foram consideradas: NBR 5422:1985, Hornisgrinde e Cigre
- Diferenças pelo tempo de integração da velocidade do vento e do “fator de efetividade do vento”
 - NBR 5422:1985 @ 60 Hz → ângulos bem menores que as outras metodologias (chegam a 50%).
 - Hornisgrinde (60 Hz e frente lenta) → diferenças entre 5 e 10% em relação a WG Cigre.
- O consenso foi **manter o modelo NBR 5422:1985**





Fonte: Frith e Watts, "Dynamic Behaviour of Transmission Line Conductors under the Influence of Wind," The Engineering Conference, Adelaide, Australia, 1980.



Fonte: CIGRE WG B2.06. Tower top geometry and mid span clearances, Technical Brochure N° 348, 2008.

Foi eliminada a tabela de valores limites para a carga de tração de maior duração e introduzidos os limites de H/w para condutores singelos sem proteção contra vibrações eólicas.

Não são definidos valores limites do parâmetro da catenária para cabos com amortecedores nem para condutores em feixe.

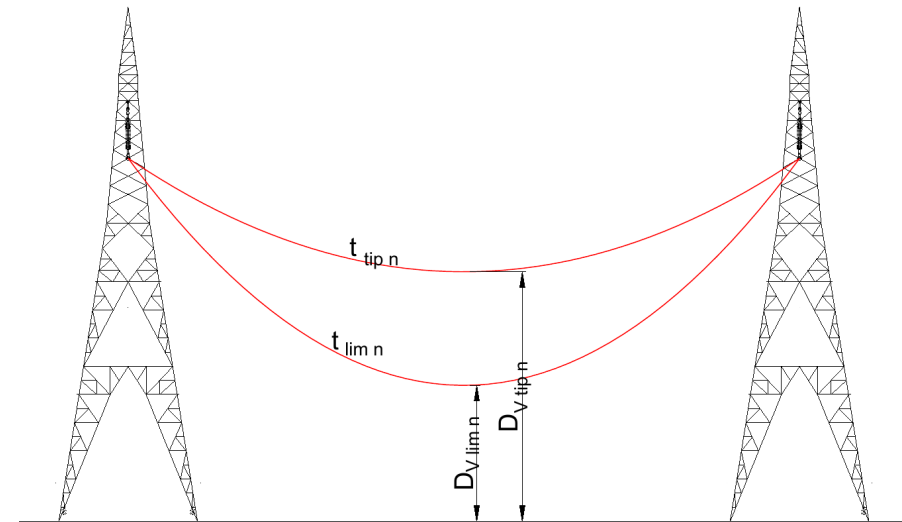


Isolamento

- Determina a quantidade de isoladores, distâncias mínimas entre cabos condutores e partes aterradas
- Deve atender as normas ABNT NBR 6939 e ABNT NBR 8186 (Coordenação de isolamento)
→ baseadas na IEC 60071
- Consolida um grupo de referências praticadas no setor
- Linhas CC não são normatizadas neste aspecto
- Fator de espaçamento (*gap*)
 - Relação da suportabilidade em função da geometria e da forma de onda
 - Idealmente deve ser obtido a partir de ensaios de laboratório
 - Baseado na NBR 8186/ IEC 60071/ Cigre TB 72

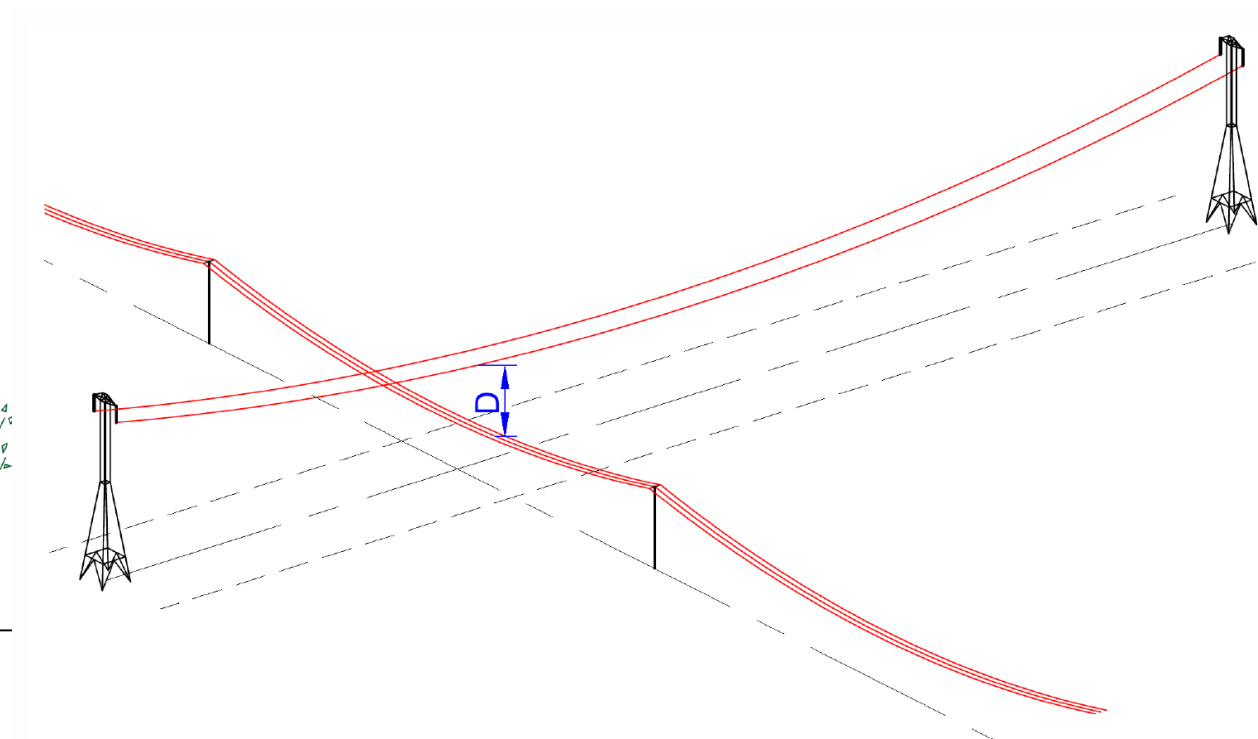
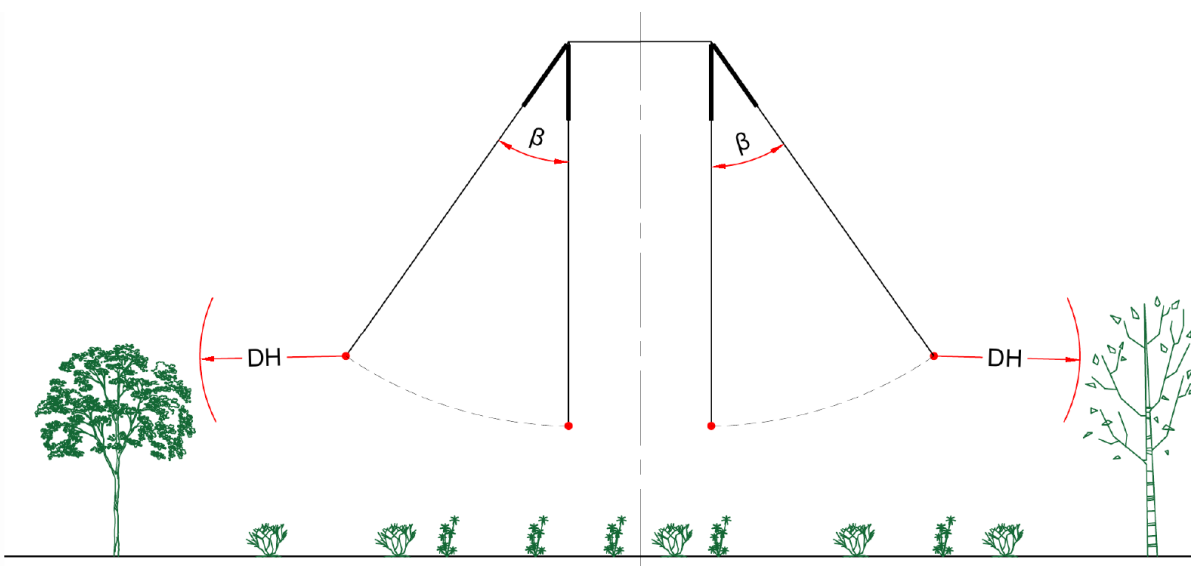
Distâncias de segurança

- Composta de três parcelas:
 - Parcela básica vertical ou horizontal;
 - Parcela de segurança, definida para a condição típica e limite de operação, regime permanente e de emergência;
 - Parcela elétrica: espaçamento relativo a suportabilidade a sobretensão de frente lenta.
- Tipo de obstáculo
 - Altura provável
 - Permanente ou ocasional
→ probabilidade de estar presente
 - Fator de espaçamento
- Considerando o critério de sazonalidade, composição de 16 distâncias



Regime	Condição	Risco térmico	Risco de falha	Temperatura cabo condutor	Distância vertical de segurança
Nominal	Típica	15%	10^{-6}		
	Limite	1%	10^{-4}		
Sobrecorrente	Típica	5%	10^{-4}		
	Limite	1%	10^{-4}		

Distâncias de segurança



Distâncias de segurança NBR 5422:1985, método convencional

10.3.1 Método convencional

As distâncias de segurança são calculadas pelas equações básicas:

$$D = a + 0,01 \left(\frac{DU}{\sqrt{3}} - 50 \right), \text{ se } U > 87 \text{ kV}$$

ou

$$D = a, \text{ se } U \leq 87 \text{ kV}$$

Natureza da região ou obstáculo atravessado pela linha ou que dela se aproxime	Distância básica "a" m
Locais acessíveis somente a pedestres	6,0
Locais onde circulam máquinas agrícolas	6,5
Rodovias, ruas e avenidas	8,0
Ferrovias não eletrificadas	9,0
Ferrovias eletrificadas ou com previsão de eletrificação	12,0
Suporte de linha pertencente à ferrovia	4,0
Águas navegáveis	$H + 2,0$
Águas não navegáveis	6,0
Linhas de energia elétrica	1,2
Linhas de telecomunicações	1,8
Telhados e terraços	4,0
Paredes	3,0
Instalações transportadoras	3,0
Veículos rodoviários e ferroviários	3,0

Distâncias de segurança NBR 5422:1985, método alternativo

$$D = a_1 + \left[\frac{\left(\frac{\sqrt{2 \times D_U}}{\sqrt{3}} \times P_U + V_L \right) \times a_2}{500 \times k} \right]^{1,667} \times b \times c$$

Natureza da região ou obstáculo atravessado pela linha ou que dela se aproxime	Distância básica a_1 m	Coefficiente de segurança c	Fator de forma k
Locais acessíveis somente a pedestres	2,8	1,2	1,15
Locais onde circulam máquinas agrícolas	4,3	1,2	1,15
Rodovias, ruas e avenidas	4,3	1,2	1,15
Ferrovias não eletrificadas	6,7	1,2	1,15
Águas navegáveis	$H + 0,8$	1,2	1,15
Águas não navegáveis	4,3	1,2	1,15
Telhados e terraços	2,8	1,2	1,15
Paredes	1,5	1,0	1,15
Linhas de energia elétrica	0,0	1,2	1,40
Linhas de telecomunicações	0,6	1,2	1,40

Distâncias de segurança NBR 5422:2024

$$D_{Vtip,n} = P_{bV} + P_{stip} + P_{etip,n}$$

$$D_{Vtip,n} = D_{Vlim,n} + 0,90$$

$$d_{ft,fl} = 2,174 \left[\exp \left(\frac{K_{cs} \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} U_S F_{sfl}}{1080 k_{afl} k_{zfl} k_g} \right) - 1 \right]$$

Natureza da região ou obstáculo atravessado	k_g	Altura do obstáculo m	P_{bV} m
Locais acessíveis apenas a pedestres	1,47	3,90	4,20
Locais onde circulam máquinas agrícolas	1,18	4,00	4,40
Rodovias, ruas e avenidas	1,18	5,40	5,90
Ferrovias não eletrificadas	1,18	6,40	6,90
Ferrovias eletrificadas ou com previsão de eletrificação	1,40	9,70	10,20
Suporte de linha pertencente à ferrovia	1,18	Altura existente no terreno	1,90
Águas navegáveis	1,47	Altura máxima prevista	4,20
Águas não navegáveis	1,47	3,60	4,20
Linhas de energia elétrica com cabo para-raios	1,45	Altura existente no terreno	0,80
Linhas de telecomunicações	1,45	Altura existente no terreno	0,80
Vegetação de preservação permanente	1,18	Altura máxima prevista	2,10
Cultura agrícola permanente	1,18	Altura máxima prevista	2,10
Instalações transportadoras (por exemplo, teleféricos)	1,18	Altura máxima prevista	1,00

Critérios de campo eletromagnético, efeito corona e interferências

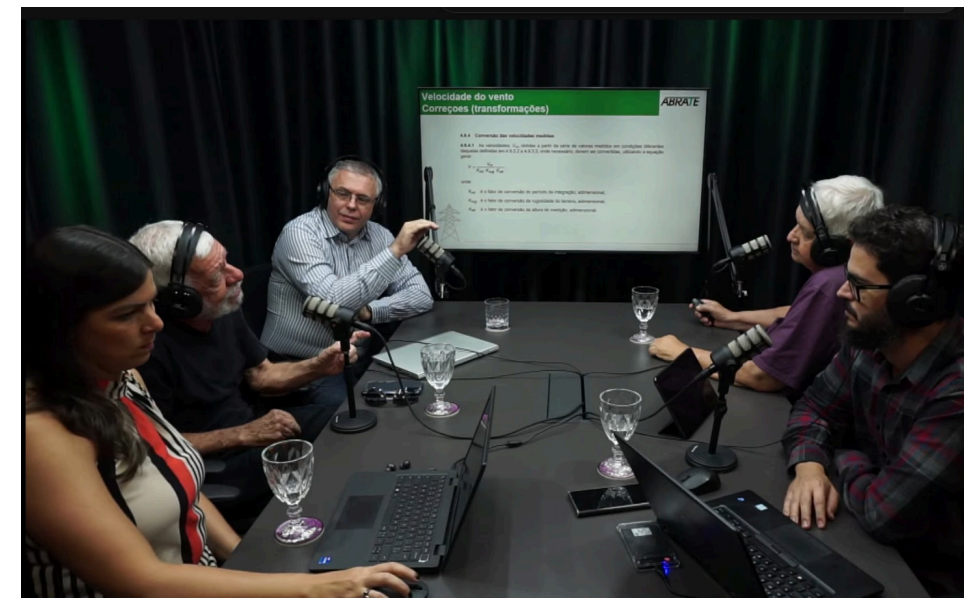
- Orientação quando as respectivas leis em vigor e especificidades na sua aplicação.
- Valores de Campos Elétrico e Magnético
 - Aponta para a Lei 11934/2009
 - Resoluções ANEEL – atualmente RN 915/2021
- Correntes de contato devido à induções
 - ICNIRP
- Efeito Corona e Interferências
 - ANATEL
 - CONAMA
 - Normas ABNT específicas

Faixa de passagem e meio ambiente

- Limpeza de Faixa,
 - Condições específicas das regiões atravessadas pela LT
 - Manejo da vegetação → risco de queimada
- Critérios Ambientais
 - Garantir a redução de impacto ambiental tendo em conta as fases de planejamento, implantação, operação e manutenção da LT,
 - Avaliação do desempenho ambiental → redução de impactos ambientais, segurança de pessoas e instalações na faixa de passagem e no seu entorno.
- Uso e Ocupação de Faixa de Passagem
 - Afastar riscos a terceiros, riscos de desligamento ou de dano à LT,
 - Critérios de utilização segundo conceito de zoneamento.

Expectativas futuras

- Divulgação, adoção, revisão...
- 1ª emenda em processo de consulta pública
- Necessidade de pesquisa aplicada para aprimoramentos
 - Não há equivalente no exterior
 - As empresas devem enxergar a demanda e disponibilizar profissionais
 - Ações institucionais (ABRATE, ANEEL)



Referências

- GLT-16, 2003.
7. A. A. Menezes Jr., A. L. Tan e D. Fernandes, "Velocidade de vento de elevada intensidade ocorridas em Florianópolis e Passo Fundo – Um enfoque estatístico e meteorológico para projetos de LTs," XVII SNPTEE, GLT-14, 2003.
8. R. M. Azevedo, J. I. Silva Filho, V. H. G. Andrade e C. E. O. Coutinho. "Fatores de correção atmosféricos aplicados ao dimensionamento de Isolamentos em ar – nova metodologia de cálculo," XVII SNPTEE, GLT-13, 2003.
9. C. P. R. Gabaglia, C. M. F. de Oliveira, J. I. Silva Filho, F. S. Moreira e A. P. Ruffier. "Ampacidade estatística - medições em laboratório e de campo," XVIII SNPTEE, GLT-06, Curitiba, 2005.
10. A. O. Silva et al, "Coeficientes de arrasto aerodinâmico em estruturas treliçadas de linhas de transmissão," XVIII SNPTEE, GLT-17, Curitiba, 2005.
11. J. I. Silva Filho, A. A. Menezes Jr., A. P. Ruffier, L. F. Estrella Jr. e J. L. G. Dias, "Esforços devidos ao vento sobre componentes de LTs e fatores de correção normativos compatíveis com a realidade brasileira," XVIII SNPTEE, GLT-19, Curitiba, 2005.
12. J. I. Silva Filho, L. A. M. C. Domingues, A. P. Ruffier e A. A. Menezes Jr. "Assessment of environmental statistics as an accessible breakthrough to improve OHTLs design," Cigre Session, B2-201, Paris, 2006.
13. A. Consentino, C. Kosmann, S. Colle e R. N. Fontoura Filho, "Carregamentos de LTs na região serrana de Santa Catarina - Comparação de resultados obtidos com a norma NBR 5422 atual e proposta," XII ERIAC, Foz do Iguaçu, 2007.

Obrigado

Carlos Kleber da Costa Arruda, D.Sc.

Pesquisador

carloska@cepel.br



REALIZAÇÃO:



Como participar?

- Reuniões da comissão de estudo (CE)
 - Representação por empresa ou individual (consultor)
 - CE ativos: <https://abnt.org.br/normalizacao/comites-tecnicos/>
 - Comitê CB-003, comissão CE 003:011.001
 - Cadastro: <https://www.abntonline.com.br/normalizacao/>
 - Termo de confidencialidade
- Consulta nacional
 - Etapa anterior a publicação da norma (ou emendas)
 - <https://www.abntonline.com.br/consultanacional/>
 - Possibilidade de se cadastrar por comitê
 - Opções: aprovação sem restrições, aprovação com objeções de forma, reprovação com objeções técnicas
 - Todos que votam são convidados a reunião de apreciação da votação