

Sumário

1. Objetivo.....	2
2. Âmbito de aplicação.....	2
3. Introdução.....	2
4. Condições gerais	3
5. Situação atual	3
6. Proposta	4
7. Cabos padronizados na CPFL.....	5
8. Capacidade padrão para os cabos	6
9. Metodologia de cálculo	9
9.1. Valores adotados para exemplo numérico	9
9.2. Resistência a corrente contínua à temperatura de operação.....	9
9.3. Consideração do efeito pelicular	10
9.4. Cálculo da temperatura do filme.....	10
9.5. Cálculo de viscosidade.....	10
9.6. Cálculo de condutividade térmica do ar	10
9.7. Densidade do ar para temperatura do filme	11
9.8. Calor cedido por irradiação – q_r	11
9.9. Calor cedido por convecção – q_c	11
9.10. Calor absorvido por radiação solar	12
9.11. Cálculo de capacidade de condução de corrente	12
10. Análise de sensibilidade	13
10.1. Análise de sensibilidade de temperatura ambiente	13
10.2. Análise de sensibilidade da velocidade do vento.....	14
10.3. Análise da sensibilidade da Q_s – calor solar recebido.....	15
10.4. Análise da sensibilidade de emissividade térmica	15
10.5. Análise da sensibilidade de coeficiente de absorção.....	16
11. Conclusões	16
12. Recomendações	17
13. Grupo de Trabalho.....	17
14. Anexos	18
14.1. Anexo A – Tabela com capacidade padrão CPFL.....	18
14.2. Anexo B – Quadro completo das capacidades de condução	19
14.3. Anexo C – Determinação dos cabos nus.....	25

1. Objetivo

Estabelecer os critérios para carregamento das linhas de transmissão da CPFL em função das novas condições de contorno e definir os valores de capacidades para os cabos de linhas de transmissão da CPFL.

2. Âmbito de aplicação

Engenharia de planejamento, engenharia de empreendimentos, engenharia de manutenção e operação da CPFL Paulista e CPFL Piratininga.

3. Introdução

Como consequência da mudança do cenário energético nacional houve uma evolução das condições de contorno que envolve os critérios de utilização dos ativos, adequando-os ora por maior carregamento ou por menor custo durante a sua vida operacional. No caso das linhas de transmissão da CPFL, optou-se pela otimização em duas etapas: a primeira, com uso de critério de carregamento permitido pelas normas vigentes, observando as condições de contorno e de segurança operacional; e a segunda etapa, com estudos mais detalhados, observando-se aspectos técnicos e econômicos.

A capacidade de transferência de energia de uma linha de transmissão é determinada pela condição do sistema composto pelos cabos, pela torre, pela proteção, etc. Porém, para efeito de implantação, o estudo irá se ater apenas aos aspectos do cabo; as outras condições deverão ser adequadas à mudança principal. No caso da CPFL a capacidade da linha de transmissão foi definida em função da temperatura do conjunto a 50°C, 60°C (em operação normal) e 75°C (em emergência). E em função dessas temperaturas foram projetadas as torres, altura mínima, proteção, equipamentos auxiliares, etc.

Portanto, nesse trabalho, propõe-se a adoção de critério de carregamento maior para as linhas de transmissão existentes, otimizando-as. Pelas recomendações do trabalho da ABRADÉE, um cabo poderia trabalhar com temperatura de operação 75°C durante toda sua vida útil (40 anos) e poderia eventualmente operar em 95°C durante 10.000 horas em emergência. Tendo em vista que a norma NBR 5422 – PROJETO DE LINHAS AÉREAS DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (revisão 2003), no capítulo 13 – AMPACIDADE, item 1.4 cita textualmente, "A temperatura limite de operação não deve exceder 100°C, para ACSR considerando os riscos térmicos, conforme 1.5", e no artigo de referência "Current – Carrying Capacity of ACSR" do H. E. House e P. D. Tuttle, do Transaction AIEE – February 1959 cita que "a temperatura do cabo normalmente recomendada é de 100°C e que assumiu a temperatura de 75°C, e porque é um valor intermediário entre a temperatura usual de 50°C e a máxima 100°C".

A proposta da DEEP é adotar os novos critérios de condições de contorno, principalmente a temperatura de operação e de emergência, e a velocidade de vento etc, e a sua aplicação da CPFL. A implantação deverá ser em duas etapas: A primeira: refazer a análise para as linhas de transmissão que estão no plano de expansão e adequar o sistema elétrico complementar; e segunda etapa: aplicar o critério técnico e econômico na linha para adequar às normas e regulação do setor elétrico brasileiro.

4. Condições gerais

O carregamento da linha de transmissão é estimado em função de vários fatores, tais como: Temperatura ambiente, temperatura do condutor, velocidade do vento, incidência do Sol, coeficiente de emissividade do cabo, altitude da instalação etc.

Portanto, em função das condições de contorno e das condições de operação, a capacidade de condução de cabo é estimada. Essa metodologia baseia-se em equações de equilíbrio térmico do cabo. E os modelos desenvolvidos demonstram que os fatores como temperatura e velocidade de vento são fundamentais para a estimativa.

Quando se define a capacidade de condução de corrente de um cabo é fundamental que sejam expressas as condições adotadas para o seu cálculo.

As condições estabelecidas para estudo de sensibilidade são:

- Velocidade do vento: 2 a 110 km/hora;
- Temperatura ambiente: 15 a 45° C;
- Temperatura do Cabo: 50, 60, 75, 95, 100 e 120°C;

Notar que a norma utiliza as seguintes condições:

- Velocidade do vento: 2,2 km/hora;
- Temperatura ambiente: 25° C;
- Temperatura do Cabo: 75° C.

5. Situação atual

Atualmente existem dois critérios na DEEP. Na Paulista, a OTD "Linhas de Transmissão Carregamento Máximo Admissível" e na Piratininga uma tabela prática de carregamento com valores de catálogo dos fabricantes.

Cabo CAA 336,4 MCM Linnet	Paulista A	Piratininga A
Temperatura do cabo 50°C	382	-
Temperatura do cabo 60°C	455	-
Temperatura do cabo 75°C	455	530

Tabela 1: Exemplo Numérico para Cabo CAA 336,4 MCM utilizados na CPFL. As temperaturas 50 e 60°C são as do projeto das linhas e 75°C para as situações de emergência. Notar que para CPFL Piratininga, a temperatura normal de operação é de 75°C, mesmo que algumas linhas sejam projetadas para temperaturas menores.

Diante desses critérios temos a comentar:

- A medida de segurança adotada pela CPFL conduz a uma prática de dimensionamento conservadora, acima dos valores previstos pelas normas e por pesquisas já publicadas;
- Os cabos são dimensionados pela sobreposição de condições adversas;
- A NBR 5422 recomenda o uso de mapa de Isótacas da região da CPFL de velocidade de vento de 10 metros por segundo, porém na falta de informações mais precisa recomenda-se o uso de vento de 1 metro por segundo (a velocidade de vento igual a 3,6 km/h). Deve-se observar que a recomendação do fabricante de 538 A é estimada para velocidade de vento 2,19 km/hora. O item análise de sensibilidade voltará ao assunto com maior detalhe;
- As linhas de transmissão projetadas para operar nas condições da Piratininga não apresentam problemas de sobrecarga;
- O Relatório CODI SCEI.23.02 cita as recomendações dos fabricantes para cabos de cobre, alumínio e alumínio com alma de aço, para a operação em regime contínuo de 75°C. Cita também que a temperatura de 75°C no condutor é conservativa para cabos com alma de aço;
- Para operação em emergência, constatou-se que se o cabo operar a 95°C, durante 10.000 horas cumulativamente, a sua tensão de ruptura diminui de 10%;
- Há linhas de transmissão projetadas para trabalhar com os cabos a temperaturas menores que 75°C (projeto de flecha e distancia de clearance).

6. Proposta

Redefinir os critérios de carregamento das linhas de transmissão da CPFL para as novas condições de contorno bem como otimizar a sua utilização, observando as regras de segurança operacional. As novas condições de contorno para estimar a capacidade de corrente das linhas de transmissão são:

1. Temperatura ambiente = 25°C;
2. Temperatura do cabo = 75°C, operação normal;
3. Temperatura do cabo em Emergência = 95°C;
4. Temperatura no Infinito = - 50°C;
5. Valores dos cabos – NBR 7270 e 5349;

6. Fator de Emissividade Térmica = 0,50;
7. Fator de Absorção Solar = 0,50;
8. Coeficiente Térmico do ACSR - $\alpha = 222,8 / ^\circ\text{C}$ (cobre = $241,5 / ^\circ\text{C}$);
9. Calor da Radiação Solar = 1038 w/m^2 ;
10. Fator de Multiplicação da Radiação Solar $f_{(\text{altitude } 800 \text{ m})} = 1,08$;
11. Velocidade do vento = $3,6 \text{ km/h}$ (1 m/s).

Com os dados dos itens acima são calculados os valores das correntes para cada cabo. Informa-se que, ainda, a metodologia de cálculo considera o fenômeno Skin Effect para correção da resistência; porém, como a sua influência é limitada, adotamos o uso da tabela V da pagina 53, Chapter 3 Characteristics of Aerial Lines do livro Transmission and Distribution Reference Book da Westinghouse.

A mudança de qualquer uma das condições estabelecidas altera o resultado final, portanto é necessário frisar que a capacidade de um cabo depende das condições e devem ser citadas junto com os valores das correntes.

7. Cabos padronizados na CPFL

A seguir são apresentadas as tabelas dos cabos padronizadas pela CPFL, mais algumas bitolas nos extremos e valores intermediários, para facilidade de interpolação e de extrapolação de cabos que venham a serem utilizados.

Tabela NBR 7270 – Cabos de Alumínio com Alma de Aço					
Bitola CM - AWG	Denominação padrão	Seção mm^2	Φ Externo mm	$R_{cc} 20 ^\circ\text{C}$ Ω/km	RMG metros
1590000	Lapwing	806,23	39,26	0,03586	0,004358
1272000	Bittern	644,40	34,17	0,04496	0,003883
954000	Rail	483,84	29,61	0,05988	0,003456
795000	Drake	402,56	28,11	0,07170	0,003050
636000	Grosbeak	321,84	25,15	0,08969	0,002728
556500	Dove	282,59	23,55	0,10215	0,002418
477000	Hawk	241,65	21,80	0,11945	0,002121
336400	Linnet	170,50	18,83	0,16949	0,001983
266800	Partridge	134,87	16,28	0,21402	0,001767
4/0	Penguin	107,22	14,31	0,26761	0,001710
3/0	Pigeon	85,12	12,75	0,33711	0,001548
2/0	Quail	67,33	11,4	0,42615	0,001378
1/0	Raven	53,52	10,11	0,53615	0,001227

Tabela NBR 7270 – Cabos de Alumínio com Alma de Aço

Bitola CM - AWG	Denominação padrão	Seção mm ²	Φ Externo mm	R _{cc} 20 °C Ω/km	RMG metros
2	Sparrow	33,59	8,01	0,85413	0,000922
4	Swan	21,18	6,36	1,35479	0,000731
6	Turkey	13,30	5,04	2,15737	0,000517

Tabela 2: Cabos de Alumínio com Alma de Aço, padronizados pela CPFL, da NBR 7270.

Tem-se ainda o uso restrito do cabo 336 Oriole diferente na formação de camada e passo de torção do cabo Linnet, portanto não fez parte da tabela.

Na CPFL Piratininga, há variações maiores de bitolas e principalmente maiores.

Na CPFL Paulista há várias linhas de transmissão de 69 kV de cobre; portanto, para contemplar essas linhas foi elaborada a tabela abaixo, ainda de acordo com a NBR 5439.

Tabela NBR 5439 – Cabos de Cobre

Bitola AWG - mm ²	Seção mm ²	Fios qtd	Φ Fio mm	Φ Externo mm	R _{cc} 20 °C Ω/km	RMG metros
4/0	107,28	19	2,680	13,411	0,1745	0,005084
3/0	85,07	12	3,005	12,497	0,2198	0,004752
2/0	67,48	7	3,503	10,516	0,2768	0,003816
1/0	53,49	7	3,119	9,347	0,3489	0,003392
2	33,65	7	2,474	7,417	0,5535	0,002691
4	21,16	3	2,997	6,452	0,8785	0,002185
6	13,31	3	2,375	5,105	1,3941	0,001731
8	8,37	1	3,264	3,264	2,2123	0,001271

Cabos de Cobre Padrão Paulista : Valores Elétricos Estimados

16 mm ²	16,00	3	2,607	5,604	1,1600	0,001900
35 mm ²	35,00	7	2,530	7,572	0,5290	0,002748
120 mm ²	120,00	19	2,837	14,200	1,1540	0,005385

Tabela 3: Cabos de Cobre Padrão CPFL. As bitolas metrificadas são do padrão atual da CPFL Paulista

8. Capacidade padrão para os cabos

Denominamos como padrão as condições de contorno adotados no item 6. Portanto as capacidades de condução de corrente estimadas também serão denominadas de padrão e são apresentadas na tabela a seguir.

Cabos CAA – Capacidade de Condução de Corrente

Bitola MCM - AWG	Denominação padrão	Dia		Noite	
		normal A	emergência A	normal A	emergência A
1590	Lapwing	1600	1890	1726	1992
1272	Bittern	1382	1629	1486	1713
954	Rail	1155	1359	1237	1425
795	Drake	1042	1225	1116	1285
636	Grosbeak	903	1060	964	1110
556	Dove	830	974	885	1018
477	Hawk	750	879	798	918
336	Linnet	601	704	637	733
266	Partridge	523	611	552	635
4/0	Penguin	452	527	475	546
3/0	Pigeon	390	455	409	470
2/0	Quail	336	391	352	404
1/0	Raven	290	338	303	349
2	Sparrow	216	251	225	258
4	Swan	161	187	167	192
6	Turkey	120	139	124	142

Informações adicionais foram obtidas das tabelas de cabos do livro Reference Book da Westinghouse

Tabela 4: Capacidade de condução de corrente dos cabos CAA, para operação normal e em emergência, período dia e noite (com e sem Sol).

Exemplo numérico de capacidade de potência em tensões 138 e 88 kV.

Cabos CAA – Capacidade de Potência e Condução de Corrente

Bitola MCM - AWG	Denominação padrão	Linhas de 138 kV				Linhas de 88 kV			
		Dia		Noite		Dia		Noite	
		normal MVA	emerg MVA	normal MVA	emerg MVA	normal MVA	emerg MVA	normal MVA	emerg MVA
1590	Lapwing	382	452	413	476	244	288	263	304
1272	Bittern	330	389	355	409	211	248	227	261
954	Rail	276	325	296	341	176	207	189	217
795	Drake	249	293	267	307	159	187	170	196

Cabos CAA – Capacidade de Potência e Condução de Corrente

Bitola MCM - AWG	Denominação padrão	Linhas de 138 kV				Linhas de 88 kV			
		Dia		Noite		Dia		Noite	
		normal MVA	emerg MVA	normal MVA	emerg MVA	normal MVA	emerg MVA	normal MVA	emerg MVA
636	Grosbeak	216	253	230	265	138	162	147	169
556	Dove	198	233	212	243	127	148	135	155
477	Hawk	179	210	191	219	114	134	122	140
336	Linnet	144	168	152	175	92	107	97	112
266	Partridge	125	146	132	152	80	93	84	97
4/0	Penguin	108	126	114	131	69	80	72	83
3/0	Pigeon	93	109	98	112	59	69	62	72
2/0	Quail	80	93	84	97	51	60	54	62
1/0	Raven	69	81	72	83	44	52	46	53
2	Sparrow	52	60	54	62	33	38	34	39
4	Swan	38	45	40	46	25	29	25	29
6	Turkey	29	33	30	34	18	21	19	22

Tabela 5: Capacidade de potência transmitida do cabo CAA, em função da tensão, normal e emergência, dia e noite.

Tabela de Cabos de Cobre Nu - Padronizar								Capacidade de Condução de Corrente			
# AWG	Seção mm ²	R _{CC} 20 Ω/km	RMG metros	R _{CA}				Dia		Noite	
				50 °C Ω/km	60 °C Ω/km	75 °C Ω/km	95 °C Ω/km	normal A	emerg A	normal A	emerg A
4/0	107,28	0,0392	0,005084	0,1950	0,2019	0,2122	0,2259	553	646	581	669
3/0	85,07	0,0448	0,004752	0,2457	0,2544	0,2673	0,2846	483	565	507	584
2/0	67,48	0,0523	0,003816	0,3095	0,3204	0,3367	0,3584	411	480	430	495
1/0	53,49	0,0606	0,003392	0,3901	0,4038	0,4243	0,4518	355	413	370	426
2	33,65	0,0816	0,002691	0,6188	0,6406	0,6732	0,7167	265	308	275	316
4	21,16	0,1042	0,002185	0,9823	1,0170	1,0691	1,1385	202	235	210	241
6	13,31	0,1441	0,001731	1,5622	1,6174	1,7002	1,8106	151	175	156	179
8	8,37	0,2078	0,001271	2,4841	2,5718	2,7033	2,8788	107	123	109	126
Cabos Metrificados e Padrões Paulista – Bitola mm ²											
16	16,00	1,1600	0,001900	1,2988	1,3446	1,4135	1,5053	170	197	175	202
35	35,00	0,5290	0,002748	0,5914	0,6122	0,6433	0,6849	272	317	283	326
120	120,00	0,1540	0,005385	0,1722	0,1782	0,1873	0,1994	598	699	629	725

Tabela 6: Capacidade de condução de corrente nas condições preestabelecidas, para cabos de cobre.

9. Metodologia de cálculo

A metodologia de cálculo adotado neste trabalho é da recomendação do CODI com as tabelas de cabos das normas brasileiras. O processo como um todo foi escrito num aplicativo da CPFL, denominado MathCad. E é auto-explicativo (exemplo numérico para cabo 336 MCM Linnet).

9.1. Valores adotados para exemplo numérico

Exemplo Numérico: Cabo 336 MCM CAA

Dados e Informações Iniciais:

Diâmetro do Cabo	$D := 18.83 \text{ mm}$
Resistência Elétrica (20°C)	$R_{20} := 0.1695 \text{ } \Omega/\text{km a } 20^\circ\text{C}$
Temperatura Ambiente	$T_a := 25 \text{ }^\circ\text{C}$
Temperatura Cabo $t := 1..2$	$T_{c1} := 75 \text{ }^\circ\text{C} \quad T_{c2} := 95 \text{ }^\circ\text{C}$
Temperatura no Infinito	$T_i := -50 \text{ }^\circ\text{C}$
Velocidade do Vento	$V := 3.6 \text{ km/hora}$
Numero de Condutores	$N := 1$
Emissividade Térmica (adotado)	$E := 0.50$
Coef Absorção Solar (adotado)	$a := 0.50$
Cte Térmica do Material Condutor	$\alpha := 222.8$

9.2. Resistência a corrente contínua à temperatura de operação

Resistência do Cabo à Temperatura de Operação

$$R_{cc1} := R_{20} \cdot \frac{(\alpha + T_{c1})}{(\alpha + 20)} \quad \mu := 1 \quad f := 60$$

$$R_{cc \text{ 75}^\circ\text{C}} \quad R_{cc1} = 0.2079 \quad R_{cc \text{ 95}^\circ\text{C}} \quad R_{cc2} = 0.2219$$

9.3. Consideração do efeito pelicular

A equação foi escrita a partir da tabela V da Reference Book

9.3.1. Cálculo do fator X_t

$$X_t := 0.063598 \cdot \sqrt{\mu \cdot \frac{f}{Rcc_t \cdot 1.609}}$$

9.3.2. Cálculo do fator de efeito pelicular

$$K_t := \left[0.0059 \cdot (X_t)^3 + 0.0325 \cdot (X_t)^2 - 0.0512 \cdot X_t + 1.0116 \right]$$

$$K_1 = 0.9952$$

$$K_2 = 0.9948$$

Efeito Pelicular Desprezível

$$Rca_t := \text{if}(K_t < 1, Rcc_t, Rcc_t \cdot K_t) \quad \Omega/\text{kM}$$

$$Rca_1 = 0.2079$$

$$\Omega/\text{kM}$$

$$Rca_2 = 0.2219$$

$$\Omega/\text{kM}$$

9.4. Cálculo da temperatura do filme

Temperatura do Filme

$$Tf_t := \frac{(Ta + Tc_t)}{2} \quad ^\circ\text{C}$$

temperatura do filme em °Kelvin

$$Tk_t := Tf_t + 273.15 \quad ^\circ\text{K}$$

9.5. Cálculo de viscosidade

$$\mu f_t := 0.00525087 \cdot \frac{(Tk_t)^{\frac{3}{2}}}{(Tk_t + 110.4)} \quad (\text{kg/h.m})$$

9.6. Cálculo de condutividade térmica do ar

$$kf_t := 264638 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{\sqrt{Tk_t}}{1 + \frac{245.4}{Tk_t \cdot 10^{\frac{12}{Tk_t}}}} \quad \text{W}/^\circ\text{C.m}$$

9.7. Densidade do ar para temperatura do filme

Da tabela do Codi SCEI 23.02

- 1) Temperatura Ambiente - projeção para 800 metros;
- 2) Média dos valores de Nível do Mar e 15 metros.

$$\zeta_0 := 1.1854 \quad \zeta_{1500} := 0.9868 \quad \text{portanto}$$

$$\zeta_f := \frac{(\zeta_0 + \zeta_{1500})}{2} \quad \zeta_f = 1.0861 \quad \text{kg/m}^3$$

9.8. Calor cedido por irradiação – q_r

Cte de Stefan-Boltzmann - dividido por 10⁵ $\gamma := 5.6697 \cdot 10^{-3}$

$$q_{r_t} := \gamma \cdot N \cdot \pi \cdot D \cdot E \cdot \frac{1}{2} \cdot \left[2 \cdot \left(\frac{T_{c_t} + 273.15}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_a + 273.15}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_i + 273.15}{100} \right)^4 \right] \quad \text{W/m}$$

9.9. Calor cedido por convecção – q_c

Numero de Reynolds

$$Re_t := \frac{D \cdot V \cdot \zeta_f}{\mu_{f_t}}$$

NOTA: N° adimensional

Para numero de Reynolds $0.1 < Re < 1000$

$$q_{cM_t} := N \cdot \pi \cdot \left[0.32 + 0.43 \cdot \left[\left(\frac{D \cdot V \cdot \zeta_f}{\mu_{f_t}} \right)^{0.52} \right] \cdot k_{f_t} \cdot (T_{c_t} - T_a) \right]$$

Para $1000 < \text{Numero de Reynolds} < 50000$

$$q_{cM_t} := 0.24 \cdot N \cdot \pi \cdot \left(\frac{D \cdot V \cdot \zeta_f}{\mu_{f_t}} \right)^{0.6} \cdot k_{f_t} \cdot (T_{c_t} - T_a)$$

Portanto

$$q_{c_t} := \text{if}(Re_t < 1000, q_{cM_t}, q_{cM_t})$$

$$q_{c_1} = 68.5166 \quad q_{c_2} = 97.165 \quad \text{W/m}$$

9.10. Calor absorvido por radiação solar

Tabela 3 para 90° - $Q_s = 1038 \text{ watt/m}^2$

$$Q_s := 1038 \cdot 1.08$$

$$q_{s_t} := a \cdot \frac{N \cdot D}{1000} \cdot Q_s \cdot \sin(90) \quad \text{W/m}$$

Por falta de informação, foi adotado valor máximo. Um estudo mais detalhado será objeto de análise de sensibilidade. Para simular a capacidade de condução de corrente no período noturno, adotou-se o valor de Q_s = zero e foi estimado o valor de corrente.

9.11. Cálculo de capacidade de condução de corrente

Diurno:

$$I_{d_t} := \sqrt{1000 \cdot \frac{(q_{c_t} + q_{r_t} - q_{s_t})}{R_{ca_t}}}$$

Noturno:

$$I_{n_t} := \sqrt{1000 \cdot \frac{(q_{c_t} + q_{r_t})}{R_{ca_t}}}$$

Portanto, temos como resultado das simulações – quadro indicativo:

Temperatura do Cabo °C	Resistência a Temperatura de Operação Ω/km	Capacidade de Condução de Corrente	
		Dia A	Noite A
75	0,2079	601	637
95	0,2219	704	733
Padrão CPFL →		382	455

Para completar o quadro de valores, o programa apresentado foi escrito de forma matricial para temperaturas do cabo e de ambiente. Variando a temperatura ambiente de 15 a 45°C, com passo de 5 °C. A temperatura do cabo foi calculada para os valores específicos: 50°C, 60°C, 75°C, 95°C, 100°C e 120°C.

A tabela completa de todos os cabos será apresentada no anexo.

Bitola MCM - AWG	Denominação padrão	Seção mm ²	Diâmetro mm	R _{cc} 20 Ω/km	GMR 60 Hz m	R _{ca} 75 Ω/km	R _{ca} 95 Ω/km
CAA 336.4	Linnet	170,50	18,83	0,16949	0,001983	0,2074	0,2218
Temperatura Cabo	Temperatura Ambiente						
	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C	40 °C	50 °C
50 °C	501	463	422	375	321	254	162
60 °C	569	538	503	466	425	380	328
75 °C	654	628	601	572	541	507	471
95 °C	747	726	704	680	656	631	604
100 °C	768	747	726	704	681	657	644
120 °C	843	825	820	802	782	762	741

Tabela 7: Quadro completo das simulações de capacidade do Cabo CAA 336.4 MCM Linnet.

10. Análise de sensibilidade

A estimação de capacidade de condução de corrente é uma equação de equilíbrio térmico e é função de vários estados de condições de contorno, listados abaixo.

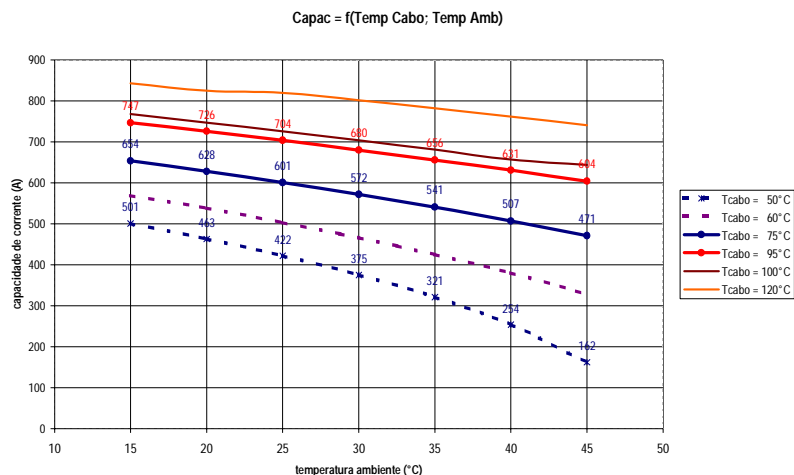
- Temperatura de Operação e ambiente;
- Velocidade do Vento;
- Calor Solar;
- Emissividade Térmica;
- Absorção Solar.

Em cada um dos itens será estimada a capacidade térmica do cabo e analisada a sensibilidade de cada um deles.

10.1. Análise de sensibilidade de temperatura ambiente

Como padrão adotou-se a temperatura ambiente 25°C (notar que a temperatura é a 10 metros do solo), porém, para contemplar os diversos ambientes, calculou-se a variação de temperatura de 15 a 45°C, para diferentes temperaturas de cabo.

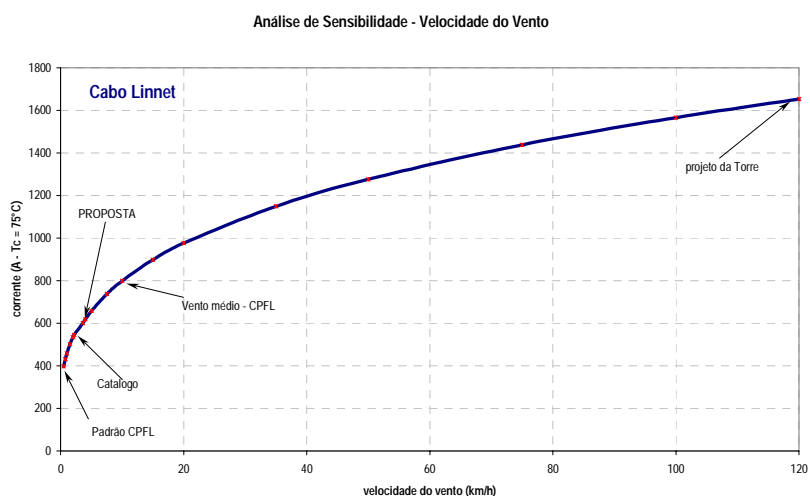
- Temperatura de Cabo 50 e 60°C – projetos da Torre;
- Temperatura de Cabo 75°C – proposta da condição normal da DEEP;
- Temperatura de Cabo 95°C – proposta de emergência da DEEP;
- Temperatura de Cabo 100°C – revisão NBR 5422/2003;
- Temperatura de Cabo 120°C – posição dos autores *Tuttle e House*.



Para se ter uma idéia mais clara destas influências deve-se refazer as análises de sensibilidade segundo a metodologia apresentada no item 8. Notar que variar a temperatura ambiente de 15 para 25°C no cabo com 75°C, provoca uma diminuição de 9% de capacidade de corrente e se deslocar de 45 a 25°C tem um fator de ganho de 22%.

10.2. Análise de sensibilidade da velocidade do vento

Neste item em particular utilizou-se o processo de otimização de duas normas, aparentemente sem ligação, a recomendação CODI/Abradee e NBR 5422. Utilizando as normas de segurança de cada um, isto é, dados de cabo do CODI e velocidade do vento da NBR 5422, têm-se um ganho de capacidade de corrente de 10% nas condições normais de operação (para cabo Linnet, para outros cabos deve-se analisar caso a caso).

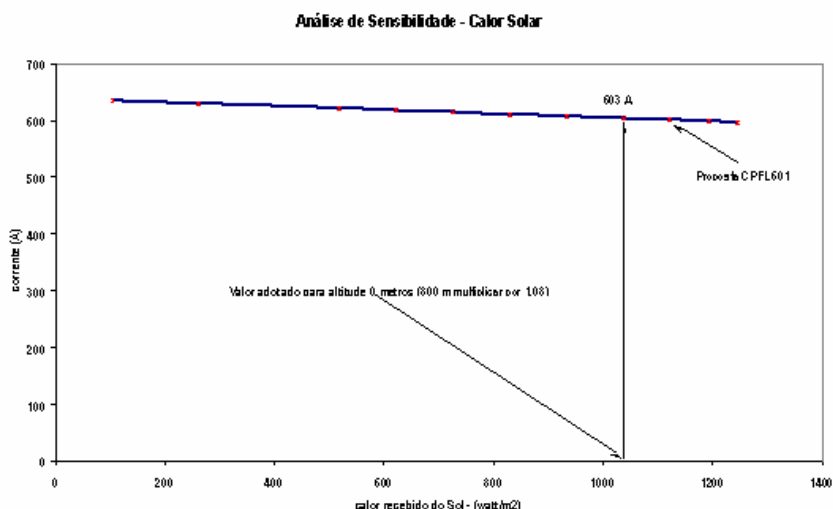


Devem ser tomadas as seguintes providências:

- "Mapeamento de Isótacas na Área da Concessão" – velocidade de vento. Na sua falta utilizar o valor estabelecido pela NBR 5422: 3,6 km/hora;
- Temperatura Ambiente Horária da área da concessão.

10.3. Análise da sensibilidade da Qs – calor solar recebido

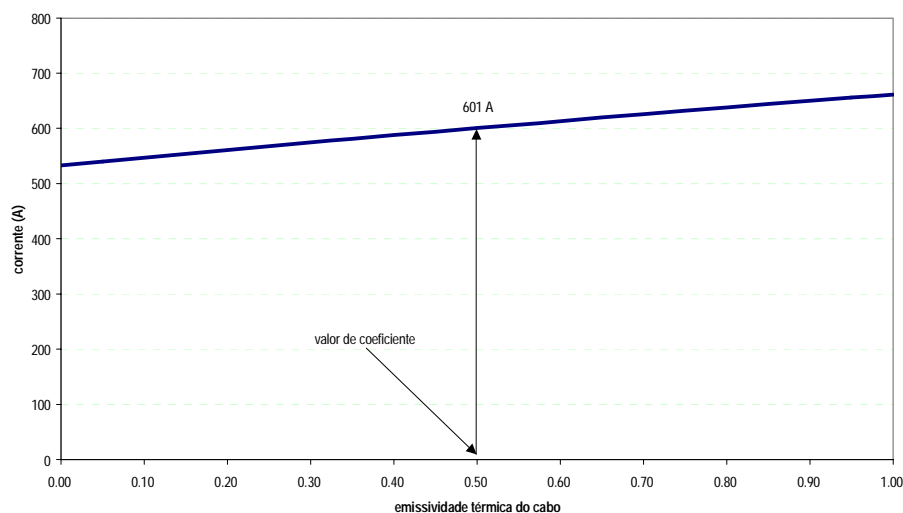
Neste item a variação máxima de calor solar recebido de zero a 1038 watts/m^2 , resulta em uma pequena variação na capacidade de corrente. Portanto é de pouca valia o processo de pesquisa em verificar o valor da capacidade correta para cada caso. Para essa primeira etapa, adotou-se o valor de calor solar máxima para a região sem interferência de poluição.



10.4. Análise da sensibilidade de emissividade térmica

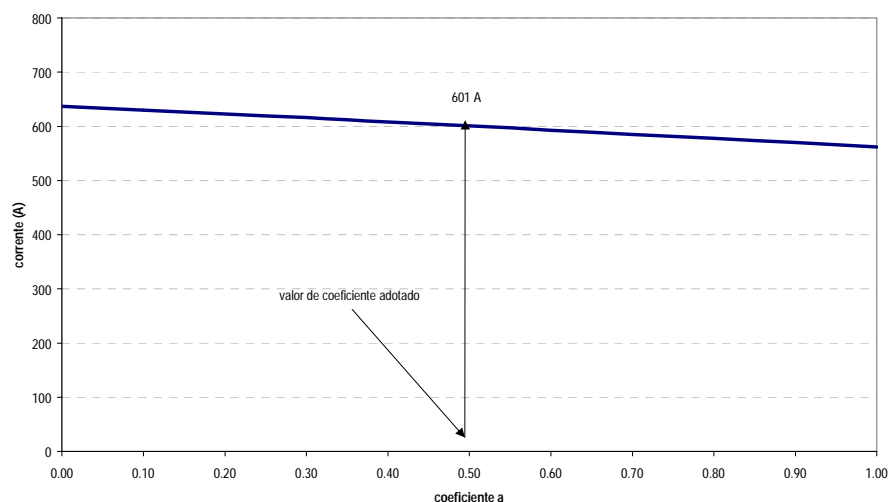
Neste e no próximo item adotou-se o valor 0.5 por se tratar de um valor variável em função do tempo e do estado de manutenção.

Análise de Sensibilidade - Emissividade Térmica



10.5. Análise da sensibilidade de coeficiente de absorção

Análise de Sensibilidade - Coeficiente de Absorção Solar



- Níveis de calor total recebido dos raios solares.

11. Conclusões

- A proposta apresenta capacidade maior para os cabos em operação;
- O artigo dos autores do trabalho e a recomendação técnica do CODI dizem que as metodologias são conservadoras;
- Não há necessidade de sobrepor os fatores de segurança;

- A capacidade máxima da linha de transmissão é dada pela capacidade do cabo, e não deve ser limitada por outros equipamentos que podem ser adequados;
- A linha de transmissão atual tem uma capacidade inerente maior do que praticada (até 50%).

12. Recomendações

- Promover a mudança do critério de carregamento da linha de transmissão, segundo os valores da proposta;
- Elaborar um plano de verificação para as linhas, objetos de planejamento do sistema elétrico para próximos 5 anos (verificar para elevar a temperatura de operação de 50°C para 60°C);
- Efetuar as obras somente nos pontos de interferência, porém como se fossem para 75°C;
- Efetuar os estudos para equipamentos auxiliares, proteção, subestação, banco de capacitores etc. Notar que estes equipamentos deveriam ser modificados independentemente da capacidade da linha, pois devem atender o aumento de demanda;
- Elaborar estudos de temperatura e velocidade de vento para as linhas para otimizar os ativos. São dois fatores preponderantes para definição da capacidade da linha.
- Estimar a nova capacidade de operação das LT's, com a temperatura de condutor a 75°C;
- Levantar os projetos de torres em operação; se a temperatura do cabo utilizada for menor que 75°C, propor alternativas de soluções.
- Atendendo as recomendações, pode-se atender o crescimento da carga nos próximos 5 anos com pequenas obras nos pontos de interferência e ter-se um prazo para estudos mais detalhados.

13. Grupo de Trabalho

Esta orientação técnica de planejamento foi elaborada por:

- | | |
|-----------------------------|------|
| - Seun Ahn | DEEP |
| - Alexandre Nogueira Aleixo | DEEP |



Tipo de Documento:	Orientação Técnica
Área de Aplicação:	Planejamento Elétrico
Título do Documento:	Limite de Carregamento de Linhas de Transmissão Aéreas da CPFL

14. Anexos

14.1. Anexo A – Tabela com capacidade padrão CPFL

Tabela com a capacidade padrão CPFL Paulista em ampères.

Cabo	Diâmetro externo cm	R _{cc} 20 Ω/km	Temperatura do Cabo					
			50 °C		60 °C		75 °C	
			normal A	emerg A	normal A	emerg A	normal A	emerg A
CAA 4/0 Penguin	1,4310	0,26756	287	405	-	-	-	-
CAA 336.4 MCM Linnet	1,8290	0,17380	382	541	455	541	455	541
CAA 477 MCM Hawk	2,1790	0,12270	477	677	568	677	568	677
CAA 795 MCM Drake	2,8140	0,07340	-	-	788	940	788	940

Notar que os valores referenciam a temperatura de projeto da linha e, portanto, a capacidade do cabo a 60 °C é idêntica à de 75 °C.

Tabela com a capacidade padrão CPFL Piratininga em ampères.

Cabo	Diâmetro externo cm	R _{cc} 20 Ω/km	Capacidade padrão
CAA 336.4 MCM Linnet	1,8290	0,17380	530
CAA 636 MCM Grosbeak	2,5150	0,09220	770
CAA 795 MCM Drake	2,8140	0,07340	900
CAA 954 MCM Rail	2,9590	0,06240	1010

14.2. Anexo B – Quadro completo das capacidades de condução

Bitola MCM - AWG	Denominação padrão	Seção mm ²	Diâmetro mm	R _{CC} 20 Ω/km	GMR 60 hz m	R _{CA} 75 Ω/km	R _{CA} 95 Ω/km
CAA 1590	Lapwing	806,23	39,26	0,03586	0,004358	0,0469	0,0497
Temperatura Cabo	Temperatura Ambiente						
	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C	40 °C	50 °C
50 °C	1314	1213	1102	977	831	652	396
60 °C	1504	1419	1329	1230	1122	1001	861
75 °C	1742	1673	1600	1523	1441	1353	1258
95 °C	2005	1948	1890	1829	1765	1698	1627
100 °C	2064	2010	1954	1895	1835	1771	1705
120 °C	2279	2232	2185	2136	2085	2032	1977

Bitola MCM - AWG	Denominação padrão	Seção mm ²	Diâmetro mm	R _{CC} 20 Ω/km	GMR 60 hz m	R _{CA} 75 Ω/km	R _{CA} 95 Ω/km
CAA 1272	Bittern	644,40	34,17	0,04496	0,003883	0,0575	0,0610
Temperatura Cabo	Temperatura Ambiente						
	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C	40 °C	50 °C
50 °C	1138	1051	955	847	722	568	349
60 °C	1301	1228	1150	1064	971	866	746
75 °C	1504	1445	1382	1315	1244	1168	1086
95 °C	1728	1679	1629	1576	1521	1463	1402
100 °C	1778	1731	1683	1633	1580	1525	1468
120 °C	1961	1921	1879	1837	1793	1747	1700

Bitola MCM - AWG	Denominação padrão	Seção mm ²	Diâmetro mm	R _{CC} 20 Ω/km	GMR 60 hz m	R _{CA} 75 Ω/km	R _{CA} 95 Ω/km
CAA 954	Rail	433,84	29,61	0,05988	0,003456	0,0751	0,0799
Temperatura Cabo	Temperatura Ambiente						
	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C	40 °C	50 °C
50 °C	955	882	802	711	607	479	297
60 °C	1089	1028	963	891	813	726	625
75 °C	1257	1207	1155	1099	1039	976	907
95 °C	1442	1401	1359	1314	1268	1220	1168
100 °C	1483	1444	1403	1361	1317	1271	1223
120 °C	1633	1599	1565	1529	1492	1454	1415

Anexo B – continuação...

Bitola MCM - AWG	Denominação padrão	Seção mm ²	Diâmetro mm	R _{CC} 20 Ω/km	GMR 60 hz m	R _{CA} 75 Ω/km	R _{CA} 95 Ω/km
CAA 795	Drake	402,56	28,11	0,07170	0,003050	0,0891	0,0949
Temperatura Cabo	Temperatura Ambiente						
	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C	40 °C	50 °C
50 °C	863	797	725	643	549	433	270
60 °C	984	929	870	805	735	656	565
75 °C	1135	1090	1042	992	939	881	819
95 °C	1301	1264	1225	1185	1144	1100	1054
100 °C	1337	1302	1266	1228	1188	1146	1103
120 °C	1472	1442	1410	1378	1345	1311	1275

Bitola MCM - AWG	Denominação padrão	Seção mm ²	Diâmetro mm	R _{CC} 20 Ω/km	GMR 60 hz m	R _{CA} 75 Ω/km	R _{CA} 95 Ω/km
CAA 636	Grosbeak	321,84	25,15	0,08969	0,002728	0,1106	0,1179
Temperatura Cabo	Temperatura Ambiente						
	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C	40 °C	50 °C
50 °C	749	692	630	559	477	377	237
60 °C	853	806	754	698	637	569	490
75 °C	983	944	903	859	813	763	709
95 °C	1126	1094	1060	1026	989	951	911
100 °C	1157	1127	1095	1062	1027	991	954
120 °C	1272	1246	1219	1191	1162	1132	1101

Bitola MCM - AWG	Denominação padrão	Seção mm ²	Diâmetro mm	R _{CC} 20 Ω/km	GMR 60 hz m	R _{CA} 75 Ω/km	R _{CA} 95 Ω/km
CAA 565	Dove	282,59	23,55	0,10215	0,002418	0,1256	0,1338
Temperatura Cabo	Temperatura Ambiente						
	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C	40 °C	50 °C
50 °C	690	637	579	515	440	348	219
60 °C	785	741	694	642	586	523	451
75 °C	904	868	830	790	747	701	651
95 °C	1034	1005	974	942	909	874	837
100 °C	1063	1035	1006	975	943	910	876
120 °C	1168	1144	1119	1093	1067	1039	1011

Anexo B – continuação...

Bitola MCM - AWG	Denominação padrão	Seção mm ²	Diâmetro mm	R _{CC} 20 Ω/km	GMR 60 hz m	R _{CA} 75 Ω/km	R _{CA} 95 Ω/km
CAA 477	Hawk	241,65	21,80	0,11945	0,002121	0,1465	0,1563
Temperatura Cabo	Temperatura Ambiente						
	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C	40 °C	50 °C
50 °C	624	577	525	466	398	315	200
60 °C	710	670	627	581	530	473	408
75 °C	817	784	750	713	675	633	588
95 °C	933	906	879	850	820	788	755
100 °C	959	933	907	880	851	821	790
120 °C	1053	1031	1009	986	962	937	911

Bitola MCM - AWG	Denominação padrão	Seção mm ²	Diâmetro mm	R _{CC} 20 Ω/km	GMR 60 hz m	R _{CA} 75 Ω/km	R _{CA} 95 Ω/km
CAA 336.4	Linnet	170,50	18,83	0,16949	0,001983	0,2074	0,2218
Temperatura Cabo	Temperatura Ambiente						
	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C	40 °C	50 °C
50 °C	501	463	422	375	321	254	162
60 °C	569	538	503	466	425	380	328
75 °C	654	628	601	572	541	507	471
95 °C	747	726	704	680	656	631	604
100 °C	768	747	726	704	681	657	644
120 °C	843	825	820	802	782	762	741

Bitola MCM - AWG	Denominação padrão	Seção mm ²	Diâmetro mm	R _{CC} 20 Ω/km	GMR 60 hz m	R _{CA} 75 Ω/km	R _{CA} 95 Ω/km
CAA 266	Partridge	134,87	16,28	0,21402	0,001767	0,2625	0,2801
Temperatura Cabo	Temperatura Ambiente						
	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C	40 °C	50 °C
50 °C	439	407	371	332	286	231	157
60 °C	497	470	440	409	374	335	291
75 °C	569	547	523	498	472	443	412
95 °C	649	630	611	591	571	549	526
100 °C	666	649	631	612	592	571	549
120 °C	731	715	700	684	667	650	632

Anexo B – continuação...

Bitola MCM - AWG	Denominação padrão	Seção mm ²	Diâmetro mm	R _{CC} 20 Ω/km	GMR 60 hz m	R _{CA} 75 Ω/km	R _{CA} 95 Ω/km
CAA 4/0	Penguin	107,22	14,31	0,26761	0,001710	0,3282	0,3503
Temperatura Cabo	Temperatura Ambiente						
	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C	40 °C	50 °C
50 °C	380	352	321	287	248	201	138
60 °C	429	406	381	353	323	290	252
75 °C	491	472	452	430	407	383	356
95 °C	559	544	527	510	492	473	453
100 °C	575	559	544	527	510	492	473
120 °C	630	617	603	589	575	560	544

Bitola MCM - AWG	Denominação padrão	Seção mm ²	Diâmetro mm	R _{CC} 20 Ω/km	GMR 60 hz m	R _{CA} 75 Ω/km	R _{CA} 95 Ω/km
CAA 3/0	Pigeon	85,12	12,75	0,33711	0,001548	0,4135	0,4412
Temperatura Cabo	Temperatura Ambiente						
	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C	40 °C	50 °C
50 °C	328	304	278	249	215	175	120
60 °C	371	351	329	305	280	251	218
75 °C	424	408	390	371	352	330	307
95 °C	483	469	455	440	424	408	391
100 °C	496	482	469	455	440	424	408
120 °C	543	531	520	508	495	483	469

Bitola MCM - AWG	Denominação padrão	Seção mm ²	Diâmetro mm	R _{CC} 20 Ω/km	GMR 60 hz m	R _{CA} 75 Ω/km	R _{CA} 95 Ω/km
CAA 2/0	Quail	67,33	11,34	0,42615	0,001378	0,5227	0,5578
Temperatura Cabo	Temperatura Ambiente						
	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C	40 °C	50 °C
50 °C	283	263	240	215	186	151	105
60 °C	320	302	284	263	241	217	188
75 °C	365	351	336	320	303	285	265
95 °C	415	404	391	379	365	351	336
100 °C	427	415	404	391	379	365	351
120 °C	467	457	447	437	426	415	403

Anexo B – continuação...

Bitola MCM - AWG	Denominação padrão	Seção mm ²	Diâmetro mm	R _{CC} 20 Ω/km	GMR 60 hz m	R _{CA} 75 Ω/km	R _{CA} 95 Ω/km
CAA 1/0	Raven	53,52	10,11	0,53615	0,001227	0,6576	0,7018
Temperatura Cabo	Temperatura Ambiente						
	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C	40 °C	50 °C
50 °C	245	228	208	186	161	132	92
60 °C	277	262	245	228	209	188	163
75 °C	316	303	290	276	262	246	229
95 °C	359	349	338	327	315	303	290
100 °C	368	359	348	338	327	315	303
120 °C	403	395	386	377	368	358	348

Bitola MCM - AWG	Denominação padrão	Seção mm ²	Diâmetro mm	R _{CC} 20 Ω/km	GMR 60 hz m	R _{CA} 75 Ω/km	R _{CA} 95 Ω/km
CAA 2	Sparrow	33,59	8,01	0,85413	0,000922	1,0476	1,1180
Temperatura Cabo	Temperatura Ambiente						
	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C	40 °C	50 °C
50 °C	183	170	155	139	121	99	70
60 °C	206	195	183	170	156	140	122
75 °C	235	226	216	206	195	183	170
95 °C	267	259	251	243	234	225	216
100 °C	274	266	259	251	243	234	225
120 °C	299	293	286	280	273	266	258

Bitola MCM - AWG	Denominação padrão	Seção mm ²	Diâmetro mm	R _{CC} 20 Ω/km	GMR 60 hz m	R _{CA} 75 Ω/km	R _{CA} 95 Ω/km
CAA 4	Swan	21,18	6,36	1,35479	0,000731	1,6617	1,7733
Temperatura Cabo	Temperatura Ambiente						
	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C	40 °C	50 °C
50 °C	137	127	117	105	91	75	54
60 °C	154	146	137	127	117	105	92
75 °C	175	169	161	154	145	137	127
95 °C	199	193	187	181	175	168	161
100 °C	204	199	193	187	181	174	168
120 °C	223	218	213	208	203	198	192



Tipo de Documento: Orientação Técnica
Área de Aplicação: Planejamento Elétrico
Título do Documento: Limite de Carregamento de Linhas de Transmissão
Aéreas da CPFL

Anexo B – continuação...

Bitola MCM - AWG	Denominação padrão	Seção mm ²	Diâmetro mm	R _{CC} 20 Ω/km	GMR 60 hz m	R _{CA} 75 Ω/km	R _{CA} 95 Ω/km
CAA 6	Turkey	13,30	5,04	2,15737	0,000517	2,6495	2,8282
Temperatura Cabo	Temperatura Ambiente						
	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C	40 °C	50 °C
50 °C	102	95	87	78	68	56	41
60 °C	115	109	102	95	87	78	69
75 °C	131	125	120	114	108	102	95
95 °C	148	144	139	135	130	125	119
100 °C	152	148	143	139	134	130	125
120 °C	165	162	158	155	151	147	143

14.3. Anexo C – Determinação dos cabos nus

Cabos de Alumínio Nu com Alma de Aço											
MCM AWG	Seção mm ²	Φ Cabo mm	R _{CC} 20 Ω/km	GMR m	R _{CA} - Ω/km					Reatância 30.48 mm	
					50 °C	60 °C	75 °C	95 °C	100 °C	Indut Ω/km	Capac MΩ/km
1590	806,23	39,26	0,03586	0,00436	0,0434	0,0448	0,0469	0,0497	0,0504	0,2231	0,0506
1272	644,40	34,17	0,04496	0,00388	0,0531	0,0548	0,0575	0,0610	0,0619	0,2312	0,0526
954	483,84	29,61	0,05988	0,00346	0,0691	0,0715	0,0751	0,0799	0,0810	0,2424	0,0553
795	402,56	28,11	0,07170	0,00305	0,0820	0,0848	0,0891	0,0949	0,0963	0,2492	0,0570
636	321,84	25,15	0,08969	0,00273	0,1016	0,1052	0,1106	0,1179	0,1197	0,2573	0,0590
556.5	282,59	23,55	0,10215	0,00242	0,1153	0,1194	0,1256	0,1338	0,1359	0,2579	0,05948
477	241,65	21,80	0,11945	0,00212	0,1343	0,1392	0,1465	0,1563	0,1588	0,2635	0,0609
336.4	170,50	18,83	0,16949	0,00198	0,1904	0,1974	0,2079	0,2218	0,2253	0,2766	0,0641
266.8	134,87	16,28	0,21402	0,00177	0,2405	0,2493	0,2625	0,2801	0,2845	0,2890	0,0667
4/0	107,22	14,31	0,26761	0,00171	0,3007	0,3117	0,3282	0,3503	0,3558	0,3611	0,0692
3/0	85,12	12,75	0,33711	0,00155	0,3788	0,3926	0,4135	0,4412	0,4482	0,3860	0,0713
2/0	67,33	11,34	0,42615	0,00138	0,4788	0,4964	0,5227	0,5578	0,5666	0,3984	0,0735
1/0	53,52	10,11	0,53615	0,00123	0,6024	0,6245	0,6576	0,7018	0,7128	0,4077	0,0756
2	336,59	8,01	0,85413	0,00092	0,9597	0,9948	1,0476	1,1180	1,1356	0,3990	0,0793
4	21,18	6,36	1,35479	0,00073	1,5222	1,5780	1,6617	1,7733	1,8012	0,4071	0,0837
6	13,30	5,04	2,15737	0,00052	2,4262	2,5155	2,6495	2,8282	2,8729	0,4183	0,0884

Cabos de Cobre Nu – Padronizar									
AWG mm ²	Seção mm ²	R _{CC} 20 Ω/km	GMR m	R _{CA} - Ω/km				Reatância 30.48 mm	
				50 °C	60 °C	75 °C	95 °C	Indut Ω/km	Capac MΩ/km
4/0	107,28	0,0392	0,005084	0,1950	0,2019	0,2122	0,2259	0,3089	0,0704
3/0	85,07	0,0448	0,004752	0,2457	0,2544	0,2673	0,2846	0,3139	0,0717
2/0	67,48	0,0523	0,003816	0,3095	0,3204	0,3367	0,3584	0,3306	0,0749
1/0	53,49	0,0606	0,003392	0,3901	0,4038	0,4243	0,4518	0,3393	0,0771
2	33,65	0,0816	0,002691	0,6188	0,6406	0,6732	0,7167	0,3567	0,0813
4	21,16	0,1042	0,002185	0,9823	1,0170	1,0691	1,1385	0,3723	0,0838
6	13,31	0,1441	0,001731	1,5622	1,6174	1,7002	1,8106	0,903	0,0882
8	8,37	0,2078	0,001271	2,4841	2,5718	2,7033	2,8788	0,4133	0,0965
16 mm ²	16,00	1,1600	0,001900	1,2988	1,3446	1,4135	1,5053	-	-
35 mm ²	35,00	0,5290	0,002748	0,5914	0,6122	0,6433	0,6849	-	-
120 mm ²	120,00	0,1540	0,005385	0,1722	0,1782	0,1873	0,1994	-	-



Tipo de Documento: Orientação Técnica
 Área de Aplicação: Planejamento Elétrico
 Título do Documento: Limite de Carregamento de Linhas de Transmissão
 Aéreas da CPFL

Anexo C – continuação...

Cabos de Alumínio Nu com Alma de Aço											
MCM AWG	Seção mm ²	Fios qtd	Φ Cabo mm	R _{CC} 20 Ω/km	GMR m	R _{CA} - Ω/km				Reatância 30.48 mm	
						50 °C	60 °C	75 °C	95 °C estimado	Indut Ω/km	Capac MΩ/km
954	483,47	37	28,55	0,05963	0,01096	0,06857	0,07100	0,07445	0,07910	0,25070	0,14610
795	402,98	37	26,07	0,07154	0,01001	0,08165	0,08460	0,08874	0,09440	0,25757	0,15045
636	322,22	37	23,31	0,08947	0,00895	0,10146	0,10470	0,11038	0,11700	0,26600	0,15578
556.5	281,44	19	21,71	0,10243	0,00823	0,11584	0,11920	0,12608	0,13340	0,27234	0,15917
477	241,50	19	20,11	0,11938	0,00762	0,13469	0,13860	0,14665	0,15540	0,27811	0,16282
336.4	170,57	19	16,90	0,16902	0,00640	0,19008	0,19590	0,20705	0,21970	0,29122	0,17112
266.8	135,19	19	15,05	0,21325	0,00570	0,23953	0,24710	0,26097	0,27710	0,29998	0,17667
4/0	107,25	7	13,25	0,26748	0,00481	0,30021	0,30950	0,32713	0,34710	0,31284	0,18274
3/0	84,99	7	11,80	0,33753	0,00428	0,37865	0,39160	0,41263	0,43910	0,32161	0,18829
2/0	67,46	7	10,51	0,42527	0,00381	0,47693	0,49360	0,51976	0,55360	0,33032	0,19381
1/0	53,48	7	9,36	0,53643	0,00339	0,60148	0,62110	0,65551	0,69660	0,33908	0,19935
2	33,65	7	7,42	0,85260	0,00269	0,95580	0,99110	1,04169	1,11150	0,35654	0,21041
4	21,14	7	5,88	1,35703	0,00213	1,52117	1,57460	1,65788	1,76590	0,37406	0,22150
6	13,28	7	4,66	2,16094	0,00169	2,42224	2,51910	2,63995	2,82650	0,39160	0,23260