

APLICAÇÃO DAS TABELAS DE MARTIN AO CÁLCULO RIGOROSO DE FLECHAS E TENSÕES DE CONDUTORES MONTADOS ENTRE APOIOS DESNIVELADOS*

5. Relações fundamentais entre os factores de Martin e os factores relativos a vãos em declive

Das expressões (2.1), (3.1) e (3.3) pode obter-se a expressão do factor (SW/T) em função dos factores de Martin $(SW/T)_o$ e Lf_o e do factor de desnível h/S

$$\frac{SW}{T} = \frac{1}{\left(\frac{SW}{T}\right)_o \cdot \frac{1}{Lf_o} \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{h}{S}\right)^2} + \frac{1}{2} \cdot \frac{h}{S}} \quad (5.1)$$

Desta expressão pode obter-se outra não menos importante

$$\left(\frac{SW}{T}\right)_o = \frac{\sqrt{1 + \left(\frac{h}{S}\right)^2}}{\frac{T}{SW} - \frac{1}{2} \cdot \frac{h}{S}} \quad (5.2)$$

Dando outro aspecto a (5.2)

$$\left(\frac{SW}{T}\right)_o = \frac{\sqrt{1 + \left(\frac{h}{S}\right)^2}}{\sqrt{1 + \left(\frac{h}{S}\right)^2}} \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{h}{S}\right)^2} \cdot \frac{1}{\frac{T}{SW} - \frac{1}{2} \cdot \frac{h}{S}} = \frac{\sqrt{1 + \left(\frac{h}{S}\right)^2}}{\sqrt{1 + \left(\frac{h}{S}\right)^2}} \cdot \frac{1}{\frac{T}{SW} - \frac{1}{2} \cdot \frac{h}{S}} \quad (5.3)$$

e atendendo a que o factor

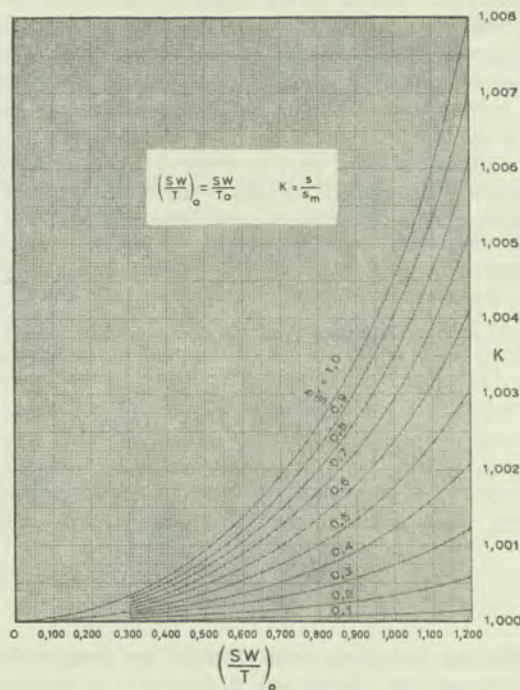
$$\gamma = \frac{\sqrt{1 + \left(\frac{h}{S}\right)^2}}{\sqrt{1 + \left(\frac{h}{S}\right)^2}} \quad (5.4)$$

é sensivelmente igual à unidade⁶, pode escrever-se

$$\left(\frac{SW}{T}\right)_o \approx \frac{\sqrt{1 + \left(\frac{h}{S}\right)^2}}{\frac{T}{SW} - \frac{1}{2} \cdot \frac{h}{S}} \quad (5.5)$$

que permite obter um valor de $(SW/T)_o$ muito próximo do valor exacto, desde que sejam conhecidos T/SW e h/S . A expressão do factor de comprimento Lf em função do

GRÁFICO DOS VALORES DE K EM FUNÇÃO
DOS VALORES $\left(\frac{SW}{T}\right)_o$ E DE $\frac{h}{S}$



h — desnível entre os pontos de apoio do fio
S — vão
W — carga total no fio por unidade de comprimento
 T_o — tracção do fio nos apoios para o vão S, mas com $h = 0$ embora com o mesmo H (tracção horizontal)
s — flecha de regulação (flecha de Nash)
 s_m — flecha a meio vão (flecha de Silva)

* Conclusão do trabalho cuja publicação iniciámos no número anterior.

⁶ O inverso de γ é designado por ε por GIOVANI SILVA. Afirma este autor que $\varepsilon \approx 1$, podendo então considerar-se $\gamma \approx 1$.

factor de Martin Lf_o e do factor h/S obtém-se a partir de (2.4) e (3.3), donde imediatamente se deduz

$$Lf = \sqrt{Lf_o^2 + \left(\frac{h}{S}\right)^2} \quad (5.6)$$

Quando são conhecidos Lf e h/S e se pretende determinar Lf_o usa-se a expressão

$$Lf_o = \sqrt{Lf^2 - \left(\frac{h}{S}\right)^2} \quad (5.7)$$

obtida directamente de (5.6).

O factor de esticamento stf pode também exprimir-se em função de h/S e dos factores de Martin. É questão de se atender às expressões (2.13), (3.4), (3.1) e (3.3); obtém-se

$$stf = stf_o + \frac{\left(\frac{h}{S}\right)^2}{\left(\frac{SW}{T}\right)_o \cdot Lf_o} \quad (5.8)$$

expressão que muitas vezes convém utilizar sob esta outra forma

$$stf = \frac{1}{\left(\frac{SW}{T}\right)_o} \cdot \left[stf_o \times \left(\frac{SW}{T}\right)_o + \frac{\left(\frac{h}{S}\right)^2}{Lf_o} \right] \quad (5.9)$$

A expressão do factor de flecha de regulação em função de h/S e dos factores de Martin não apresenta vantagens práticas. Na altura de calcular esta flecha é preferível calcular previamente a flecha média s_m (flecha de Silva); bastará depois multiplicar o valor desta flecha por um factor de conversão K para se obter a flecha de regulação s (designada no gráfico por flecha de Nash por ser este um dos raros autores que a consideraram)

$$s = K \times s_m \quad (5.10)$$

A flecha média obtém-se multiplicando o factor de flecha média sf_m pelo vão

$$s_m = sf_m \times S \quad (5.11)$$

Quanto ao cálculo de sf_m , podia demonstrar-se que

$$sf_m = sf_o \cdot \frac{\sqrt{Lf_o^2 + \left(\frac{h}{S}\right)^2}}{Lf_o} \quad (5.12)$$

expressão do factor de flecha média em função de h/S e dos factores de Martin sf_o e Lf_o .

Para exprimir o factor de flecha de mergulho em função de h/S e dos factores de Martin atenda-se, em primeiro lugar, às expressões (2.2), (3.1) e (3.3) donde se obtém

$$dsf = \frac{1}{\left(\frac{S \cdot W}{T}\right)_o} \cdot \frac{\sqrt{Lf_o^2 + \left(\frac{h}{S}\right)^2}}{Lf_o} - \left(\frac{H}{S \cdot W} + \frac{1}{2} \cdot \frac{h}{S} \right) \quad (5.13)$$

onde falta apenas exprimir convenientemente H/SW . Para isso, atenda-se agora a (3.1) e (3.2) donde se deduz

$$\frac{H}{S \cdot W} = \frac{1}{\left(\frac{S \cdot W}{T}\right)_o} - sf_o \quad (5.14)$$

De (5.13) e (5.14) obtém-se finalmente

$$dsf = \frac{1}{\left(\frac{S \cdot W}{T}\right)_o} \left[\frac{\sqrt{Lf_o^2 + \left(\frac{h}{S}\right)^2}}{Lf_o} - 1 \right] + \left(sf_o - \frac{1}{2} \cdot \frac{h}{S} \right) \quad (5.15)$$

A flecha de mergulho s_d será calculada multiplicando o factor de flecha de mergulho pelo vão

$$s_d = dsf \times S \quad (5.16)$$

O método de cálculo descrito no parágrafo seguinte utilizará as relações fundamentais de que consta este parágrafo, as tabelas de Martin e as expressões do parágrafo 2. Havendo que calcular flechas e tensões iniciais é também necessária a expressão ⁸

$$T_\mu = S \cdot W \cdot \frac{stf}{Lf} \quad (5.17)$$

para calcular a tensão média no fio. Pode ainda, em certos problemas, interessar calcular um valor aproximado de $(SW/T)_o$ a partir do conhecimento de SW/H , bastando para isso aproveitar os primeiros termos do desenvolvimento em série de (3.1)

$$\left(\frac{S \cdot W}{T}\right)_o \cong \frac{1}{\frac{1}{S \cdot W} + \frac{1}{8} \cdot \frac{S \cdot W}{H} + \frac{1}{384} \left(\frac{S \cdot W}{H}\right)^3} \quad (5.18)$$

6. Resolução por processos exactos de alguns problemas fundamentais relativos a vãos em declive

a) *Problema 1* — Numa dada linha aérea de transporte de energia eléctrica existe um vão mecânicamente isolado, isto é, um vão cujos postes extremos, que o definem, se encontram equipados com cadeias tensionais de isoladores. São conhecidos os valores topográficos do vão e do desnível entre os apoios, bem como as características dos condutores da linha. São também conhecidos os valores da temperatura, pressão do vento e características da manga de gelo, relativos à hipótese atmosférica mais desfavorável, isto é, aquela para a qual se verificam as maiores tensões mecânicas nos condutores. Conhece-se ainda a tensão máxima admissível nos condutores. Pretende-se saber quais as flechas de regulação e média, bem como a tensão a dar aos condutores (no apoio mais elevado), na ocasião da

⁷ Ver na página anterior um gráfico dos valores de K .

⁸ Esta expressão obtém-se directamente da definição de factor de esticamento e da expressão (12.9) do Cap. I do artigo do mesmo autor publicado nos números 10 e 11 da revista *ELECTRICIDADE*.

sua montagem na linha, durante a qual se supõe conhecida a temperatura ambiente e se admite não existir qualquer sobrecarga, para que, na hipótese atmosférica mais desfavorável, a sua tensão no apoio mais elevado não ultrapasse a tensão máxima admissível.

O processo que a seguir se aconselha para a resolução deste problema comporta três fases sucessivas. Na primeira fase calcula-se o factor de comprimento em repouso relativo à hipótese atmosférica mais desfavorável, depois de previamente se terem calculado alguns factores fundamentais relativos a esta hipótese. Na segunda fase calcula-se o factor de comprimento em repouso relativo à montagem. E, finalmente, na terceira fase, calculam-se os valores pedidos, depois de previamente se ter efectuado o cálculo de um certo número de factores relativos à montagem. Nas suas linhas gerais o processo preconizado deca-se portanto no processo de Martin, embora nos pormenores as diferenças entre os dois se acentuem consideravelmente.

Na primeira fase há em primeiro lugar que calcular, a partir dos dados e das expressões (2.6), (2.7) e (2.5), as forças que actuam nos condutores, por unidade de comprimento, na hipótese atmosférica mais desfavorável, bem como a sua resultante W . A partir destas forças e do conhecimento do vão e do desnível topográficos S_i e h_i (dados), calculam-se, pelas expressões (2.8), (2.9), (2.10) e (2.11), os valores verdadeiros, S e h , do vão e do desnível. É no entanto prudente, embora errado, dispensar este cálculo e considerar $S=S_i$ e $h=h_i$, como fazem muitos autores. Conhecidos S , h e W e fazendo a tracção T do condutor no apoio mais elevado igual à tracção máxima admissível T_m (dada), calculam-se depois os factores de tensão e de desnível, T/SW e h/S , a partir dos quais e da expressão (5.5) se calcula um valor aproximado de $(SW/T)_0$, muito próximo do valor exacto, que servirá para calcular em seguida, por interpolação nas tabelas de Martin, o valor de L_f correspondente. Com este valor de L_f e com o auxílio da expressão (5.2) calcula-se depois um novo valor de $(SW/T)_0$ (corrigido) mais próximo do valor exacto que o anterior que por sua vez permite, por interpolação nas tabelas de Martin, calcular um novo valor (corrigido) de L_f mais próximo do valor exacto que o anterior. Com a repetição do processo (de aproximações sucessivas) acaba por se obter um valor de L_f igual ao anterior que deve então considerar-se como valor exacto, devendo também considerar-se como exacto o valor de $(SW/T)_0$ que serviu para o determinar. Na grande maioria dos casos os primeiros valores corrigidos de $(SW/T)_0$ e de L_f são já os valores exactos. Conhecido o valor exacto de L_f determina-se depois, por interpolação nas tabelas de Martin, o valor exacto do produto $sf_0 \times (SW/T)_0$. Pode então agora determinar-se o valor de sf com o auxílio da expressão (5.9), bem como o valor de L_f com o auxílio da expressão (5.6). É a altura de calcular também o factor de alongamento a partir da expressão (2.12), considerando e como o módulo de elasticidade final. Com o auxílio da expressão (2.15) calcula-se finalmente, nesta fase do processo, o valor do factor de comprimento em repouso, UL_f , relativo à hipótese atmosférica mais desfavorável. Se os condutores não foram pré-esticados há ainda que calcular o factor de alongamento permanente e subtrai-lo a UL_f para se obter o factor de comprimento em repouso inicial. O cálculo do factor de comprimento em repouso relativo às condições de montagem (segunda fase do processo) faz-se directamente a partir da expressão (2.16). Nessa expressão considerar o índice 1 referente à hipótese atmosférica mais desfavorável e o índice 2 referente à montagem.

férica mais desfavorável e o índice 2 referente à montagem.

A terceira e última fase do processo (relativa às condições de montagem) começa com o conhecimento de UL_f , calculado na fase anterior, e com o cálculo de Ef . No cálculo de Ef considerar sempre $S=S_i$ (dado), $W=W_0$ (peso próprio do condutor) e e o módulo de elasticidade (final ou inicial conforme houve ou não pré-esticamento dos condutores). O que imediatamente se faz, é o cálculo, com o auxílio da equação (2.15), de L_f relativo à montagem. Nessa equação são nesta altura conhecidos UL_f e Ef , mas apresentam-se duas incógnitas, L_f e sf , o que se traduz numa dificuldade de cálculo. Pode evitar-se essa dificuldade lançando novamente mão de um processo de aproximações sucessivas. Arbitrando primeiramente para sf um valor idêntico ao obtido na hipótese atmosférica mais desfavorável, calcula-se em seguida, a partir de (2.15), um valor aproximado de L_f . Depois, com o auxílio da expressão (5.7), onde se considera sempre $h=h_i$ e $S=S_i$, determina-se um valor aproximado de L_f que permite obter, com o auxílio das tabelas de Martin, os respectivos valores de $(SW/T)_0$ e do produto $sf_0 \times (SW/T)_0$; então a expressão (5.9) permite calcular um valor de sf mais próximo do valor exacto que o valor arbitrado (valor corrigido) que, por sua vez, com o auxílio de (2.15), conduz a um valor de L_f mais próximo do valor exacto que o anterior. Quando, com a repetição do processo, se obtiver um valor de L_f igual ao anteriormente obtido, o facto indica que se obteve o valor exacto, devendo também considerar-se como exactos todos os factores de Martin que intervieram na última tentativa. Conhecidos todos os factores de Martin relativos à montagem, basta agora utilizar as expressões (5.10), (5.11), (5.12), (5.13), (5.14), (5.16) e o gráfico dos valores de K para se obter as flechas pedidas e utilizar a expressão (5.1) para calcular o factor SW/T , obtendo-se T dividindo SW por este factor.

b) *Problema 2* — Na linha do problema anterior existe também um grupo de vãos cujos postes se encontram equipados com cadeias verticais de isoladores, com excepção dos postes extremos do grupo, que se encontram equipados com cadeias tensionais (troço de montagem ou «canton de pose»). Além de se suporem conhecidos os mesmos dados do problema anterior conhecem-se ainda os valores de todos os vãos do grupo bem como os dos respectivos desníveis. Pretende-se saber quais as flechas e qual a tensão a dar aos condutores (no apoio mais elevado), na ocasião da montagem, num vão desse grupo que se escolhe para vão de regulação, S_r .

O problema pode resolver-se começando por calcular o chamado vão equivalente S_e (ruling span) pela fórmula

$$S_e = \sqrt{\frac{\sum S^3}{\sum S}} \quad (6.1)$$

que se considera em patamar (de apoios do mesmo nível). Pelo método de Martin calculam-se em seguida para esse vão os factores $(SW/T)_0$ e sf_0 correspondentes à montagem. Calcula-se depois, utilizando a expressão (5.14), o factor de tensão horizontal H/SW , que, multiplicado por SW , conduz ao correspondente valor de H .

O correspondente valor de SW/H relativo ao vão de regulação obtém-se dividindo $S_r W$ por H . A fórmula (5.18) permite obter em seguida um valor aproximado de $(SW/T)_0$ relativo ao vão S_r . Para obter o seu valor exacto basta depois fazer uma interpolação nas tabelas de Martin entre os valores de $(SW/T)_0$, entre os quais se situa o valor apro-

ximado obtido, utilizando a expressão (5.14). Conhecido o valor exacto de $(SW/T)_0$, ficam imediatamente conhecidos, por interpolação, todos os factores de Martin que permitem, com o auxílio de $h/S = h_r/S_r$, e das expressões utilizadas no problema anterior, determinar os valores pedidos usando um processo idêntico.

c) *Problema 3* — Sendo conhecido o vão médio da linha dos problemas anteriores, além das características dos condutores e dos dados topográficos e atmosféricos pretende-se traçar a curva de equilíbrio dos condutores à temperatura máxima da região para este vão médio. Para a resolução deste problema determina-se em primeiro lugar a tensão horizontal dos condutores H relativa à temperatura máxima da região, seguindo o processo utilizado na resolução do problema anterior. Conhecido H basta depois utilizar a equação da catenária

$$y = \frac{H}{W} \left(ch \frac{x}{H} - 1 \right) \quad (6.2)$$

para determinar os pontos que servirão para o traçado pedido.

6.1 EXEMPLO

As três folhas de cálculo incluídas na parte final desta publicação referem-se a um problema numérico do tipo do problema 1, sendo respectivamente de 740 m e de 109,1 m os valores do vão e do desnível topográficos e de 50°C a temperatura de montagem.

O que está contido na primeira folha é comum a todos os vãos da linha a que se refere o vão do problema. Além das características dos condutores, supostos pré-esticados, e dos valores da temperatura, pressão do vento e densidade e espessura da manga de gelo que definem duas hipóteses de carga máxima (dados), estão ali também contidos todos os cálculos das cargas por unidade de comprimento de condutor nessas duas hipóteses, bem como outros cálculos de interesse comum a todos os vãos da linha; para esses cálculos utilizaram-se as expressões (2.5), (2.6), (2.7), (2.10) e (2.11). Está ali também efectuado, pelas equações da parábola, o cálculo do chamado *vão crítico*, que permite averiguar, para um dado vão da linha, qual é, das duas hipóteses dadas, a mais desfavorável.

Na segunda e terceira folhas estão contidas as três fases do cálculo relativo ao vão do problema. Como se trata de um vão superior ao vão crítico, a hipótese mais desfavorável é a de Primavera. Em pormenor, em cada uma dessas três fases observa-se

a) *Na primeira fase* (relativa à hipótese de Primavera):

1 — Vão verdadeiro. Considerou-se (erradamente) igual ao topográfico, em vez de se efectuar o seu cálculo com o auxílio da expressão (2.8).

2 — Desnível verdadeiro. Considerou-se (erradamente) igual ao topográfico, em vez de se efectuar o seu cálculo com o auxílio da expressão (2.9).

3, 4, 5 e 6 — Cálculo do factor de desnível e de funções desse factor de interesse para cálculos seguintes.

7 — Cálculo do factor de tensão máxima. Fez-se $T = T_m$ (dado), utilizou-se o valor de W calculado na primeira folha e o de S registado em 1.

8 — Cálculo duma função dos factores de tensão máxima e de desnível, de interesse para cálculos seguintes. Aproveitaram-se os valores obtidos em 4 e 7.

9 — Cálculo do valor aproximado de $(SW/T)_0$. Utilizou-se a expressão (5.5) e aproveitaram-se os valores obtidos em 6 e 8.

10 — Cálculo do valor aproximado de Lf_0 , obtido, por interpolação nas tabelas de Martin, a partir do conhecimento de $(SW/T)_0$ calculado em 9.

11 — Cálculo de Lf_0^2 , de interesse para o cálculo seguinte.

9_A — Cálculo do primeiro valor corrigido de $(SW/T)_0$. Utilizou-se a expressão (5.2) e aproveitaram-se os valores obtidos em 5, 8 e 11.

10_A — Cálculo do primeiro valor corrigido de Lf_0 , obtido, por interpolação nas tabelas de Martin, a partir do conhecimento de $(SW/T)_0$ calculado em 9_A.

11_A — Cálculo do primeiro valor corrigido de Lf_0^2 , de interesse para o cálculo seguinte.

9_B — Cálculo do segundo valor corrigido de $(SW/T)_0$. Utilizou-se a expressão (5.2) e aproveitaram-se os valores obtidos em 5, 8 e 11_A.

10_B — Cálculo do segundo valor corrigido de Lf_0 , obtido, por interpolação nas tabelas de Martin, a partir do conhecimento de $(SW/T)_0$ calculado em 9_B.

11_B — Cálculo do segundo valor corrigido de Lf_0^2 , de interesse para o cálculo seguinte.

9_C — Cálculo do terceiro valor corrigido de $(SW/T)_0$. Utilizou-se a expressão (5.2) e aproveitaram-se os valores obtidos em 5, 8 e 11_B. Como este valor coincide com o que foi obtido em 9_B, devem considerar-se exactos os segundos valores corrigidos de $(SW/T)_0$ e de Lf_0 obtido em 10_B. Foi pois desnecessário continuar com correcções.

12 — Cálculo do produto $stf_0 \times (SW/T)_0$, obtido, por interpolação nas tabelas de Martin, a partir do conhecimento de $(SW/T)_0$ calculado em 9_C.

13 — Cálculo do factor de alongamento, Ef . Utilizou-se a expressão (2.12). Os valores de a e de e (módulo final) são dados. O valor de S foi buscar-se a 1 e o valor de W foi já calculado na primeira folha.

14 — Cálculo de stf . Utilizou-se a expressão (5.9) e aproveitaram-se os valores obtidos em 5, 9_B, 10_B e 12.

15 — Cálculo de Lf . Utilizou-se a expressão (5.6) e aproveitaram-se os valores obtidos em 5 e 11_B.

16 — Cálculo de ULf . Utilizou-se a expressão (2.15) e aproveitaram-se os valores obtidos em 13, 14 e 15.

17, 18, 19 e 20 — Espaços destinados a cálculos relativos a condutores que não foram submetidos a um esticamento prévio. Como, no problema presente, se admitiu que houve pré-esticamento dos condutores, esses espaços encontram-se em branco por não ser necessário efectuar esses cálculos. Em 17 seria efectuado, com o auxílio de (5.17), o cálculo de $T\mu$. Em 18 seria registado o alongamento unitário permanente λ_p^u , obtido a partir do conhecimento de $T\mu$ e da consulta na tabela (ou gráfico) fornecida pelo fabricante dos condutores. Em 19 seria efectuado, com o auxílio da expressão indicada, o cálculo do factor de alongamento permanente λ_{pl} . E, finalmente, em 20, seria calculado o factor de comprimento em repouso inicial, subtraindo ao factor de comprimento em repouso, obtido em 16, o factor de alongamento permanente obtido em 19.

b) *Na segunda fase* (relativa à mudança de estado atmosférico) só foi preenchida a parte respeitante ao pedido do problema (temperatura de 50°C). No cálculo do factor de comprimento em repouso relativo à temperatura de 50°C utilizou-se a expressão (2.16) e aproveitaram-se os valores obtidos na primeira folha e em 16. Se não tivesse havido pré-esticamento seria o valor obtido em 20, e não em 16, que interviria em (2.16) como ULf_0 .

c) Na terceira fase (relativa à montagem a 50°C):

1, 2, 3 e 4 — Cálculo do factor de desnível e de funções desse factor de interesse para cálculos seguintes. Considerou-se $S=S_i$ e $h=h_i$ (dados) o que é correcto visto não existir vento durante a montagem.

5 — Registo do valor de ULf calculado na fase anterior.

6 — Registo de stf . Considerou-se, em primeira aproximação, o valor obtido na primeira fase em 14.

7 — Cálculo de Ef . Utilizou-se a expressão (2.12). Os valores de a e de e (módulo inicial se não tivesse havido pré-esticamento) são dados. O valor $S=S_i$ é dado bem como o valor de W (igual a W_o neste caso).

8 — Cálculo do valor aproximado de Lf . Utilizou-se a expressão (2.15) e aproveitaram-se os valores registados em 5, 6 e 7.

9 — Cálculo do valor aproximado de Lf^2 de interesse para o cálculo seguinte.

10 — Cálculo do valor aproximado de Lf_o . Utilizou-se a expressão (5.7) e aproveitaram-se os valores calculados em 3 e 9.

11 — Cálculo do valor aproximado de $(SW/T)_o$, obtido, por interpolação nas tabelas de Martin, a partir do conhecimento de Lf_o calculado em 10.

12 — Cálculo do valor aproximado do produto $stf_o \times (SW/T)_o$, obtido, por interpolação nas tabelas de Martin, a partir do conhecimento de Lf_o calculado em 10.

13 — Cálculo do primeiro valor corrigido de stf . Utilizou-se a expressão (5.9) e aproveitaram-se os valores obtidos em 3, 10, 11 e 12.

14 — Cálculo do primeiro valor corrigido de Lf . Utilizou-se a expressão (2.15) e aproveitaram-se os valores registados em 5, 7 e 13.

15 — Cálculo do primeiro valor corrigido de Lf^2 , de interesse para o cálculo seguinte.

10_A — Cálculo do primeiro valor corrigido de Lf_o . Utilizou-se a expressão (5.7) e aproveitaram-se os valores calculados em 3 e 15.

11_A — Cálculo do primeiro valor corrigido de $(SW/T)_o$, obtido, por interpolação nas tabelas de Martin, a partir do conhecimento de Lf_o calculado em 10_A.

12_A — Cálculo do primeiro valor corrigido do produto $stf_o \times (SW/T)_o$, obtido, por interpolação nas tabelas de Martin, a partir do conhecimento de Lf_o calculado em 10_A.

13_A — Cálculo do segundo valor corrigido de stf . Utilizou-se a expressão (5.9) e aproveitaram-se os valores obtidos em 3, 10_A, 11_A e 12_A.

14_A — Cálculo do segundo valor corrigido de Lf . Utilizou-se a expressão (2.15) e aproveitaram-se os valores registados em 5, 7 e 13_A. Este valor de Lf coincide com o valor obtido em 14, que deve então considerar-se exacto. São portanto também exactos os primeiros valores corrigidos de Lf_o e de $(SW/T)_o$, obtidos em 10_A e 11_A. Não houve assim necessidade de prosseguir com o processo de aproximações sucessivas e por isso se encontram em branco os espaços 15_A, 10_B, 11_B, 12_B, 13_B, 14_B, 15_B.

16 — Cálculo de sf_o obtido, por interpolação nas tabelas de MARTIN, a partir do conhecimento de Lf_o calculado em 10_A.

17 — Cálculo do factor de tensão horizontal H/SW . Utilizou-se a expressão (5.14) e aproveitaram-se os valores obtidos em 11_A e 16.

18 — Cálculo duma função de Lf_o e de h/S , de interesse para os cálculos seguintes. Aproveitaram-se os valores obtidos em 10_A e 14_A.

19 — Cálculo duma função de $(SW/T)_o$, Lf_o e h/S , de interesse para os cálculos seguintes. Aproveitaram-se os valores obtidos em 11_A e 18.

20 — Cálculo de sf_m . Utilizou-se a expressão (5.12) e aproveitaram-se os valores obtidos em 16 e 18.

21 — Cálculo de s_m . Utilizou-se a expressão (5.11), onde $S=S_i$, e aproveitou-se o valor obtido em 20.

22 — Determinação do valor de K , efectuada, por consulta ao gráfico dos respectivos valores, a partir do conhecimento dos valores de $(SW/T)_o$, calculado em 11_A, e de h/S , calculado em 1.

23 — Cálculo de s (flecha de regulação, pedida). Utilizou-se a expressão (5.10) e aproveitaram-se os valores obtidos em 21 e 22.

24 — Cálculo de dsf . Utilizou-se a expressão (5.13) e aproveitaram-se os valores obtidos em 2, 17 e 19.

25 — Cálculo de s_d (flecha de mergulho, pedida). Utilizou-se a expressão (5.16), onde $S=S_i$, e aproveitou-se o valor obtido em 24.

26 — Cálculo de SW/T . Utilizou-se a expressão (5.1) e aproveitaram-se os valores obtidos em 1 e 19.

27 — Cálculo de T (tensão no apoio mais elevado, pedida). Dividiu-se o produto SW (onde $S=S_i$ e $W=W_o$) pelo valor de SW/T , obtido em 26.

SEGUEM-SE AS TRÊS FOLHAS DE CÁLCULO ►

LINHA EXEMPLO DE CÁLCULO

CARACTERÍSTICAS DOS CONDUTORES, VÃO CRÍTICO E HIPÓTESES DE CARGA MÁXIMA

CARACTERÍSTICAS DOS CONDUTORES

Tipo	al — aço «Partridge»
Secção	a = 157,2 mm ²
Diâmetro	d = 16,3 mm
Peso próprio	W _o = 0,5446 kg/m
Módulo inicial	e _i = 6187 kg/mm ²
Módulo final	e _f = 7734 kg/mm ²
Coef. dil. linear	α = 18,99 × 10 ⁻⁶ /°C
Carga de rotura	T _r ≅ 5100 kg
Produto a . e _i	a . e _i = 0,972 596 4 kg
Produto a . e _f	a . e _f = 1,215 784 8 kg
Tracção máx. adm.	T _m = 1414,8 kg

VÃO CRÍTICO S_c (DAS EQ. DA PARÁBOLA)

$$S_c = T_m \sqrt{\frac{24 \alpha (t_P - t_I)}{W_P^2 - W_I^2}} =$$
$$= 1414,8 \times \sqrt{\frac{24 \times 18,99 \times 10^{-6} \times [15 - (-5)]}{1,293\,803\,0^2 - 0,618\,605\,2^2}} \text{ m}$$
$$= 118,870 \text{ m}$$

HIPÓTESE DE INVERNO (PARA S_i < S_c)

$t = -5\text{ }^{\circ}\text{C}$	$V = 18\text{ kg/m}^2$	$\delta = \text{-----}$	$\varepsilon = 0\text{ mm}$
$W_i = 0\text{ kg/m}$			
$(W_o + W_i) = 0,5446\text{ kg/m}$		$W_w = 0,2934\text{ kg/m}$	
$W = \sqrt{0,5446^2 + 0,2934^2}\text{ kg/m} = 0,618\ 605\ 2\text{ kg/m}$			
$\text{sen } \beta = \text{-----}$		$\text{cos } \beta = \text{-----}$	
VALORES DE $1 + \alpha [t - (-5)]$			
Para 0 $^{\circ}\text{C}$	-----		
Para 25 $^{\circ}\text{C}$	-----		
Para 50 $^{\circ}\text{C}$	-----		

HIPÓTESE DE PRIMAVERA (PARA S_i > S_c)

$t = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$	$V = 72\text{ kg/m}^2$	$\delta = \text{-----}$	$\varepsilon = 0\text{ mm}$
$W_i = 0\text{ kg/m}$			
$(W_o + W_i) = 0,5446\text{ kg/m}$		$W_w = 1,1736\text{ kg/m}$	
$W = \sqrt{0,5446^2 + 1,1736^2}\text{ kg/m} = 1,293\ 803\ 0\text{ kg/m}$			
$\text{sen } \beta = 0,907\ 093\ 3$		$\text{cos } \beta = 0,420\ 929\ 6$	
VALORES DE $1 + \alpha [t - 15]$			
Para 0 $^{\circ}\text{C}$	_____		
Para 25 $^{\circ}\text{C}$	_____		
Para 50 $^{\circ}\text{C}$	$1 + 18,99 \cdot 10^{-6} (50 - 15) = 1,000\ 664\ 7$		

FLECHAS E TENSÕES DE MONTAGEM DOS CONDUTORES DA LINHA

EXEMPLO DE CÁLCULO

TROÇO DE MONTAGEM: ENTRE OS POSTES A E B $S_t = 740 \text{ m}$ $h_t = 109,1 \text{ m}$

HIPÓTESE DE CARGA MÁXIMA PRIMAVERA (15 °C)

1	$S = 740 \text{ m}$			2	$h = 109,1 \text{ m}$		
3	$\frac{h}{S} = 0,147\,432\,4$	4	$\frac{1}{2} \cdot \frac{h}{S} = 0,073\,716\,2$	5	$\left(\frac{h}{S}\right)^2 = 0,021\,736\,3$	6	$\sqrt{1 + \left(\frac{h}{S}\right)^2} = 1,010\,802\,7$
7	$\frac{T}{SW} = \frac{1414,8}{957,414\,22} = 1,477\,730\,3$			8	$\frac{T}{SW} - \frac{1}{2} \cdot \frac{h}{S} = 1,404\,014\,1$		
9	$\left(\frac{SW}{T}\right)_o \cong \frac{1,010\,802\,7}{1,404\,014\,1} = 0,719\,942\,7$			10	$Lf_o \cong 1,025\,189\,7$	11	$Lf_o^2 \cong 1,051\,013\,9$
9A	$\left(\frac{SW}{T}\right)_o = \sqrt{\frac{1,020\,681\,3}{1,404\,014\,1}} = 0,719\,570\,9$			10A	$Lf_o = 1,025\,159\,1$	11A	$Lf_o^2 = 1,050\,951\,2$
9B	$\left(\frac{SW}{T}\right)_o = \frac{\sqrt{1,020\,682\,5}}{1,404\,014\,1} = 0,719\,571\,3$			10B	$Lf_o = 1,025\,159\,2$	11B	$Lf_o^2 = 1,050\,951\,4$
9C	$\left(\frac{SW}{T}\right)_o = \frac{\sqrt{1,020\,682\,5}}{1,404\,014\,1} = 0,719\,571\,3$			10C	$Lf_o = \text{—————}$	11C	$Lf_o^2 = \text{—————}$
12	$stf_o \times \left(\frac{SW}{T}\right)_o = 0,977\,326\,5$			13	$Ef = \frac{957,414\,22}{1\,215\,784,8} = 0,000\,787\,5$		
14	$stf = \frac{0,977\,326\,5 + 0,021\,202\,9}{0,719\,571\,3} = 1,387\,672\,4$			15	$Lf = \sqrt{1,072\,687\,7} = 1,035\,706\,4$		
16	$ULf = 1,035\,706\,4 - 0,000\,787\,5 \times 1,387\,672\,4 = 1,034\,613\,6$						
17	$T_\mu = \text{—————}$			18	$\lambda_p^u = \text{—————}$		
19	$\lambda_{pf} = Lf \times \lambda_p^u = \text{—————}$			20	$ULfi = \text{—————}$		

MUDANÇA DE ESTADO ATMOSFÉRICO DE 15 °C

Para 0 °C	$ULf_{0\text{ °C}} =$ _____
Para 25 °C	$ULf_{25\text{ °C}} =$ _____
Para 50 °C	$ULf_{50\text{ °C}} = 1,034\ 613\ 6 \times 1,000\ 664\ 7 = 1,035\ 301\ 3$

MONTAGEM A 50 °C SEM VENTO

1	$\frac{h}{S} = 0,147\,432\,4$	2	$\frac{1}{2} \cdot \frac{h}{S} = 0,073\,716\,2$	3	$\left(\frac{h}{S}\right)^2 = 0,021\,736\,3$	4	$\sqrt{1 + \left(\frac{h}{S}\right)^2} = 1,010\,809\,7$
5	$ULf = 1,035\,301\,3$	6	$stf \cong 1,387\,672\,4$	7	$Ef = \frac{403,004}{1\,215\,784,8} = 0,000\,331\,5$		
8	$Lf \cong 1,035\,301\,3 + 0,000\,331\,5 \times 1,387\,672\,4 = 1,035\,761\,3$					9	$Lf^2 \cong 1,072\,801\,5$
10	$Lf_o = \sqrt{1,051\,065\,2} = 1,025\,214\,7$			11	$\left(\frac{SW}{T}\right)_o = 0,720\,246\,4$		
12	$stf_o \times \left(\frac{SW}{T}\right)_o = 0,977\,281\,6$			13	$stf = \frac{0,977\,281\,6 + 0,021\,201\,7}{0,720\,246\,4} = 1,386\,307\,9$		
14	$Lf = 1,035\,301\,3 + 0,000\,331\,5 \times 1,386\,307\,9 = 1,035\,760\,9$					15	$Lf^2 = 1,072\,800\,6$
10A	$Lf_o = \sqrt{1,051\,064\,3} = 1,025\,214\,3$			11A	$\left(\frac{SW}{T}\right)_o = 0,720\,241\,5$		
12A	$stf_o \times \left(\frac{SW}{T}\right)_o = 0,977\,281\,9$			13A	$stf = \frac{0,977\,281\,9 + 0,021\,201\,7}{0,720\,241\,5} = 1,386\,317\,8$		
14A	$Lf = 1,035\,301\,3 + 0,000\,331\,5 \times 1,386\,317\,8 = 1,035\,760\,9$					15A	$Lf^2 = \text{_____}$
10B	$Lf_o = \text{_____}$			11B	$\left(\frac{SW}{T}\right)_o = \text{_____}$		
12B	$stf_o \times \left(\frac{SW}{T}\right)_o = \text{_____}$			13B	$stf = \text{_____}$		
14B	$Lf = \text{_____}$					15B	$Lf^2 = \text{_____}$
16	$sf_o = 0,098\,092\,6$			17	$\frac{H}{SW} = 1,388\,423\,2 - 0,098\,092\,6 = 1,290\,330\,6$		
18	$\frac{\sqrt{Lf_o^2 + \left(\frac{h}{S}\right)^2}}{Lf_o} = \frac{Lf}{Lf_o} = 1,010\,287\,2$			19	$\frac{1}{\left(\frac{SW}{T}\right)_o} \cdot \frac{\sqrt{Lf_o^2 + \left(\frac{h}{S}\right)^2}}{Lf_o} = 1,402\,706\,2$		
20	$sf_m = 0,099\,101\,7$	21	$s_m = 73,335\,m$	22	$K = 1,000\,1$	23	$s = 73,342\,m$
24	$dsf = 1,402\,706\,2 - 1,364\,046\,8 = 0,038\,659\,4$					25	$s_d = 28,608\,m$
26	$\frac{SW^a}{T} = \frac{1}{1,402\,706\,2 + 0,073\,716\,2} = \frac{1}{1,476\,422\,4} = 0,677\,312\,9$					27	$T = 595,004\,kg$