

TESE
111



ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ

"INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS METEOROLÓGICOS
NO DESEMPENHO ELÉTRICO DE LINHAS DE
TRANSMISSÃO QUANTO A SURTOS DE MANOBRAS:
UM PROGRAMA DIGITAL"

POR:

PAULO CESAR VAZ ESMERALDO

TESE DE MESTRADO EM
ENGENHARIA ELÉTRICA
ITAJUBÁ, MG, JUNHO 1976

se 111



"INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS METEOROLÓGICOS NO DESEMPENHO ELÉTRICO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO QUANTO A SURTOS DE MANOBRA:
UM PROGRAMA DIGITAL"

Paulo Cesar Vaz Esmeraldo

537.51621

Class 1352 1976
Cm. E. 74 i
Tomo 111

ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ

"Influência dos Parâmetros Meteorológicos no Desempenho Elétrico de Linhas de Transmissão Quanto a Surtos de Manobra: Um Programa Digital"

por

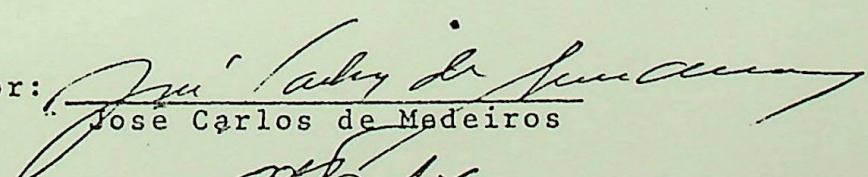
Paulo Cesar Vaz Esmeraldo

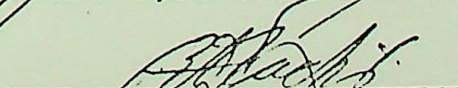
Tese submetida a Comissão de Pós-Graduação da Escola Federal de Engenharia de Itajubá - EFEI, como requisito parcial para obtenção do grau de

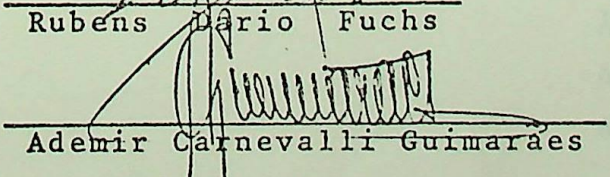
Mestre em Ciências de
Engenharia Elétrica


Paulo Cesar Vaz Esmeraldo

Aprovado por:


José Carlos de Madeiros


Rubens Dário Fuchs


Ademir Carnevalli Guimarães

Itajubá, MG, Junho de 1976

À memória de minha avô
À Eleonora, minha esposa
Aos meus pais
Ao Júlio e à Leila

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Eng. José Carlos de Medeiros, que me orientou na elaboração deste trabalho e que muito me incentivou.

Consigno agradecimentos ao CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica, que me proporcionou subsídios para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

A definição da geometria da torre de uma linha de transmissão consiste, entre outras coisas, na determinação das distâncias de isolamento (ar e isoladores). Este trabalho mostra os fatores que influenciam nesta definição, quando sujeitos a surtos de manobra.

Neste trabalho é apresentado um programa para computador digital onde são consideradas curvas de ensaios de laboratórios de extra alta tensão e o método estatístico que calcula o risco de falha desta linha, considerando um modelo meteorológico de um período de alguns anos de observações horárias numa determinada estação climatológica, localizada nas imediações da faixa de passagem da linha em estudo.

Em suma, é possível determinar-se o risco total de falha de uma linha e a partir de medidas criteriosas chegar-se a um nível de risco aceitável que irá contribuir desta forma para a definição da configuração da torre.

ABSTRACT

The definition of tower geometry in a transmission line consists, among other factors, in the determination of the clearance distances. This paper shows the parameters that influence in this definition when stressed for switching surges.

A computer digital program is presented where are considered high voltage laboratories results and a probabilistic method which calculates the risk of failure of the line. A digital weather model for a period of some years of hourly observations are also considered from meteorological station located near the right of way.

Finally it is possible to evaluate the total risk of failure and from a reliable criteria to obtain an acceptable risk that will contribute for the definition of the tower configuration.

ÍNDICE

INTRODUÇÃO

CAPÍTULO I

- 1.0 - Modelo Meteorológico
- 1.1 - Introdução teórica
- 1.2 - Método de Análise
- 1.3 - Distribuição Estatística do "Relative Insulation Strength - RIS"
- 1.4 - Distribuição Estatística dos ângulos de balanço das cadeias, devido à ação do vento

CAPÍTULO II

- 2.0 - Representação dos Surtos de Manobra e das Tensões Suportáveis
- 2.1 - Distribuição normal das sobretensões
- 2.2 - Distribuição das tensões suportáveis

CAPÍTULO III

- 3.0 - O Risco de Falha
- 3.1 - Nomenclatura
- 3.2 - Cálculo do Risco de Falha
- 3.3 - Consideração de m gaps em paralelo

CAPÍTULO IV

- 4.0 - Desempenho Elétrico do Isolamento
- 4.1 - Como considerar as condições meteorológicas
- 4.2 - Como considerar todas as condições de ângulo de balanço
- 4.3 - Risco de Falha total da Linha
- 4.4 - Como considerar o cálculo do risco de falha nos gaps compostos

CAPÍTULO V

- 5.0 - A Representação da Torre
- 5.1 - Expressão geral do cálculo das distâncias
- 5.2 - Cadeia em I
- 5.3 - Cadeia em V

CAPÍTULO VI

- 6.0 - O Programa CODIN I
- 6.1 - Estrutura do Programa
- 6.2 - Steps do Programa
- 6.3 - Manual do Usuário
- 6.4 - Listagem e Casos Testes

CONCLUSÃO

BIBLIOGRAFIA

APÊNDICES

- I - Cálculo da Umidade Absoluta (h)
- II - Cálculo do ângulo de balanço devido à ação do vento
- III - Cálculo da tensão disruptiva de 50% para o gap composto
- IV - Função probabilística de Gauss
- V - Fluxograma do programa CODIN I
- VI - Listagem do programa
- VII - Formulários de codificação
- VIII - Casos Testes



INDÍCE DE FIGURAS

- Figura 1 - Tipos de sobretensões
- Figura 2 - Desempenho de uma linha de transmissão quanto a surtos de manobra - fluxograma
- Figura 3 - Fator de correção devido à umidade
- Figura 4 - Correção da densidade relativa do ar e umidade com o comprimento do gap
- Figura 5 - Histograma do "Relative Insulation Strength"
- Figura 6 - Esquema computacional do cálculo do histograma do "RIS"
- Figura 7 - Ângulo de balanço como função da velocidade instantânea do vento na torre
- Figura 8 - Histograma das velocidades do vento para 15° , 16° , 17° e 18°
- Figura 9 - Ângulo de balanço em função da velocidade média do vento
- Figura 10 - Histograma dos ventos máximos de "1 minuto"
- Figura 11 - Histograma dos ângulos de balanço
- Figura 12 - Diagrama para determinação razão de vão vertical/horizontal - parâmetros H e V
- Figura 13 - Fator de efetividade
- Figura 14 - Esquema computacional do cálculo do histograma dos ângulos de balanço
- Figura 15 - Distribuição de sobretensões
- Figura 16 - Tensões de flashover para surtos de manobra nos gaps da fase interna e externa
- Figura 17 - Torres testadas no projeto EHV-EPRI
- Figura 18 - Fator de correção devido à espessura da torre
- Figura 19 - Tensões de flashover para surtos de manobra já contendo correção devido à espessura
- Figura 20 - Curvas de suportabilidade de gaps I
- Figura 21 - Curvas de suportabilidade de gaps II
- Figura 22 - Probabilidade de ocorrência de flashover do gap composto

LISTA DOS PRINCIPAIS SÍMBOLOS

V, C_{FO}, U_{d50} - tensão de "critical flashover" em condições ambientes

V_{std} - tensão de "critical flashover" em condições padrões

RAD - densidade relativa do ar

H - fator de correção devido a umidade

n - expoente que depende do comprimento do gap

P - pressão barométrica ambiente

P_0 - pressão barométrica padrão

T_0 - temperatura padrão em ($^{\circ}K$)

T - temperatura ambiente ($^{\circ}K$)

e' - pressão do vapor d'água saturado

h - umidade absoluta

t - temperatura de bulbo seco

t' - temperatura de bulbo úmido

VP - pressão de vapor

RIS - relative insulation strength

KH - fator de correção da densidade relativa do ar

KD - fator de correção da umidade

KP - fator de correção da precipitação

V_1 - velocidade do vento na altura do condutor h_1

V_0 - velocidade do vento na estação meteorológica

h_1 - altura do condutor

h_0 - altura da estação meteorológica

α - grau de rugosidade do terreno

D - diâmetro do condutor

W - peso do condutor

H/V - relação vão vertical/vão horizontal

k - fator de efetividade

V - velocidade do vento

U_{MAX} - sobretensão máxima

$U_{0.50\%}, \bar{u}$ - valor médio das sobretensões

σ_0 - desvio padrão da distribuição das sobretensões

U - sobretensão em p.u

σ_d - desvio padrão da distribuição das tensões suportáveis

$P_0(u)$ - probabilidade de ocorrência de tensões iguais ou inferiores a U

$P_d(u)$ - probabilidade de ocorrência de flashover

d - distância do gap
FGAP - fator de gap
 ΔU - incremento de sobretensão
m - número de torres
 $P_{d_m}(U)$ - probabilidade do isolamento falhar para m gaps em paralelo
 R_m - risco de falha
Risco total - risco de falha considerando todas as condições atmosféricas
FREQL - frequência de ocorrência de determinado RIS
Risco total final - risco de falha considerando todas as condições atmosféricas e todas as situações de ângulos de balanço
FREQ2 - frequência de ocorrência de determinado ângulo de balanço
 R_{Linha} - Risco de falha total da linha
a - coeficiente angular da reta
h - coeficiente linear da reta
RCOR - raio considerado energizado (devido ao efeito corona)
ESP - comprimento do espaçador
OLHAL - comprimento do olhal
NI - número de isoladores

INTRODUÇÃO

O aumento dos níveis de tensão, ditado pelo crescente aumento de blocos de potência a transportar, acarretou um custo cada vez maior num projeto de linhas de transmissão. Os métodos convencionais de projeto tornam-se ineficientes diante destas novas circunstâncias, o que levou ao aparecimento do método probabilístico de coordenação de isolamento.

Para os níveis de tensão até 400kV⁽¹⁾, os surtos atmosféricos é que dimensionavam a configuração da torre. Acima desta tensão, os surtos de manobra passaram a exigir mais do isolamento e a coordenação convencional superdimensionava o isolamento.

Tornou-se, então, necessário explorar a característica probabilística da ocorrência de determinados surtos de manobra bem como a natureza probabilística de ocorrência da descarga disruptiva no isolamento para estas sobretensões. Desta forma, o método probabilístico de coordenação de isolamento em sistemas elétricos foi definido. Tal método pode ainda ser aplicado às linhas existentes, no sentido de reestudar um possível aumento de sua tensão de operação, já que tal linha poderá ter o seu isolamento superdimensionado. Este método probabilístico de coordenação quanto a surtos de manobra é aplicado a isolamentos auto-restauráveis, ou seja, aqueles que possuem a propriedade de recuperação da rigidez dielétrica após a ocorrência de uma descarga disruptiva. Em suma, este método fornece o isolamento necessário sem, contudo, superdimensioná-lo, já que se explora as características probabilísticas do fenômeno.

As solicitações aos dielétricos constituem-se na tensão operativa e nas sobretensões. A tensão operativa é uma solicitação contínua e à qual não se aceita uma descarga no isolante. As sobretensões se caracterizam por uma duração transitória de tempo muito curto e para as quais se aceitam algumas descargas dentro de critérios previamente definidos.

As sobretensões podem classificar-se em:

- a) de origem externa - constituídas das descargas atmosféricas
- b) de origem interna - são as sobretensões resultantes de operações de disjuntores, que podem ser classificados em dois tipos:
 - b₁) Sobretensões de manobra (1 ou 2 ciclos

- 2 -
de 60Hz)

b2) Sobretensões temporárias (muitos ciclos de 60Hz)

Na figura 1 são apresentadas as formas de onda dessas sobretensões e suas respectivas simulações em laboratórios. ⁽²⁾

Algumas probabilidades envolvidas na operação de manobra da linha são apresentadas a seguir:

- Probabilidade de um isolador estar em uma determinada posição de vido à ação do vento
- probabilidade de certos efeitos meteorológicos (umidade, densidade relativa do ar e precipitação) resultarem em certos valores de descargas disruptivas nos isoladores e nas distâncias no ar (air gaps)
- probabilidade de determinado surto de manobra de certa magnitude acontecer
- probabilidade de num intervalo de ar (air gap) ou numa cadeia de isoladores acontecer um valor de descarga disruptiva (flashover) acima ou abaixo de seu valor crítico.

Consideradas todas estas probabilidades é possível através de um programa digital calcular o risco de falha de uma linha. É importante grifar aqui, a consideração da distribuição estatística de dados climatológicos que influenciam no "critical flashover". Consideraremos os valores horários dos parâmetros atmosféricos medidos por um certo período de tempo (10 anos, por exemplo).

Esta análise estatística capacita investigar várias configurações geométricas de torre, tornando possível escolher aquela que oferece o menor risco de falha.

Basicamente o problema está na grande quantidade de dados meteorológicos e a sua manipulação só é possível através de programa digital e, tal complexidade aumenta quando se considera vários caminhos de ocorrência de "flashover", de acordo com a geometria da torre e a variação do comprimento da cadeia, mesmo quando os caminhos de flashover são assumidos como sendo um fenômeno independente.

Nos próximos capítulos, será apresentada uma dissertação dos parâmetros considerados no programa, bem como o programa digital que calcula o risco de falha para uma linha de transmissão, com respectivo fluxograma e manual de utilização.

1.0 - MODELO METEOROLÓGICO

1.1 - INTRODUÇÃO TEÓRICA

Quando uma tensão é aplicada entre dois eletrodos, um campo elétrico se estabelecerá entre estes eletrodos. O gradiente de campo elétrico será função da magnitude da tensão aplicada e da forma da superfície do eletrodo. A tensão de ruptura de um "gap" é relacionada com este gradiente. Se o gradiente de campo elétrico excede a suportabilidade do ar, uma ionização ocorrerá (corona), isto é, átomos do ar vão desassociar-se formando eletrons livres e ions positivos. Grande quantidade destes pares ionizados irão agir como um caminho condutor e este condutor irá modificar o gradiente no ar não ionizado na vizinhança da descarga corona, ponto de partida para repetição do processo de ionização. Se a tensão é pouca coisa acima do nível do limite de corona, o processo é limitado e uma intensa luminosidade irá aparecer. Quando a tensão é bastante acima do limite de corona estes caminhos condutores, conhecidos como "streamers", propagam-se através do "gap" resultando na ruptura dielétrica.

Há ainda alguns aspectos a considerar quando a solicitação é ditada pelos surtos de manobra sem contudo penetrar na física do fenômeno.

- O "flashover" é estatístico por natureza ou seja, é impossível prever de maneira definitiva onde o corona será iniciado e em que direção exatamente o "streamer" irá começar a propagação.

- É difícil extrapolar dados de um determinado "gap" para associar a desempenho de outros "gaps" diferentes. Os testes em laboratórios são realizados independentemente para cada "gap", mas a fim de se fazer a associação com outros tipos "gaps" são considerados fatores de correção no que se refere à geometria e às condições meteorológicas.

- A polaridade da onda aplicada no "gap" pode influenciar a tensão de flashover do gap. Neste trabalho são considerados somente surtos de polaridade positiva, porque são aqueles que fornecem um menor CFO e, portanto, riscos de falha maiores.

O processo de ionização depende da pressão, temperatura e umidade, em suma, dos parâmetros meteorológicos, ou seja, a tensão de ruptura varia com as condições do tempo.

Basicamente são quatro os parâmetros meteorológicos que influenciam na suportabilidade do isolamento na ocorrência do flashover devido a sobretensão da manobra:

- Densidade relativa do ar (RAD) (3)
- Umidade (h)
- Vento
- Precipitação

Como num ensaio, uma determinada estrutura é testada em determinadas condições climatológicas, faz-se correções destes valores para as grandezas padrões.

Seria interessante dispor-se de um histórico de uma estação meteorológica, onde estivessem anotados vários anos de medidas horárias de dados climatológicos representativos de uma localidade por onde irá passar uma determinada linha de transmissão. Poderíamos então fazer com que esta distribuição estatística fosse o universo para o tempo útil da linha e que a linha então ficasse sujeita a todas as condições atmosféricas características daquela região.

Os dados sobre velocidade do vento são usados para computar os ângulos de balanço da cadeia de isoladores, este balanço fará variar as distâncias do condutor à estrutura, em última análise, o "critical flashover". Em suma, será considerado o universo de variação de ângulo de balanço para a vida útil da linha.

1.2 - MÉTODO DE ANÁLISE

Os resultados dos testes e ensaios em laboratórios, os vários anos de dados meteorológicos e o sistema de transmissão proposto constituem os principais dados do programa de desempenho do isolamento de linhas de transmissão quanto a surtos de manobra.

Na figura 2 é apresentado um fluxograma mostrando a estrutura do referido programa (CODIN I).

Este programa digital requer os seguintes dados de entrada:

- Distribuição do "Relative Insulation Strength"
- Distribuição dos ângulos de balanço das cadeias, devido à ação do vento
- Distribuição das sobretensões de manobra
- Distribuição das tensões suportáveis pelo isolamento nas condi-

- ções atmosféricas padrões
- Geometria da estrutura da torre

1.3 - DISTRIBUIÇÃO DO "RELATIVE INSULATION STRENGTH - RIS"

A influência estatística das condições do tempo na suportabilidade do isolamento quando submetido a surtos de manobra é representada pe la distribuição de frequências de ocorrência do RIS, computado a partir de medidas horárias sequenciais.

Para uma determinada região geográfica de interesse são obtidos os valores de variáveis climatológicas que afetam o isolamento. Estes dados podem ser obtidos no Ministério da Aeronáutica, por exemplo, que possui um histórico de medidas horárias ao longo de vários anos. A partir destes dados é calculado o RIS para cada hora observada.

Por exemplo, num período de 10 anos para uma estação temos 87600 va lores lidos e posteriormente processados.

1.3.1 - CÁLCULO DO "RIS"

O RIS é a razão da tensão suportável pelo isolamento em determinado momento, pela tensão nas condições atmosféricas padrões⁽⁴⁾, isto é, relaciona o "critical flashover" de um "gap" sob dadas condições de tempo com o "critical flashover" deste "gap" sob condições atmosféricas padrões.

Normalmente em laboratórios de EHV, os testes nas estruturas em estudo são realizados nas condições padrões de tempo, portanto, esta relação permite determinar a suportabilidade do "gap" para qualquer condição atmosférica.

As condições atmosféricas consideradas padrões são:⁽⁵⁾

	Norma ANSI	Norma IEC
Pressão barométrica	760mm Hg	760mm Hg
Temperatura	25°C (71°F)	20°C
Umidade absoluta	15 g/m ³	11 g/m ³

Ao variar, portanto, as condições atmosféricas, variam também, a suportabilidade de isolamento. Esta variação é calculada pela expressão empírica levantada nos laboratórios de EHV^{(6), (10)}.

$$V = V_{std} \left(\frac{RAD}{H} \right)^n$$

V = tensão de critical flashover em condições ambientes

std = tensão de critical flashover em condições padrões

RAD = densidade relativa do ar⁽⁸⁾

H_c = fator de correção devido a umidade⁽⁹⁾

n = expoente que depende do comprimento do gap⁽⁷⁾

A densidade relativa do ar é calculada por:

$$RAD = \frac{P \cdot T_0}{P_0 \cdot T}$$

P = pressão barométrica ambiente

P₀ = pressão barométrica padrão

T₀ = temperatura padrão em (°K)

T = temperatura ambiente em (°K)

Com valores padrões para a norma ANSI fica:

$$RAD = \frac{P (273 + 25)}{760 (273 + t)} = \frac{0,392 P \text{ (mm Hg)}}{273 + t \text{ (°C)}}$$

E, para a norma IEC:

$$RAD = \frac{P (273 + 20)}{760 (273 + t)} = \frac{0,386 P \text{ (mmHg)}}{273 + t \text{ (°C)}}$$

O fator de correção H é dado por⁽⁷⁾:

(1) H = 1 + 0,009(15 - h) - referido a norma ANSI

(2) H = 1 + 0,009(11 - h) - referido a norma IEC

Estas curvas (1) e (2) aparecem na figura 3, onde h é a umidade absoluta em (g/m³).

Cálculo do h

A partir dos dados medidos nas estações meteorológicas, a temperatura do bulbo seco (t) e a temperatura do bulbo úmido (t'), obtêm-se através da fórmula psicométrica de Ferrel a pressão de vapor em pol Hg (VP)⁽¹¹⁾.

$$VP = e' - 0,000367 P (t - t') \left(1 + \frac{t' - 32}{1571}\right), \text{ onde:}$$

P - pressão barométrica (pol Hg) medida no psicômetro

e' - pressão do vapor d'água saturado em (pol Hg)⁽¹²⁾ relativo à temperatura t' do bulbo úmido (retirado do ASHRAE Guide and Data Book, 1963)

A umidade absoluta (h) e a pressão de vapor (VP) a 20°C são relacionados pela seguinte expressão:

$$h = 25 VP \text{ (h em g/m}^3\text{; VP em pol Hg) Vide Apêndice I}$$

O RIS é, então, calculado para cada medida horária e definido por:

$RIS = KH \times KD \times KP$, onde:

$KH = RAD^n$ = fator de correção da densidade relativa do ar

$KD = (1/H)^n$ = fator de correção da umidade

$KP = 1.0$ = fator de correção da precipitação

Em geral, como o efeito da chuva não é significativo na redução do "critical flashover", mesmo porque ocorre em percentuais muito pequenos do tempo, despreza-se seu efeito quando comparado aos da umidade e da densidade relativa do ar, sempre presentes. O fator $KP = 1.0$ representa uma precipitação nula (14, 6).

O expoente n é obtido da figura 4 em função do comprimento do gap (6,7). Em algumas investigações foi notado que o efeito da densidade do ar e da umidade nos surtos de manobra variam com a distância de flashover (8, 9, 13).

1.3.2 - ALGUMAS CONSIDERAÇÕES SOBRE OS PARÂMETROS METEOROLÓGICOS

A influência no "flashover" da densidade relativa do ar e da umidade são as mais importantes e bem definidas. A precipitação como foi dita, não é bem conhecida (6). A densidade relativa do ar influencia o processo de ionização do ar. Os eletrons acelerados neste campo estarão constantemente colidindo com outros átomos e não obterão energia cinética suficiente para ionizar algum átomo.

Então, conseqüentemente, quando a densidade do ar aumentar, o processo de ionização diminuirá, mesmo que a probabilidade de colisão aumente, resultando como efeito uma redução do CFO.

Outra relação importante foi observada entre o RAD e o VP (3), quando o VP é alto, o RAD tende ser baixo e vice-versa. A importância desta relação reside no fato que aumentando VP aumentará o CFO enquanto que, diminuindo o RAD, diminuirá o CFO. Em suma, estes efeitos tendem compensar-se um com o outro, o qual força a análise para o uso simultâneo de observações de pressão, temperatura e umidade e a combinação de todos estes dados irá produzir uma distribuição de RIS.

1.3.3 - HISTOGRAMA DO RIS

Esta enorme coleção de dados de RIS é analisada estatisticamente e um histograma típico é computado, como na figura 5, a qual mostra para melhor uso em computador, o histograma discretizado em intervalos.

los.

Associada a cada valor de RIS está uma frequência de ocorrência deste valor, chamada de FREQ1. Na figura 6 é apresentado um esquema computacional dos passos a serem seguidos para determinação deste histograma.

1.4 - DISTRIBUIÇÃO DOS ÂNGULOS DE BALANÇO DAS CADEIAS DEVIDO À AÇÃO DO VENTO

O ângulo de balanço de uma cadeia livre (em I) de isoladores é calculado a partir de medidas horárias observadas das velocidades instantâneas de vento de uma determinada estação meteorológica. A relação entre o ângulo de balanço e velocidade do vento é baseada nos dados empíricos levantados no teste de Hornisgrinde^(6, 16, 17).

Os ângulos de balanço também são calculados a partir da relação vão horizontal/vão vertical e diâmetro/massa do condutor (Apêndice II).

1.4.1 - O TESTE DE HORNISGRINDE

O cálculo da magnitude e frequência de ocorrência do ângulo de balanço (θ) de uma cadeia de isoladores livre, requer informação de estatística de vento e de magnitude de ângulo de balanço em função da velocidade do vento.

O ângulo de balanço, em função da velocidade do vento normal à linha é derivada dos resultados do projeto de Hornisgrinde. A distribuição estatística da velocidade do vento é constituída a partir de leituras horárias medidas em estações meteorológicas.

No teste realizado em Schwarzwald, Alemanha, foram considerados 3 vãos no topo de uma colina na direção Norte-Sul, aproximadamente. Somente ângulos de balanço causados por ventos horizontais foram considerados e o condutor testado foi o 477MCM Hawk com "bundles" de até 4 subcondutores. A velocidade instantânea do vento foi medida no topo da torre a uma altura de 36 metros. A altura média do condutor simples acima do solo é de 24 metros. O teste considerou a razão entre o vão horizontal/vão vertical (V/H) de 0.7 para ângulos de balanços pequenos.

Os resultados do teste de Hornisgrinde, ângulos de balanço em função da velocidade do vento normal a linha, para condutor simples são encontrados na figura 7⁽⁶⁾. Estes dados não foram corrigidos

para altura acima do solo, nem para relação V/H .

Nota-se que na figura 7, para um mesmo ângulo de balanço ocorreram várias velocidades, fato que mostra a forma aleatória do fenômeno. Na figura 8 são apresentados os histogramas para ângulos de 15° , 16° , 17° e 18° , onde os valores médios são levantados, correspondendo aos valores com 50% de probabilidade de ocorrerem aqueles ângulos. A figura 8 mostra, também, a curva que une estes valores médios. Esta mesma curva é apresentada na figura 7 e representa o ângulo de balanço em função da velocidade média.

A figura 9 mostra o ângulo de balanço como função da velocidade média do vento ao longo do vão (vento normal à linha) para diversos cabos e razões V/H , ou seja, para valores diferentes de K (vide Apêndice II).

É interessante mencionar algumas observações provenientes deste teste com objetivo puro e simples de se obter maior sentimento de valores:

- A figura 9 é baseada em vãos de 300m o que significa que para vãos maiores podem ter ângulos de balanço ligeiramente mais baixos, o contrário acontecendo para vãos menores. O teste assegura que a diferença não é provavelmente significativa para vãos maiores do que 150m.
- O vento que atravessa a região onde foi realizado o teste é provavelmente mais uniforme e tem grandes frentes de rajadas de intensa duração do que outra região, o que leva a concluir que a figura 9 fornece valores conservativos.
- Quanto aos condutores geminados mostrou uma significativa redução no ângulo de balanço, todavia, foi constatado que os resultados de veriam ser sensíveis ao desenho, à distância entre condutores e às características do condutor. Na falta de maiores informações, os condutores geminados são usados neste programa de forma conservadora como tendo o mesmo ângulo de balanço que os condutores simples.

1.4.2 - DISTRIBUIÇÃO DA VELOCIDADE DO VENTO

A velocidade do vento lida numa estação meteorológica é chamada "velocidade de um-minuto", pois é suposta como sendo a média mental efetuada pelo observador enquanto olha o ponteiro indicador de velocidade. Para o cálculo dos ângulos de balanço, esta velocidade do ven

to medida de hora em hora é interpretada como "média de um-minuto".

Para o levantamento do histograma dos ângulos de balanço na linha é necessário determinar as frequências dos ventos máximos de um-minuto que ocorrem na linha, sendo esta uma condição mais severa do que a distribuição dos ventos de um-minuto em uma determinada estação. Isto significa uma correção da velocidade medida numa estação para a velocidade medida na linha.

O vento máximo de um-minuto dentro de um raio de 32km da estação meteorológica é 10% maior que o vento observado na estação⁽⁶⁾. Todos os ventos são assumidos como sendo normal à linha, portanto, o programa não leva em consideração o ângulo entre a direção da linha e a direção do vento (azimute). Na figura 10 é apresentado o histograma dos ventos máximos de "um-minuto".

Correção devido à altura

A velocidade do vento varia com a altura e sua correção é dada pela expressão:

$$V_1 = V_0 \left(\frac{h_1}{h_0} \right)^\alpha$$

V_1 - velocidade do vento na altura do condutor h_1

Obs.: usa-se a altura média do condutor

V_0 - velocidade medida na estação meteorológica na altura h_0

α - grau de rugosidade do terreno (RUG)⁽²⁰⁾

RUGOSIDADE	α	GRAU DE RUGOSIDADE
Alta	0.1429	1
Média	0.0909	2
Baixa	0.0667	3

1.4.3 - CONSTRUÇÃO DO HISTOGRAMA DA DISTRIBUIÇÃO DOS ÂNGULOS DE BALANÇO

A partir do histograma dos ventos máximos de "um-minuto", obtém-se a distribuição dos ângulos de balanço associando a frequência de ocorrência de vento à frequência de ângulo de balanço através da relação indicada pelo Teste de Hornisgrinde (ângulos de balanço em função da velocidade média do vento no vão; Figura 9⁽²¹⁾). O histograma dos ângulos de balanço é apresentado na figura 11.

A distribuição então obtida, descreve a estatística dos ângulos de balanço máximos na linha, e não o ângulo de balanço numa estação es

pecífica.

No programa, esta relação é expressa através da equação abaixo que define as curvas da figura 9 (dedução no Apêndice II):

$$\theta = \arctg (k \times K \times 0.05832 \times V^2)$$

Onde:

$$K = \frac{D}{W} \cdot \frac{H}{V}$$

D - diâmetro do condutor (polegadas)

W - peso por unidade de comprimento do condutor (lb/ft)

V/H - relação vão vertical/vão horizontal. É uma quantidade estatística e é assumido um valor constante para toda a linha. O vão horizontal é a distância entre os pontos centrais nos vãos adjacentes e, o vão vertical é a distância entre as flechas máximas nos vãos adjacentes (Figura 12)

V - velocidade do vento (m/s)

k - fator de efetividade do vento

Os valores de fatores de efetividade foram medidos em testes realizados em linhas de transmissão^(18,19), mas para se ter um lugar comum com o teste de Hornisgrinde, o fator k foi ajustado de modo a satisfazer os resultados provenientes do teste (Apêndice II). Vide figura 13.

Considerações sobre o terreno

Baseado na experiência, a linha atravessa um número bastante grande de vales ao longo de sua faixa de passagem. É, portanto, provável que ângulos de balanço maiores ocorrerão nestes trechos. Baseado nesta consideração, o programa considera mais 10% de aumento no ângulo de balanço para uma dada velocidade. Note que a figura 11 já leva em conta esta consideração.

Na figura 14 é apresentado um esquema computacional relativo ao cálculo do histograma de ângulos de balanço.

CAPÍTULO II

2.0 - REPRESENTAÇÃO DOS SURTOS DE MANOBRA (SOLICITAÇÃO) E DAS TENSÕES SUPORTÁVEIS (SUPORTABILIDADE)

2.1 - DISTRIBUIÇÃO NORMAL DAS SOBRETENSÕES

A distribuição da magnitude do surto de manobra é um valor estatístico que é associado no programa a uma curva normal (Curva de Gauss) (23).

A partir do Analisador de Transitórios (Transient Network Analyser-TNA) ou de um programa digital trifásico de cálculo de surtos é gerada aleatoriamente uma distribuição de surtos de manobra para os vários tipos de operação de chaveamento. Esta distribuição é obtida em forma de um histograma de ocorrência destes surtos. O uso de uma distribuição contínua (curva de Gauss) em vez deste histograma no cálculo do risco de falha leva a erros da ordem de 0.5%. O que mostra que o erro da distribuição normal é perfeitamente aceitável. Todavia, uma aproximação mais desejável seria a curva normal truncada, isto significa que este tipo de distribuição deve concordar mais precisamente com os histogramas reais nas faixas mais baixas de probabilidade. Além disso, muitas distribuições de vários sistemas estudados tendem a encontrar uma distribuição Gaussiana truncada nos valores mais altos.

2.1.1 - EFEITO DO PONTO DE TRUNCAMENTO DA DISTRIBUIÇÃO DE SOLICITAÇÃO

É interessante realizar uma análise de sensibilidade para cálculo do risco de falha com a variação da posição deste ponto de truncamento. Admite-se, portanto, que a sobretensão máxima é dada por:

$$U_{M\acute{A}X} = U_{50\%} (1 + t\sigma_0)$$

σ_0 - desvio padrão em % de $U_{50\%}$

t - variável padronizada

Nota-se, a priori, que o risco é diretamente proporcional a t . Além do mais, o processo de integração numérica do cálculo do risco de falha exige um ponto de truncamento que deverá ser algumas vezes σ_0 acima da média.

As distribuições probabilísticas dos surtos de manobra provenientes do TNA (ou programa digital) são geralmente devidas a dois tipos de operação: energização e religamento, com disjuntores que podem conter ou não resistores de pré-inserção.

Os valores da amostragem estatística dos surtos de manobra são manipulados pelo programa CODIN I de acordo com a base da tensão do TNA e são levantadas a média, desvio padrão e os valores máximos e mínimos e associados, então, a uma curva normal.

A figura 15 mostra distribuições típicas de sobretensões.

Uma tabela com valores típicos de sobretensões para cada tipo de operação de disjuntor é apresentada abaixo.

Operação	Faixa típica de distribuição de surtos
Religamento de alta velocidade sem resistor de pré-inserção	2.8 - 4 p.u.
Religamento de alta velocidade com resistor de pré-inserção	1.8 - 2.8 p.u.
Energização sem resistor de pré-inserção	2.0 - 2.8 p.u.
Energização com resistor de pré-inserção	1.5 - 2.2 p.u.

A curva normal que caracteriza a distribuição de surtos de manobra é dada pela expressão:

$$p_0(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_0} e^{-(u - \bar{u})^2 / 2\sigma_0^2}$$

$$\bar{u} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n u_i$$

$$\sigma_0 = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (u_i - \bar{u})^2 \right]^{1/2}$$

Onde:

$p_0(u)$ - função densidade de probabilidades de ocorrência da sobretensão

u_i - sobretensões em p.u.

$\bar{u}$ - valor médio das sobretensões

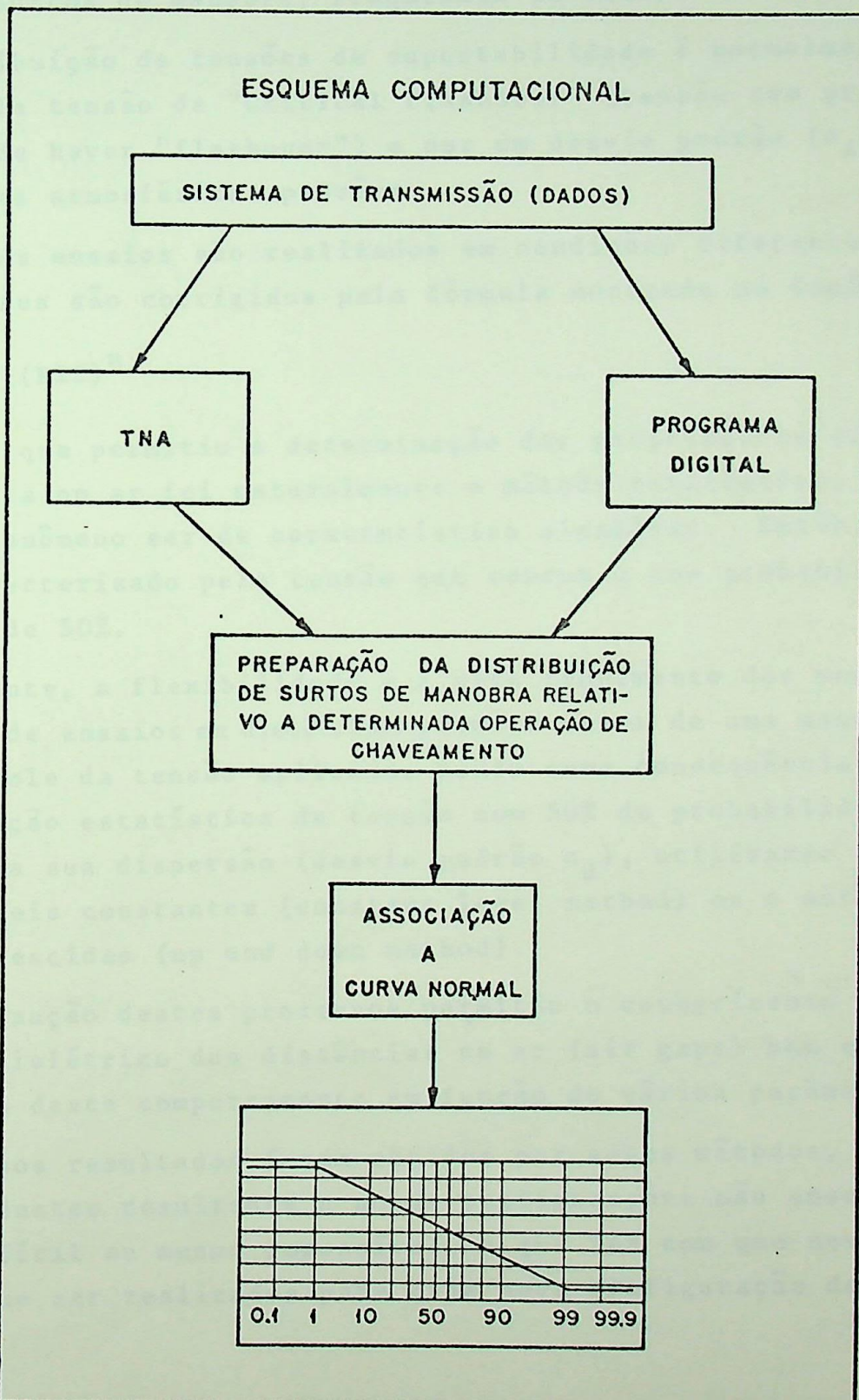
σ_0 - desvio padrão da distribuição normal de probabilidades de ocorrência das sobretensões.

A função de distribuição acumulada da curva normal é:

$$P_0(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_0} \int_{-\infty}^u e^{-(u - \bar{u})^2 / 2\sigma_0^2} du$$

$P_0(u)$ - é a probabilidade de determinada sobretensão u não ser excedida

No cálculo do risco de falha é levado em consideração a curva $P_0(u)$



2.2 - DISTRIBUIÇÃO DAS TENSÕES SUPORTÁVEIS PELO ISOLAMENTO

A suportabilidade do isolamento de uma cadeia de isoladores ou das distâncias em ar é descrita como uma distribuição de tensões suportáveis pelo isolamento, associada a uma probabilidade de haver flashover. Distribuições estas, levantadas a partir de testes realizados em modelos reais de torres, em laboratórios de EAT e UAT.

A suportabilidade é, então, de natureza estatística e avaliada em laboratório, para diferentes tipos de solicitações (surtos atmosféricos, surtos de manobra, frequência de 60Hz).

A distribuição de tensões de suportabilidade é normalmente representada pela tensão de "Critical Flashover" (tensão com probabilidade de 50% de haver "flashover") e por um desvio padrão (σ_d), para as condições atmosféricas padrões.

Quando os ensaios são realizados em condições diferentes das padrões, os valores são corrigidos pela fórmula mostrada no Capítulo I.

$$V = V_s (RIS)^n$$

O passo que permitiu a determinação das propriedades disruptivas da distância no ar foi naturalmente o método estatístico, em virtude deste fenômeno ser de característica aleatória. Então, um gap pode ser caracterizado pela tensão que conduz a uma probabilidade de disrupção de 50%.

Atualmente, a flexibilidade e o alto rendimento dos modernos equipamentos de ensaios em dielétricos permite fazer de uma maneira precisa o controle da tensão aplicada, tendo como consequência, a fácil determinação estatística da tensão com 50% de probabilidade de disrupção e da sua dispersão (desvio padrão σ_d), utilizando ou o método dos níveis constantes (constant level method) ou o método das subidas e descidas (up and down method).

A utilização destes processos permitiu o conhecimento do comportamento dielétrico das distâncias no ar (air gaps) bem como a quantificação deste comportamento em função de vários parâmetros.

Numerosos resultados foram obtidos por estes métodos, mas a extrapolação destes resultados a novas configurações não ensaiadas parece ser difícil ou mesmo impossível, o que faz com que novos ensaios tenham que ser realizados para cada nova configuração dos "gaps".

2.2.1 - DETERMINAÇÃO DA TENSÃO COM 50% DE PROBABILIDADE DE DISRUPÇÃO E DO DESVIO PADRÃO

Chama-se P a probabilidade de observar a disrupção quando da realização de um ensaio dielétrico sobre uma distância no ar. Esta probabilidade é uma função do esforço aplicado (u) que neste caso é representado pela tensão aplicada ao gap.

O problema consiste em, a partir de resultados de várias séries de ensaios, estimar o valor de $P(u)$. Para isso, dá-se uma forma matemática à função $P(u)$, dependente de um ou mais parâmetros e ajustam-se os valores destes parâmetros aos resultados experimentais. Ao mesmo tempo, verifica-se se a forma escolhida para $P(u)$ representa bem os resultados obtidos. Na prática toma-se geralmente para $P(u)$ uma lei de Gauss (normal) expressa pela relação:

$$P(u) = \frac{1}{\sigma_d \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{u - CFO}{\sigma_d} \right)^2 \right] du$$

onde, CFO é o valor da tensão para o qual a probabilidade de disrupção é igual a 0,5 ($u_{d_{50}}$) e σ_d é o desvio padrão da lei $P(u)$.

Os métodos já mencionados para determinação do CFO e de σ_d são:

- método dos níveis constantes ou de interpolação
- método das subidas e descidas (up and down method)

É difícil obter de um teste simples um valor confiável de desvio padrão com uma limitada quantidade de tensões aplicadas. Seu valor depende da forma de onda, polaridade, geometria e condições do tempo. Para gaps não uniformes e forma de onda de tempo de crista crítico, o valor médio gira em torno de 4 a 5% do CFO , independente do nível de tensão. Mesmo se CFO e σ_d são determinados precisamente, o seu valor flutua por razões desconhecidas⁽⁶⁾.

2.2.2 - CURVAS OBTIDAS EM LABORATÓRIOS DE EHV

O isolamento numa torre é de natureza bastante complexa tanto no que diz respeito às fases exteriores como à fase central. Os arcos originados nos condutores ou nos anéis de guarda podem atingir uma das estruturas (cruzeta ou partes laterais) quer diretamente pelo ar, quer contornando as cadeias de isoladores. O comprimento das cadeias de isoladores e o comprimento da menor distância à estrutura são parâme

tros que determinam a tensão disruptiva de uma torre.

Números resultados de ensaios para configurações com cadeias de isoladores em V, em I e configurações independentes de condutor-estrutura estão atualmente disponíveis.

- Resultados dos testes com cadeia em V para a configuração condutor-janela (fase interna) e para as fases externas - projeto EHV-EPRI⁽⁶⁾.

O gap condutor-janela de uma torre é o mais importante para o projeto da torre porque é o mais fraco. No projeto EHV-EPRI⁽⁶⁾ foi levantada a curva, figura 16, que mostra o CFO em função da menor distância do condutor a estrutura para a faixa de EHV-UHV^(24,46). Estas curvas representam os valores críticos de polaridade positiva de CFO. As figuras 17(a) e 17(b) mostram as torres testadas no projeto EHV-UHV.

Os gaps das fases externas mostraram ser mais resistentes, aproximadamente 6%, quando comparados à janela, para espaçamentos menores que 5m (figura 16). Os testes realizados pelo projeto EHV-UHV consideraram as configurações da fase central (janela) e as configurações da fase externa como uma configuração total, não como uma coleção de gaps separados.

O programa CODIN I considera estas duas curvas para a fase central e externa, a fim de se obter o CFO para configuração inteira testada.

- Correção da espessura da torre

Um dos parâmetros que influenciam a suportabilidade do surto de manobra nos gaps das torres é a espessura da estrutura. Quando as torres tornam-se largas, a suportabilidade decresce. No projeto EHV-EPRI (figura 16) foi testada uma configuração específica onde, a torre tem a espessura de 1,2m. O programa CODIN I corrige este valor de "Critical Flashover" para qualquer espessura a ser testada.

O modo prático e usual para fazer tais correções na curva da figura 16 é definir uma série de parâmetros padrões para o gap em questão; obter o critical flashover versus a distância principal da curva para as condições padrões e, com curvas auxiliares de correção ou fórmulas as quais descrevem como a suportabilidade pode ser corrigida para os parâmetros padrões e como estes fatores de correção variam dentro de certas faixas, pode-se ter qualquer configuração simulada

em qualquer circunstância.

A curva de CFO apresentada tanto para a fase central como para as fases exteriores foram levantadas nas seguintes condições padrões⁽⁶⁾:

Parâmetro	Padrão
Geometria	
a) altura	18 - 20m
b) espessura da torre	1.2m
c) forma da janela	quadrada
d) janela e fase externa	Cadeia em V
Elétrico	
a) forma de onda	crítica
Meteorológico	
a) chuva	seco
b) RAD	1.00
c) Umidade relativa	15g/m ³

O projeto EHV-UHV a partir de vários testes realizados na configuração condutor-perna de torre levantou a curva da figura 18. Nesta figura, o fator de correção da espessura é indicado como função da razão da espessura da torre e distância do gap (W/D). Quando este fator de correção é multiplicado pela distância do gap para a curva padrão ($W/D = 0.2$), fornece a mudança na distância do gap requerida para qualquer outra razão $\frac{W}{D}$ para se obter o mesmo CFO. Para corrigir a distância testada para o espaçamento padrão ($\frac{W}{D} = 0.2$), a distância é dividida pelos fatores da figura 18.

A curva da figura 16 foi obtida com testes efetuados numa configuração de torre onde a espessura é de 1.2 metros.

A partir da figura 18 é possível determinar uma curva padrão $W/D=0.2$ a qual poderá ser estendida a qualquer espessura de torre.

FIGURA 16		FIGURA 18		FIGURA 19	
D	CFO	W/D	FC	$D_{corr} = D/FC$	CFO
5.0	1553.8	0.24	1.03	4.84	1553.8
6.0	1736.8	0.20	1.00	6.00	1736.8
7.0	1889.1	0.17	0.97	7.25	1889.1
8.0	2015.4	0.15	0.94	8.51	2015.4
9.0	2120.7	0.13	0.91	9.89	2120.7
10.0	2210.0	0.12	0.89	11.29	2210.0

Conclui-se que a curva da figura 16 é transformada na da figura 19 que é caracterizada pelas condições padrões de $\frac{W}{D} = 0.2$ e associado o mesmo "critical flashover" do teste realizado.

O cálculo do CFO para qualquer espessura de torre é realizado a partir da curva $\frac{W}{D} = 0.2$

Exemplo: $W = 2.3m$

$D = 4.8m$

Procedimento:

$\frac{W}{D} = \frac{2.3}{4.8} = 0.48$ (na curva da figura 18, retira-se o fator de correção $f.c=1.16$)

Nova distância relativa = $\frac{4.8m}{1.16} = 4.14m$

Com esta distância na figura 19, obtém-se o CFO (1490kV).

Esta correção para espessura é válida para distâncias numa faixa de 4 a 12 metros.

O uso do fator de correção para a distância é muito simples para correção da espessura da torre, uma vez que o CFO permanece fixo por requisitos de projeto e a razão da variação na distância do gap pela variação da espessura da torre é diretamente determinada da figura 18.

Na figura 18, o fator de correção muda rapidamente quando a espessura (W) é reduzida, mas satura para um valor finito para W, aproximando de zero.

A curva da figura 18 foi obtida somente para uma configuração específica de torre (condutor-perna da torre) e pode ser aplicada como uma primeira aproximação para outras configurações (condutor-janela, fases externas).

- Teste de configurações independentes

A análise da influência de diferentes formas de eletrodos no comportamento dos "air gaps" para sobretensões de manobra foi investigado por Paris (25, 26), onde, a partir de vários resultados experimentais em laboratórios com cadeia de isoladores e "air gaps", chegou à fórmula semi-empírica:

$$V_{50\%} = k \cdot 500 \cdot d^{0.6}$$

onde:

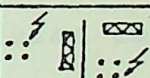
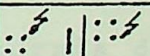
$V_{50\%}$ - é o valor 50% de descarga para manobra de polaridade positiva a seco (kV)

d - distância do gap (m) (2 a 8m). Resultados recentes⁽²⁷⁾ mostram a validade desta fórmula até as distâncias de aproximadamente 13 metros.

k - fator que depende do tipo de gap (FGAP)

A expressão acima em função da distância é para uma única forma de onda (120/4000 μ s).

Na tabela 1 são apresentados os valores de k para diversas configurações testadas.

TIPO DE GAP		FATOR K	
		S/ CAD	C/ CAD
Haste - plano		1.0	1.0
Haste - estrutura (abaixo)		1.05	
Condutor plano		1.15	
Condutor - janela		1.20	1.15
Condutor - estrutura (abaixo)		1.30	
Haste haste (H=3 m abaixo)		1.30	
Condutor estrutura (acima ater.)		1.35	1.30
Haste haste (H=6 m abaixo)		1.40	1.30
Condutor-estaís		1.40	
Condutor-braço torre		1.55	1.50
Condutor - haste (H=3 m abaixo)		1.65	
Condutor - haste (H=6 m abaixo)		1.90	
Condutor - haste (acima)		1.9	1.75

Paris mostrou que a suportabilidade de isolamento do air gap é levemente reduzida quando são inseridos isoladores nos air gaps, nestes testes a influência da cadeia é a mesma seja ela em V ou I, desde que com grande número de isoladores.

São apresentadas nas figuras 20 e 21 algumas curvas dos valores de $V_{50\%}$ em função da distância para os vários tipos de gap. Outras curvas mais detalhadas são apresentadas na referência 26.

Há dúvidas quanto à validade da fórmula apresentada por Paris quando aplicada a distâncias em U.A.T. Além do mais, a expressão proposta não leva em consideração as formas de onda críticas, surgindo então, uma outra expressão, proposta por G. Gallet^(28,29), para o cálculo da tensão de disrupção, aplicável para distâncias entre os eletrodos de até 29 metros.

$$(V_{50})_{crit.} = k. \frac{3400}{1 + \frac{8}{d}} \quad (kV)$$

$$k - \text{fator de gap} = \frac{U_{50}}{U_{50}} \quad \begin{array}{l} \text{crítico da estrutura} \\ \text{crítico do intervalo ponta-plano} \end{array}$$

$$k = 1 + 0.6 \frac{h}{h + d} \quad \begin{array}{l} h - \text{altura do eletrodo (-) acima do solo} \\ d - \text{distância entre eletrodos} \end{array}$$

A escolha do fator de gap é um problema difícil, mas Paris propôs uma coleção de valores (tabela anterior), os quais têm sido completados por ensaios em diferentes laboratórios. Mas, qualquer modificação na geometria do teste em objeto, pode mudar o fator de gap e os valores de k devem ser cuidadosamente selecionados. Por exemplo, uma configuração janela para tensões na faixa de 420/1300kV pode ter valores de k tão baixos quanto 1.1 (ou seja, 10% menos do que o proposto por Paris).

Convém observar que a fórmula proposta por Paris pode então ser utilizada tanto para cadeias em V quanto para cadeias em I.

Como o programa CODIN I considera a ação do vento, faz-se, então, necessário o uso da fórmula de Paris, no caso da cadeia em I uma vez que as distâncias do condutor às partes estruturais da torre modificam-se de acordo com o ângulo de balanço da cadeia.

No projeto EHV-EPRI a curva levantada só é válida para cadeias em V, onde não há ação do vento.

Uma vez estudado os gaps de maneira independente é necessário agora compô-los de modo a obter-se o "critical flashover" da configuração completa.

2.2.3 - COMPOSIÇÃO DE GAPS INDEPENDENTES

Uma vez levantadas as distâncias do condutor às partes da estrutura da torre, ou seja, gaps independentes definidos e, conseqüentemente o "critical flashover" (fórmula de Paris) é necessário conhecer a probabilidade total de falha do isolamento para o gap composto.

Supondo, então, uma independência completa em todos os caminhos para a descarga, a probabilidade de falha total é dada por:

$$P_{\text{global}} = 1 - (1 - P_1) (1 - P_2) (1 - P_3) \dots (1 - P_n)$$

P_{global} = probabilidade global de falha no gap composto (conjunto)

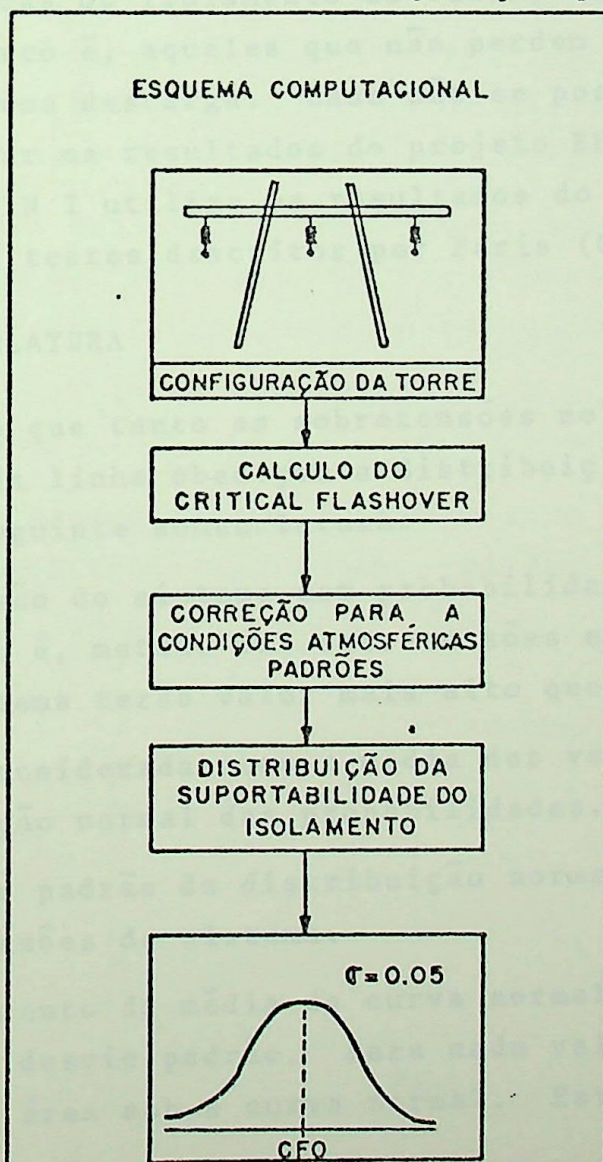
P_i = probabilidade de falha no i ésimo gap

$1 - P_i$ = probabilidade de não haver falha no i ésimo gap

A probabilidade global acima é definida em função da necessidade de se considerar os diferentes caminhos de descarga em paralelo⁽²⁹⁾.

O que se faz realmente é determinar o "critical flashover" equivalente da configuração total (vide Apêndice III).

Pelo Apêndice III conclui-se que a curva resultante da composição não é uma curva normal, daí tornar-se impossível seu uso no cálculo do risco de falha, já que a rotina deste cálculo é baseada em curvas normais. No próximo capítulo será mostrado como resolver este problema sem contudo fazer a composição para determinar o CFO.



CAPÍTULO III

3.0 - O RISCO DE FALHA

Neste capítulo será apresentado o processo estatístico que permite o cálculo do risco de falha de uma linha de transmissão devido a uma sobretensão de manobra no sistema. Para isto, é necessário que se conheça com precisão a distribuição amostral das sobretensões (item 2.1) na linha em estudo e a distribuição amostral das tensões suportáveis pelo isolamento desta linha (item 2.2).

Como já foi dito anteriormente, ou através de modernos programas digitais para cálculo de sobretensões ou com o Analisador de Transitórios (TNA), é possível obter a distribuição estatística das sobretensões esperadas no sistema para um determinado acontecimento, seja, energização de linha, religamento etc. (31, 32).

Através de testes em laboratórios de EHV podem ser determinadas as características do isolamento da linha, suposto ser do tipo auto-recuperante, isto é, aqueles que não perdem suas propriedades dielétricas após uma descarga. Caso não se possuam estas informações, poderemos usar os resultados do projeto EHV-EPRI ou similares; o programa CODIN I utiliza os resultados do projeto EHV-EPRI e os resultados dos testes descritos por Paris (CESI).

3.1 - NOMENCLATURA

Admitindo-se que tanto as sobretensões no sistema, como a rigidez dielétrica da linha obedeçam a distribuição normal (Gauss) estabeleceremos a seguinte nomenclatura:

$U_{0.50}$ - tensão do sistema com probabilidade de 50% de ser excedida, isto é, metade das sobretensões esperadas de ocorrerem no sistema terão valor mais alto que $U_{0.50}$

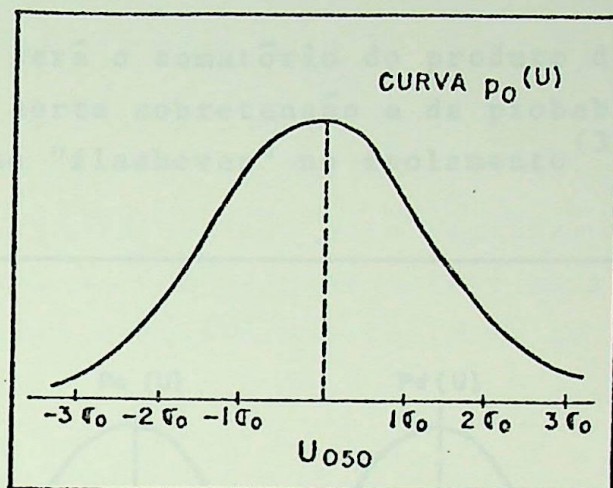
É considerada como a média dos valores esperados na distribuição normal das probabilidades.

σ_0 - desvio padrão da distribuição normal de probabilidades das sobretensões do sistema.

t_0 - afastamento da média da curva normal reduzida medido em unidades do desvio padrão. Para cada valor de t_0 corresponde um valor de área sob a curva normal. Estas áreas representam as pro

babilidades de ocorrência das sobretensões que não excedem determinado valor t_0 .

$$t_0 = \frac{U_0 - U_{050}}{\sigma_0} \quad (\text{parâmetro normalizado})$$

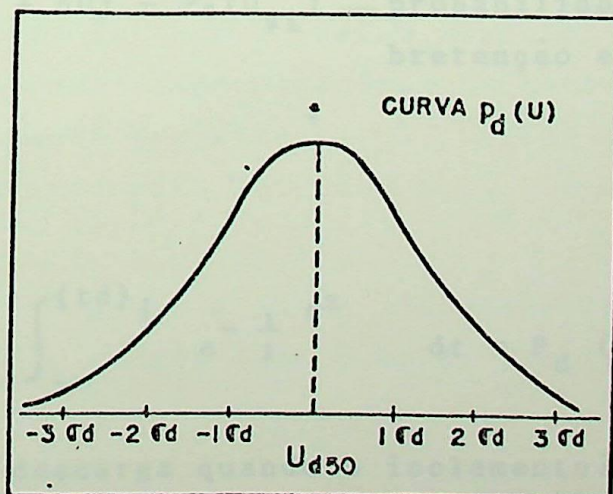


$P_0(u)$ - probabilidades de ocorrência de tensões iguais ou inferiores à tensão U. Função de distribuição acumulada de probabilidade de ocorrência de sobretensão

U_{d50} - tensão que o isolamento suporta com a probabilidade de 50% de haver "flashover". Este valor é conhecido como "critical flashover" (CFO), numa determinada condição atmosférica.

σ_d - desvio padrão da distribuição normal das tensões suportáveis pelo isolamento

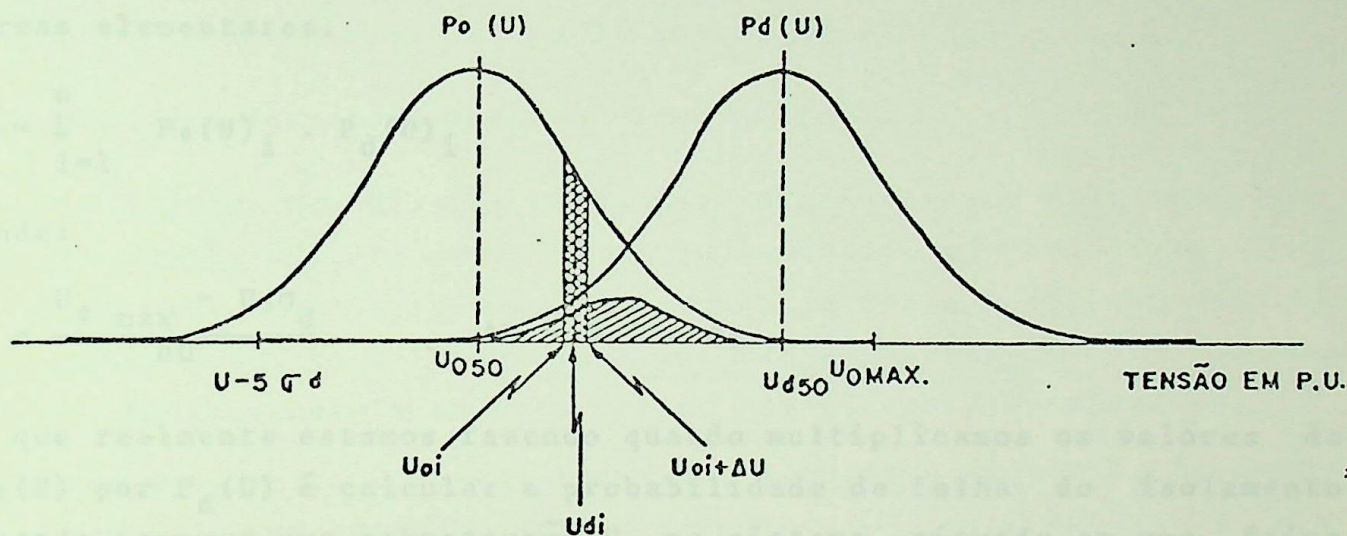
t_d - parâmetro que mostra o afastamento da média da curva normal da suportabilidade medido em unidades do desvio padrão (σ_d)



$P_d(u)$ - probabilidade de que haja "flashover" no isolamento quando submetido a tensões iguais ou inferiores ao valor U . Função de distribuição acumulada de probabilidade de ocorrer "flashover" no isolamento.

3.2 - CÁLCULO DO RISCO DE FALHA

O risco de falha será o somatório do produto da probabilidade de ocorrência de uma certa sobretensão e da probabilidade que esta sobretensão provoque "flashover" no isolamento (33, 34, 35).



$$P_0(U_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{t_{0i}}^{t_{0i} + \Delta t} e^{-\frac{1}{2} t^2} dt$$

$P_0(U_i) = P_0(U_{0i} + \Delta U) - P_0(U_{0i})$ — probabilidade de ocorrer uma sobretensão entre U_0 e $U_0 + \Delta U$

Onde,

$$t = \frac{U_i - U_{050}}{\sigma_0}$$

$$P_d(U)_i = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{(td)_i} e^{-\frac{1}{2} t^2} dt = P_d(U_{0i} + \frac{\Delta U}{2})$$

— Probabilidade de descarga quando o isolamento é sujeito a uma sobretensão

U_{d_i} (entre U_{0_i} e $U_{0_i} + \Delta U$)

Onde,

$$t = \frac{U_i - U_{d50}}{\sigma_d}$$

No apêndice IV é apresentado o método para o cálculo das probabilidades da curva de distribuição normal.

O produto $P_0(U)_i \cdot P_d(U)_i$ é o risco de falha do isolamento quando sujeito a uma sobretensão entre U_{0_i} e $U_{0_i} + \Delta U$.

O risco de falha total (R) é dado pela expressão abaixo e representa a área de intercessão sob as duas curvas normais. Esta área é calculada por processo numérico que consiste em sua decomposição em áreas elementares.

$$R = \sum_{i=1}^n P_0(U)_i \cdot P_d(U)_i$$

Onde:

$$n = \frac{U_{0 \text{ max}} - U_{5\sigma_d}}{\Delta U} \quad \Delta U = 0.1 \times \sigma_0$$

O que realmente estamos fazendo quando multiplicamos os valores de $P_0(U)$ por $P_d(U)$ é calcular a probabilidade de falha do isolamento quando ocorrer uma sobretensão U_0 no sistema, situada em uma faixa relativamente estreita isto é, entre dois valores de tensão bastante próximos um do outro. Para isto calculam-se duas grandezas distintas: a primeira, $P_0(U)$, que representa a probabilidade de ocorrência desta sobretensão nesta faixa e que pode ser representada pela área elementar sob a curva $P_0(U)$; e a segunda grandeza $P_d(U)$, que representa a probabilidade de falha do isolamento para um valor de tensão igual ou menor do que o limite superior do intervalo considerado, que está representado pela área hachurada na figura. R é então, a soma de todos os produtos $P_0(U) \cdot P_d(U)$ que formam o risco de falha para cada intervalo ΔU entre $U_{-5\sigma_d}$ e o $U_{0 \text{ max}}$ (Método Step by Step) (33, 34, 35, 36, 37).

O método de cálculo é passo a passo, de acréscimo ΔU em U partindo-se de um valor $U_{-5\sigma_d}$, quando este é maior que 1.0pu ou seja, a tensão nominal de operação da linha.

O valor de $U_{-5\sigma_d}$ foi escolhido por ser a probabilidade de flashover nesta tensão igual a 0.287×10^{-6} , ou seja, já suficientemente pequeno.

A tensão máxima admitida de possível ocorrência, pode ser escolhida como sendo t_0 unidades do desvio padrão. Normalmente neste caso, na curva de sobretensões é aconselhável truncar em $+3\sigma_0$ do valor médio. É o valor que normalmente corresponde a sobretensão máxima. Este ponto de truncamento é um dado fornecido ao programa e, depende da quantidade de manobras realizadas quando da utilização do TNA e do número de vezes que ocorreram tensões superiores à tensão máxima.

É aconselhável fazer uma análise de sensibilidade do risco de falha da linha em estudo com a variação do ponto de truncamento da curva de distribuição probabilística de surtos de manobra.

- Algumas considerações sobre o risco de falha

Deve-se lembrar que há três meios para diminuição da área calculada que representa o risco de falha do isolamento: ou desloca-se a curva $P_0(U)$ para a esquerda mantendo-se fixa a curva $P_d(U)$, ou desloca-se a curva $P_d(U)$ para direita mantendo-se a curva $P_0(U)$ fixa ou afastam-se simultaneamente as duas curvas nas direções mencionadas.

Deslocar a curva $P_0(U)$ para esquerda, significa baixar o nível das sobretensões ocorrentes no sistema, podendo isto ser conseguido com o uso de resistores de pré-inserção nos disjuntores ou pré determinando a sequência de fechamento e abertura dos disjuntores, qualquer uma destas soluções significando investimentos adicionais. Os reatores quando utilizados, também auxiliam na diminuição do nível de sobretensão. Deslocar a curva $P_d(U)$ para direita equivale a aumentar os níveis de tensão que o isolamento deve suportar sem haver "flashover", decorrendo daí um aumento das dimensões físicas das torres e isolamento, onerando o custo. Cabe aqui portanto uma decisão, caso seja conveniente diminuir a probabilidade de falha do isolamento.

3.3 - CONSIDERAÇÃO DE M GAPS EM PARALELO

Se a probabilidade do isolamento suportar uma dada sobretensão U_i para um "air gap" simples é W_i , a probabilidade de suportar para m gaps em paralelo é

$$W_m = \prod_{i=1}^m W_i$$

Se os "gaps" são igualmente solicitados ($V_i = V_j$) a equação fica:

$$W_m = (W_i)^m$$

Desde que a probabilidade de flashover possa ser expressa como função da probabilidade de suportar, tem-se que:

$$P_{di} = 1 - W_i$$

Se m "air gaps" que têm as mesmas características de flashover, consideradas independentes entre si, e se a probabilidade de flashover no i -ésimo gap é $P_{di}(U)$ quando a tensão U_i é aplicada no i -ésimo gap, então a probabilidade de flashover P , que significa que pelo menos um gap entre os m gaps pode possivelmente causar a ruptura é expressa por⁽³⁸⁾:

$$P = 1 - \prod_{i=1}^m [1 - P_{di}(U_i)]$$

No caso da tensão aplicada para cada gap ter a mesma forma de onda e magnitude U , isto é, assumindo distribuição linear do surto ao longo da linha, o que significa desprezar a atenuação e reflexão, a expressão assume a seguinte fórmula para a linha inteira^(5, 39):

$$P = 1 - [1 - P_{di}(U)]^m$$

A expressão do risco de falha R mostrada anteriormente no item 3.2 aplica-se somente para uma torre. A fim de se obter o risco total de falha do isolamento para uma linha de m torres é necessário corrigir de uma potência m, em cada intervalo, a correspondente probabilidade de suportar o isolamento.

A probabilidade do isolamento da linha falhar torna-se:

$$P_{dm}(U_i) = P_{dm}(U_{oi} + \frac{\Delta U}{2}) = 1 - [1 - P_d(U + \frac{\Delta U}{2})]^m$$

O risco total de falha fica:

$$R_m = \sum_{i=1}^n P_o(U)_i \cdot P_{dm}(U_i)$$

O programa CODIN I assume a expressão acima na consideração de m torres em paralelo.

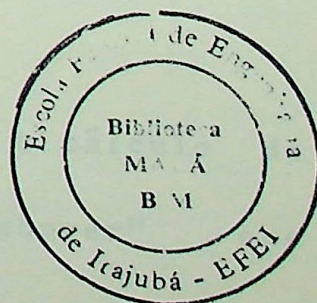
A expressão do risco de falha pode ser escrita sob forma de inte-

gral, perfazendo assim a área sob as curvas $P_0(U)$ e $P_d(U)$ ⁽⁴³⁾:

$$R_m = \int_0^{\infty} p_0(u) \cdot (1 - (1 - P_d(U))^m) dU$$

m - é o número de estruturas idênticas em paralelo (número de torres)

Uma conclusão geral que podemos chegar imediatamente é que a probabilidade do isolamento da linha suportar a determinada tensão decresce quando o número de gaps em paralelo aumenta.



4.0 - DESEMPENHO ELÉTRICO DO ISOLAMENTO

O último passo deste programa será agrupar as diversas considerações mencionadas e fazer o cálculo estatístico para a determinação da probabilidade total do risco de falha de uma determinada operação de chaveamento.

A suportabilidade do isolamento das estruturas é dependente do ângulo de balanço e das condições meteorológicas ambientes devendo os cálculos do desempenho da linha serem baseados em ambas distribuições estatísticas. (40, 41)

Logo, para uma dada tensão de surto, um específico "RIS" (determina a condição meteorológica) e um específico ângulo de balanço, o programa calcula a probabilidade de flashover sobre os isoladores e "air gaps".

Sabendo-se que o flashover nos caminhos paralelos podem ser considerados como eventos independentes é calculada a probabilidade de flashover para as m estruturas ao longo da linha.

A probabilidade total do risco de falha é determinada considerando todas as probabilidades das situações envolvidas, tanto de RIS quanto de ângulo de balanço, bem como as probabilidades de ocorrência dos surtos de manobra e as probabilidades de ocorrência de "flashover".

As frequências de ocorrências das distribuições expostas são variáveis de entrada do processo de integração descrito a seguir.

4.1 - COMO CONSIDERAR AS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS

O programa CODIN I é caracterizado exatamente pelas considerações a seguir, no qual se processa o risco de falha, percorrendo todas as situações possíveis de ocorrência de condições atmosféricas (RIS e Vento).

Expressando matematicamente o que foi dito, temos:

- Consideração de todas as condições ambientes

Sabendo-se que, $CFO_{ambiente} = CFO_{padrão} \times RIS$, tem-se que o cálculo do

risco de falha para todos os valores de "critical flashover" que

percorrem todas as situações climatológicas é a média ponderada dos riscos com a frequência de ocorrência (FREQ1) do RIS (Vide histograma do RIS na figura 5)

$$\text{Risco total} = \frac{\sum_{i=1}^n R(i) \times \text{FREQ1}(i)}{\sum_{i=1}^n \text{FREQ1}(i)}$$

Risco total - probabilidade de risco de falha total da linha em estudo, considerando apenas uma posição de ângulo de balanço, mas considerando todas as situações climatológicas, associadas às frequências de ocorrências destas situações.

$R(i)$ - probabilidade de risco de falha para a "situação i" (deduzido no capítulo anterior)

FREQ1 (i) - frequência de ocorrência do valor do RIS na "situação i"

n - número de situações (i)

Observação - Entende-se por "situação i" uma determinada condição meteorológica caracterizada por um valor de RIS

4.2 - COMO CONSIDERAR TODAS AS CONDIÇÕES DE ÂNGULO DE BALANÇO

Como o "critical flashover" varia em função dos "air gaps" e, como estes variam com o ângulo de balanço é necessário computar, como da forma anterior, todas as situações de ângulo de balanço, associadas as suas respectivas frequências de ocorrência ao longo do tempo, considerado como o universo característico de uma determinada região. (vide histograma de ângulo de balanço na fig. 11)

$$\text{Risco total final} = \frac{\sum_{j=1}^m \text{Risco total}(j) \times \text{FREQ2}(j)}{\sum_{j=1}^m \text{FREQ2}(j)}$$

Risco total final - é a probabilidade de risco de falha total da linha em estudo, considerando todas as situações climatológicas e todas as situações de ângulos de balanço. É a média ponderada do risco total com a frequência de ocorrência de determinado ângulo

gulo de balanço (FREQ2)

Risco total_(j) - definido anteriormente como sendo a probabilidade' de risco de falha total para a "situação j"

FREQ2_(j) - frequência de ocorrência de determinado ângulo de balanço na "situação j"

m - número de "situações j"

Obs.: Entende-se por "situação j", uma determinada velocidade de vento caracterizada por um ângulo de balanço.

A expressão geral do algoritmo definido assume a seguinte forma:

$$\text{Risco de falha total de uma fase} = \frac{\sum_{j=1}^m \left[\frac{\sum_{i=1}^n R(i) \cdot \text{FREQ1}(i)}{\sum_{i=1}^n \text{FREQ1}(i)} \right] (j)}{\sum_{j=1}^m \text{FREQ2}(j)}$$

O valor do "Risco de Falha total de uma fase" expressa a probabilidade de falha de uma fase levando-se em consideração todas as situações climatológicas (temperatura, pressão, etc) e todas as ocorrências dos ângulos de balanço numa determinada região por onde deve passar a linha.

4.3 - RISCO DE FALHA TOTAL DA LINHA

O programa faz o mesmo cálculo acima para as três fases, evidentemente conhecendo-se as distribuições das sobretensões que ocorrem nas respectivas fases (média e desvio padrão). O CODIN I calcula separadamente o risco de falha para cada fase.

Se R_A é o risco de falha total da fase A, R_B da fase B e R_C da fase C, então, o risco de falha total da linha deve ser:

$$R_{\text{Linha}} = 1 - (1 - R_A) (1 - R_B) (1 - R_C)$$

Este valor representa a probabilidade total do risco de falha de uma linha de transmissão e pode ser expresso em número de surtos/flash-over.

No Apêndice V, encontra-se um fluxograma do método apresentado.

É possível, então, através de critérios (custos, por exemplo) manipular todas as grandezas envolvidas no cálculo do risco de falha com o único objetivo de se obter uma configuração de torre que atenda os requisitos mínimos de confiabilidade, ou seja, diminuindo-se a probabilidade de falha do isolamento.

4.4 - COMO CONSIDERAR O CÁLCULO DO RISCO DE FALHA NOS GAPS COMPOSTOS

Há de se considerar duas maneiras de determinar o risco de falha para o gap composto. Uma delas seria como descrito no Apêndice III, no qual determina-se a tensão de $U_{50\%}$ ("critical flashover") equivalente da configuração, através de uma composição de probabilidades; determinando-se a curva de probabilidades de suportabilidade representante da configuração como um todo. Como já foi visto anteriormente, esta curva não é normal, daí a razão da utilização do método a seguir para cálculo do risco de falha.

O outro modo seria calcular o risco de falha individual para cada gap e depois compô-los admitindo-se eventos independentes, obtendo-se então o risco de falha da configuração composta, sem a necessidade de determinar o "critical flashover" equivalente.

A partir do "critical flashover" determinado pela fórmula de Paris para o gap independente calcula-se o risco de falha individual, compondo a área intercessão entre a distribuição de surtos de manobra e a distribuição estatística das tensões suportáveis pelo isolamento.

Para o gap i , o risco é $R_i = \int_0^{\infty} P_0(U) \cdot P_d(U) dU$

Para o gap composto, o risco é: $R = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i)$

$(1 - R_i)$ - é o risco de não haver falha no gap i

$\prod_{i=1}^n (1 - R_i)$ - é o risco de não haver falha em pelo menos um gap

R - risco de falha em pelo menos um gap

n - número de gaps independentes

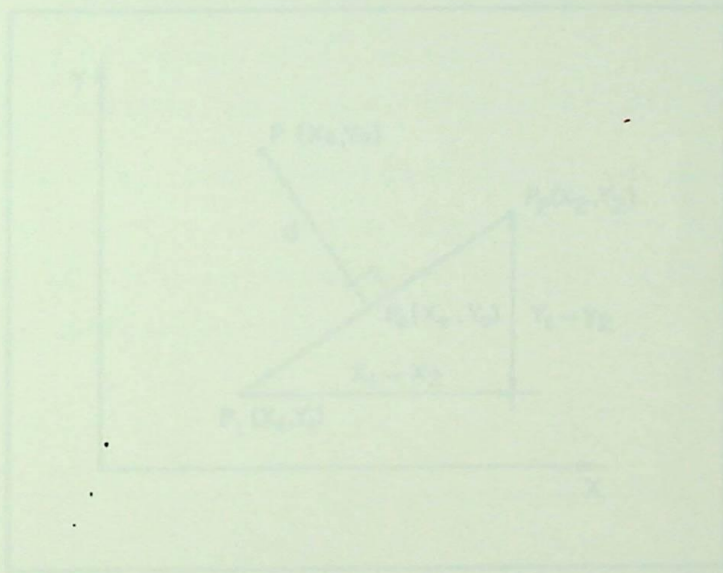
O programa CODIN I processa o cálculo do risco de falha do gap composto desta última maneira.

Os dois métodos de resolver o problema apresentam resultados seme-

lhantes a menos de imprecisões no processo de integração numérica e desde que o risco de falha seja calculado nas faixas mais baixas de probabilidade, o que normalmente ocorre.

Uma característica do programa "CUBIN 1 - Decremento de Risco de Transmissão Quanto a Curvas de Maxima" é a representação da terra. A configuração da terra geralmente consiste de cadeias de isolado - isolado ou de isolado - isolado - isolado. As curvas de isolado são representadas por pontos (X_i, Y_i) e as curvas de isolado são representadas por pontos (X_j, Y_j) . A distância entre os pontos (X_i, Y_i) e (X_j, Y_j) é calculada e a distância entre os pontos (X_i, Y_i) e (X_j, Y_j) é calculada. A distância entre os pontos (X_i, Y_i) e (X_j, Y_j) é calculada e a distância entre os pontos (X_i, Y_i) e (X_j, Y_j) é calculada.

Fig. 1 - REPRESENTAÇÃO GERAL UTILIZADA NO CÁLCULO DAS DISTÂNCIAS DO CONTO DA TERRE À ESTRUTURA



$P(X_p, Y_p)$ - coordenadas cartesianas do ponto de interseção da estrutura com o contorno da terra.
 $P_1(X_1, Y_1)$ e $P_2(X_2, Y_2)$ - coordenadas cartesianas dos pontos da curva que definem a estrutura.

$y = ax + b$ - equação da reta

$a = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}$ - coeficiente angular da reta

$b = \frac{Y_1 - aX_1}{1}$ - coeficiente linear da reta

$d = \frac{|Y_1 - aX_1 - b|}{\sqrt{a^2 + 1}}$ - distância do ponto P_1 à reta P_1P_2

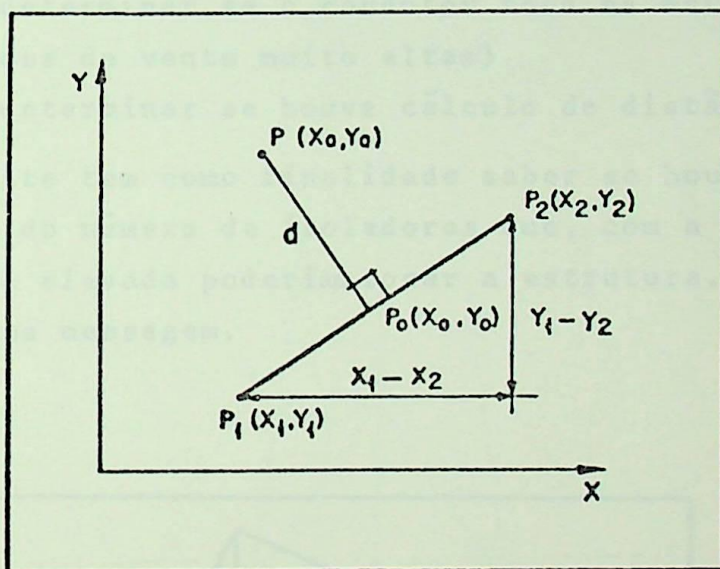
CAPÍTULO V

5.0 - A REPRESENTAÇÃO DA TORRE

Uma característica do programa "CODIN I - Desempenho de Linhas de Transmissão Quanto a Surtos de Manobra" é a representação da torre.

A configuração da torre geralmente consiste de cadeias de isoladores (I ou V) e de vários "air gaps" nos quais, em qualquer um deles pode ocorrer a descarga disruptiva. A torre é representada por um sistema de coordenadas cartesianas e calcula para cada posição de ângulo de balanço todas as distâncias entre o condutor e a estrutura da torre, possíveis caminhos da descarga.

5.1 - EXPRESSÃO GERAL UTILIZADA NO CÁLCULO DAS DISTÂNCIAS DO CONDUTOR A ESTRUTURA



$P(x_a, y_a)$ - coordenadas cartesianas da posição do condutor

$P_1(x_1, y_1)$ e $P_2(x_2, y_2)$ - coordenadas cartesianas dos pontos da reta que definem a estrutura.

$y - ax - h = 0$ - equação da reta

$a = \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2}$ - coeficiente angular da reta

$h = \frac{x_1 y_2 - x_2 y_1}{x_1 - x_2}$ - coeficiente linear da reta

$d = \frac{y_1 - ax_1 - h}{\sqrt{a^2 + 1}}$ - distância do ponto P à reta $P_1 P_2$

O programa calcula também, o ponto de incidência da perpendicular do condutor à estrutura, intercessão das retas P_1P_2 com PP_0

$$\text{reta } P_1P_2 \text{ — } y = a (x - x_1) + y_1$$

$$\text{reta } PP_0 \text{ — } y = - \frac{1}{a} (x - x_a) + y_a$$

Coordenadas do ponto P_0

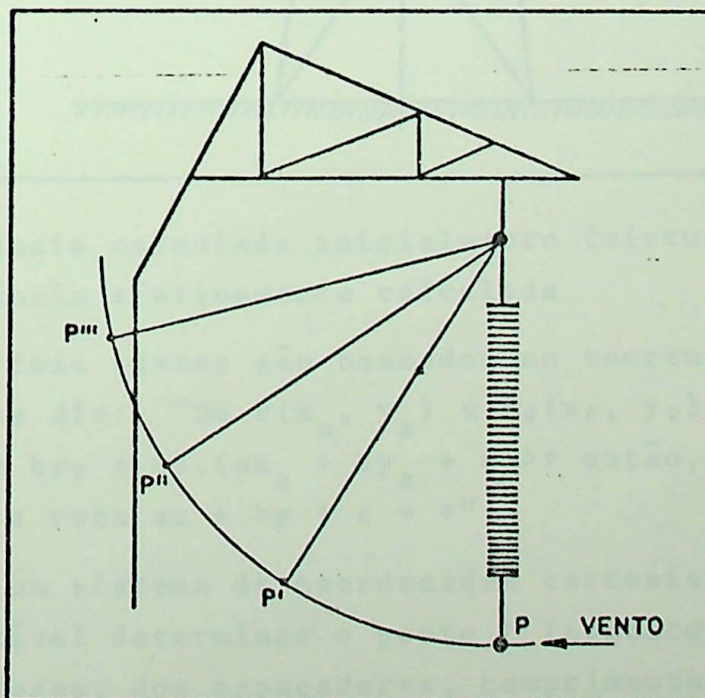
$$x_0 = \frac{a^2 x_1 + x_a + a (y_a - y_1)}{a^2 + 1}$$

$$y_0 = a (x_0 - x_1) + y_1$$

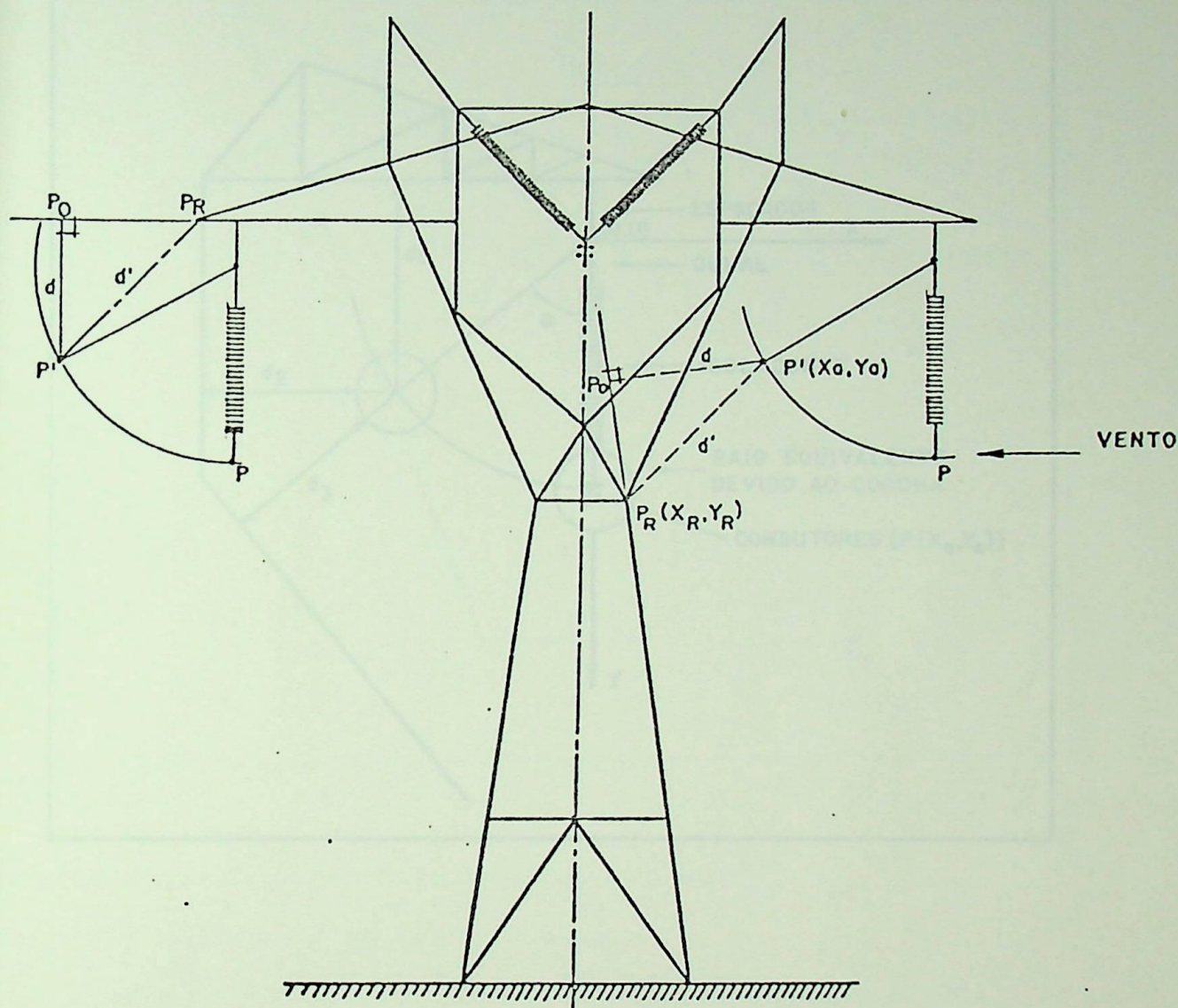
Após realizar o cálculo da distância e dos pontos de incidência da perpendicular à estrutura, o programa realiza dois testes:

- teste para determinar se o condutor toca na estrutura (incidência de velocidades de vento muito altas)
- teste para determinar se houve cálculo de distâncias virtuais.

O primeiro teste tem como finalidade saber se houve um dimensionamento elevado do número de isoladores que, com a atuação de ventos com velocidade elevada poderiam tocar a estrutura. Neste caso o programa emite uma mensagem.



O segundo teste constata se a distância calculada do condutor $\tilde{a}$ estrutura realmente existe. No caso de haver uma distância virtual, o programa calcula a distância real mais próxima do ponto de incidência, pela fórmula: $d' = \sqrt{(x_a - x_r)^2 + (y_a - y_r)^2}$



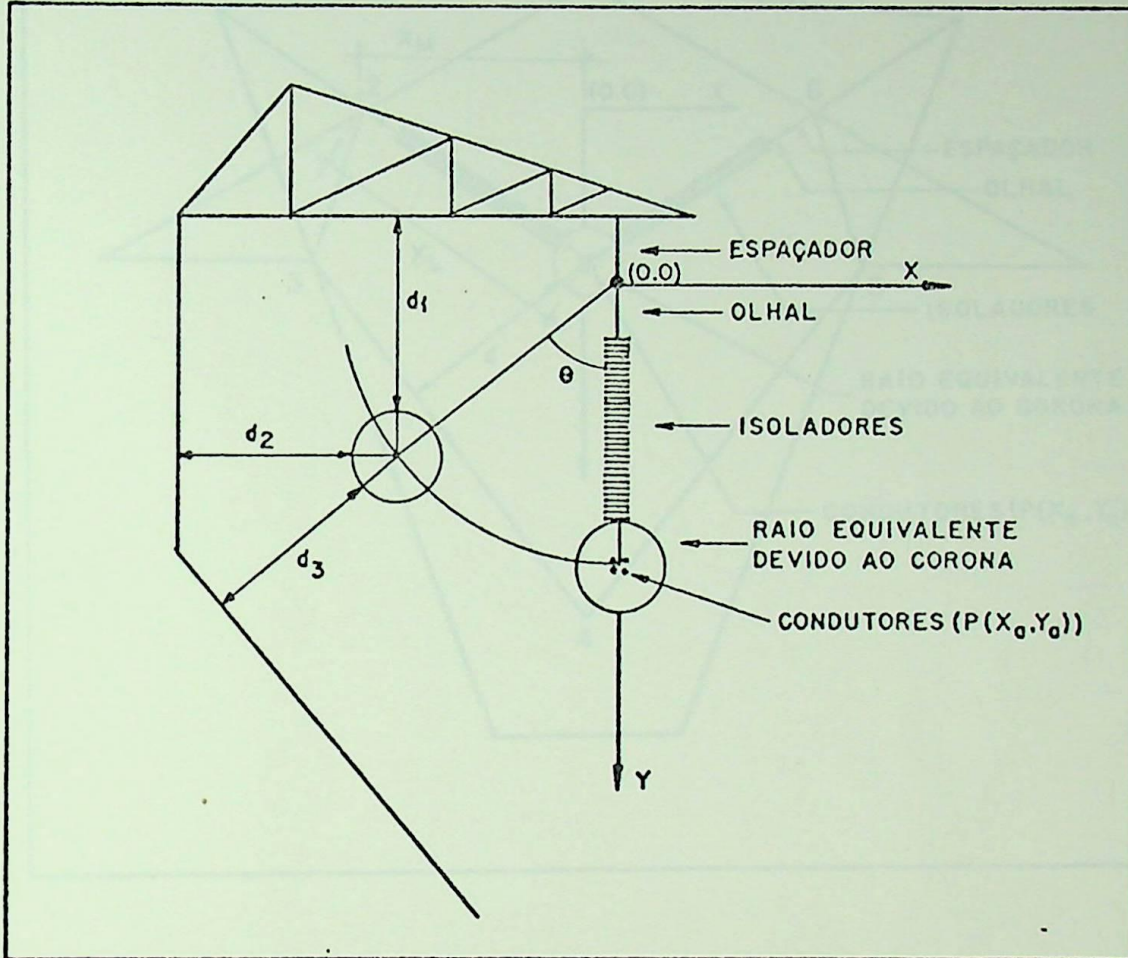
$P'P_0$ - distância calculada inicialmente (virtual)

$P'P_R$ - distância efetivamente calculada

Obs.: Estes dois testes são baseados no teorema (geometria analítica) que diz: "Se $P(x_a, y_a)$ e $P_0(x_0, y_0)$ são pontos tais que, $(ax_0 + by_0 + c) \cdot (ax_a + by_a + c) > 0$ então, o segmento PP_0 não corta a reta $ax + by + c = 0$ "

A partir de um sistema de coordenadas cartesianas previamente definido é possível determinar o ponto P (condutor) em função do número de isoladores, dos espaçadores, comprimento do olhal e do raio energizado considerado devido ao efeito corona.

5.2 - CADEIA EM I



Coordenadas do ponto P (condutor)

$$x_a = (5.75'' \times NI + RCOR + OLHAL) \times \sin \theta$$

$$y_a = (5.75'' \times NI + RCOR + OLHAL) \times \cos \theta$$

NI - número de isoladores

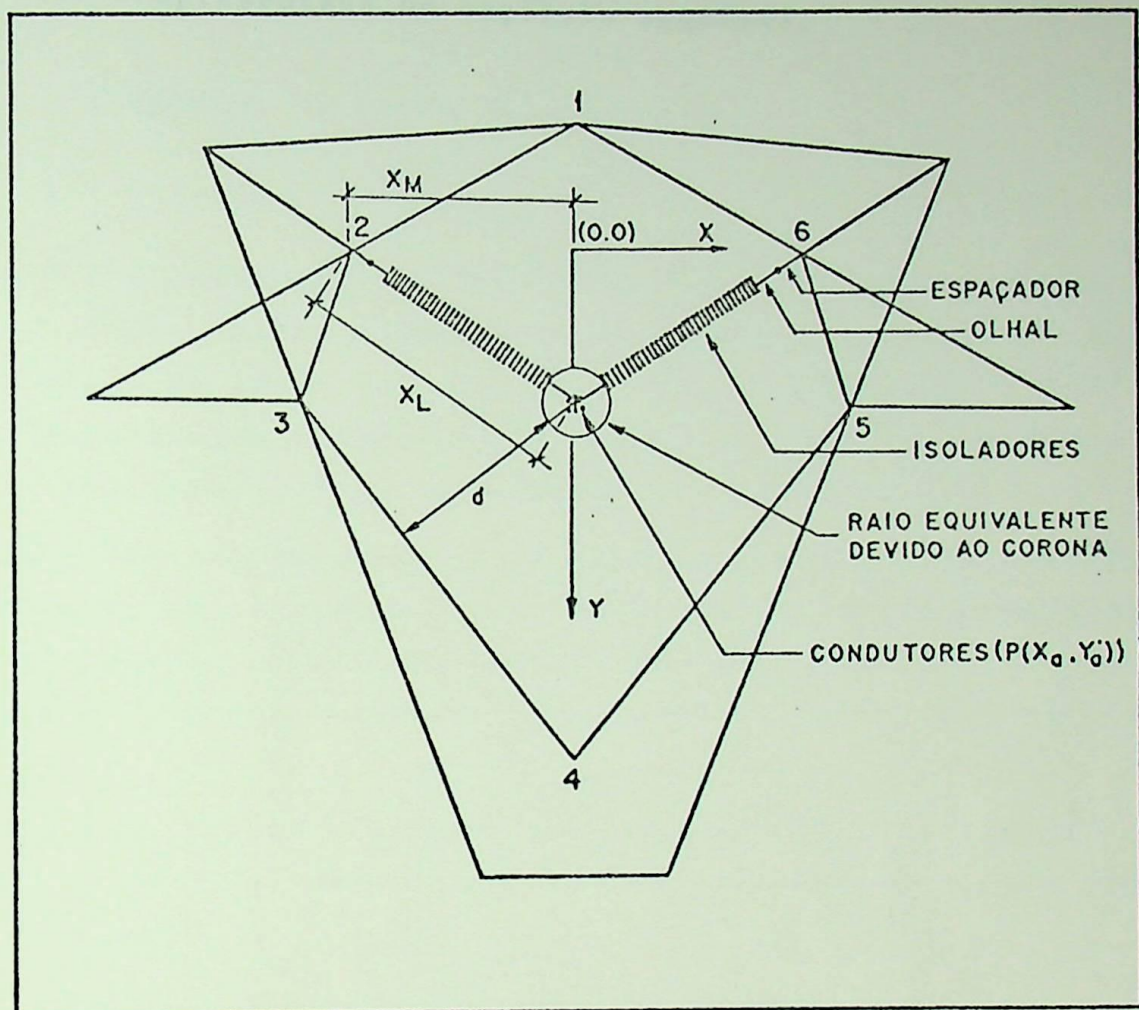
θ - ângulo de balanço (graus)

RCOR - raio equivalente (devido à corona) - metros

OLHAL - comprimento total do olhal - metros

Obs.: O isolador considerado é de 5' 3/4 polegadas

5.3 - CADEIA EM V



Coordenadas do ponto P da figura, tem-se:

$$XL = ESP + 5.75'' \times NI + RCOR + OLHAL$$

$$x_a = 0.0$$

$$y_a = \sqrt{XL^2 - XM^2}$$

XM - abcissa do ponto 2

NI - número de isoladores (de 5 3/4 polegadas)

RCOR - raio energizado devido ao efeito corona (metros)

ESP - comprimento do espaçador (metros)

OLHAL - comprimento do olhal (metros)

Obs.: Na cadeia em V não há consideração do ângulo de balanço devido à ação do vento.

Uma vez calculadas as coordenadas do condutor P (x_a, y_a) perfaz-se o cálculo das distâncias do condutor a todas as partes da estrutura

da torre.

Maiores detalhes sobre os dados de entrada no cálculo das distâncias é apresentado no capítulo seguinte.

2.1 - ESTRUTURA DO PROGRAMA

2.1.1 - Objetivos

CODIN 1 (Computação de Isolamento 1) - Desenvolvido de linhas de transmissão quanto a "Efeito de Ressonância" é um programa digital para cálculo do risco de falha na linha, considerando a influência de fenômenos meteorológicos (temperatura, pressão, umidade, vento etc.) sobre as configurações geométricas da torre.

O programa também considera o balanço das cadeias, devido a ação de cargas e efeitos de ressonância. O programa é executado em I e II, sendo que a saída de dados é apresentada em forma de gráficos e tabelas. A saída de dados é apresentada em forma de gráficos e tabelas. A saída de dados é apresentada em forma de gráficos e tabelas.

O programa foi escrito para o computador digital IBM/370. O programa é executado em I e II, sendo que a saída de dados é apresentada em forma de gráficos e tabelas. A saída de dados é apresentada em forma de gráficos e tabelas.

O programa é executado em I e II, sendo que a saída de dados é apresentada em forma de gráficos e tabelas. A saída de dados é apresentada em forma de gráficos e tabelas.

2.1.2 - Descrição do Programa

O programa é constituído de 4 "rotinas":

- "STEP 1" - Esta "rotina" consiste de 1 programa principal e um sub-programa. O programa principal (SUBPRG1) manipula os dados climáticos, provenientes de fontes meteorológicas, e os dados geométricos da linha de transmissão, e os dados de isolamento da torre. Os dados de isolamento da torre são gravados em outra fita de trabalho.

A subrotina INTER é um subprograma de interpolação de temperatura para obtenção de pressão e umidade.

- "STEP 2" - 1 programa principal (SUBPRG2). Este programa fornece a saída de dados para a grandeza de risco de falha na linha de transmissão. A saída de dados é apresentada em forma de gráficos e tabelas. A saída de dados é apresentada em forma de gráficos e tabelas.

CAPÍTULO VI

6.0 - O PROGRAMA CODIN I

6.1 - ESTRUTURA DO PROGRAMA

6.1.1 - Objetivo

CODIN I (Coordenação de Isolamento I - "Desempenho de Linhas de Transmissão quanto a Surtos de Manobra") é um programa digital para cálculo do risco de falha na linha, considerando a influência de parâmetros meteorológicos (temperatura, pressão, umidade, vento etc) para qualquer configuração geométrica de torre.

O programa também considera o balanço das cadeias, devido a ação do vento nas cadeias em I e tem como característica a escolha do método de solução segundo as curvas propostas pela referência 6 (Método EHV-EPRI) ou por curvas propostas por L. Paris, referências 25, 26 e 42.

O programa foi escrito para o computador digital IBM/370 usando FORTRAN IV como descrito no "IBM System 360 and System 370 FORTRAN IV Language".

No Apêndice V é apresentado um fluxograma do programa, mostrando de maneira geral o método de cálculo do risco de falha da linha.

6.1.2 - Descrição do Programa

O programa é constituído de 4 "steps":

- "STEP"1 - Este "step" consiste de 1 programa principal e uma subrotina. O programa principal (RISVENTO) manipula os dados climatológicos, provenientes de fitas magnéticas previamente gravadas, e através de fórmulas empíricas fornece o valor do "RIS" e do "VENTO", que são gravadas em outra fita de trabalho.

A subrotina INTER é uma subrotina de interpolação de temperatura($^{\circ}\text{F}$) para obtenção de pressões em pol.Hg.

- "STEP" 2 - 1 programa principal (SORT). Este programa provido pela IBM, ordena uma grande massa de dados, manipulando áreas de trabalho em disco. Nesta fase o programa ordena os valores de RIS em forma crescente, arquivando-os em fita.

- "STEP"3 - 1 programa principal (SORT). Este programa neste step ordena de forma crescente os valores de "VENTO" e os arquiva em fita.

- "STEP" 4 - Consiste de um programa principal e 8 subrotinas.

O programa principal (CODIN), manipula os dados de entrada e a saída, controla a lógica do problema e chama todas subrotinas necessárias. Basicamente inclui o cálculo das distâncias do condutor à estrutura e os métodos de solução (EHV-EPRI ou Paris).

A SUBROTINA HORNIS determina os fatores de efetividade segundo o teste de Hornisgrinde.

A SUBROTINA HISTO traça os histogramas de RIS, vento e de ângulos de balanço.

A SUBROTINA FLASH calcula as tensões disruptivas segundo o método EHV-EPRI

A SUBROTINA WIDTH calcula o fator de correção devido a espessura da torre.

A SUBROTINA TALLY calcula as médias, desvios padrões, valores máximos, valores mínimos e totais da distribuição normal das sobreensões.

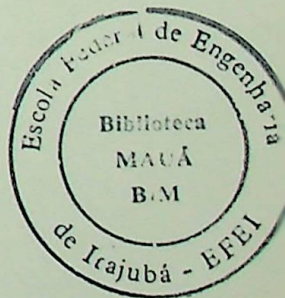
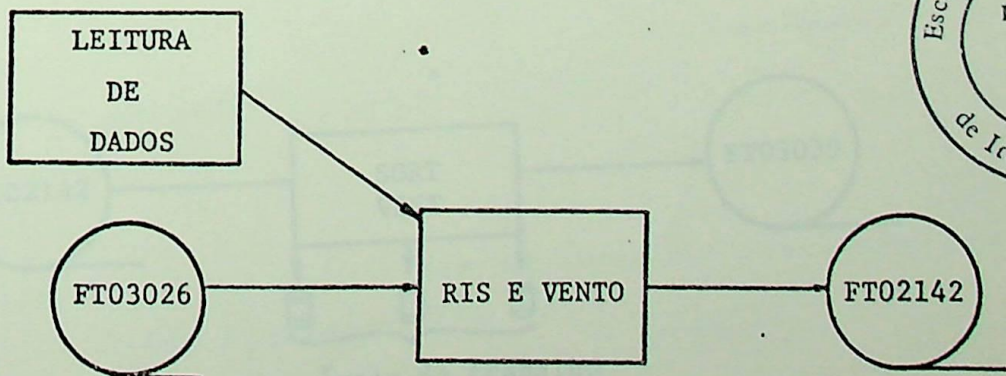
A SUBROTINA RISFAI calcula o risco de falha, área sob a curva intercessão das curvas normais de sobretensões e suportabilidade.

A FUNÇÃO PROB calcula as probabilidades da curva de distribuição normal.

A SUBROTINA EXPON calcula o fator de correção do "Relative Insulation Strength" para o fator de gap N.

6.2 - "STEPS" DO PROGRAMA

"STEP" 1



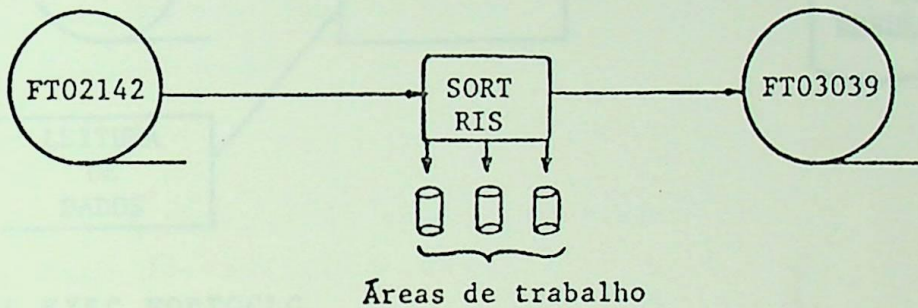

```
// STEP 1 EXEC FORTGCLG
// FORT SYSIN DD*
```

Programa do Cálculo do RIS e VENTO

```
/*
// GO.FT02F001 DD (fita FT03026)
//
// GO.FT03F001 DD (fita FT02142)
//
// GO.SYSIN DD*
```

DADOS

```
/*
"STEP" 2
```

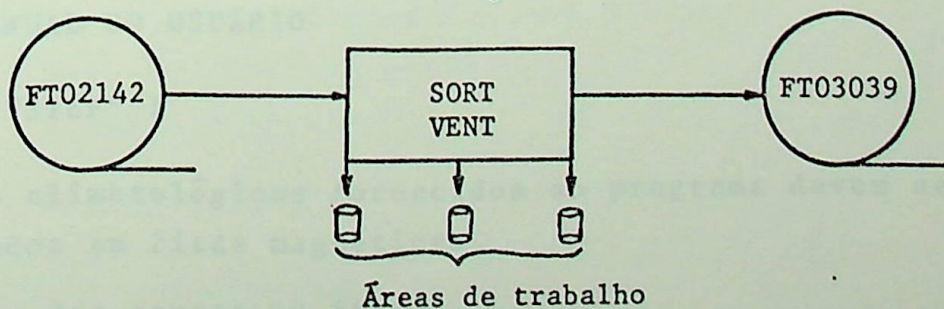


```
// STEP 2 EXEC SORTD
// SORTIN (fita FT02142)
// SORTOUT (fita FT03039)
// SORTWK01 {
// SORTWK02   Áreas de trabalho separadas disco 3380
// SORTWK03 }
// SYSIN DD*
```

DADOS PARA O SORT

```
/*
```

```
"STEP" 3
```

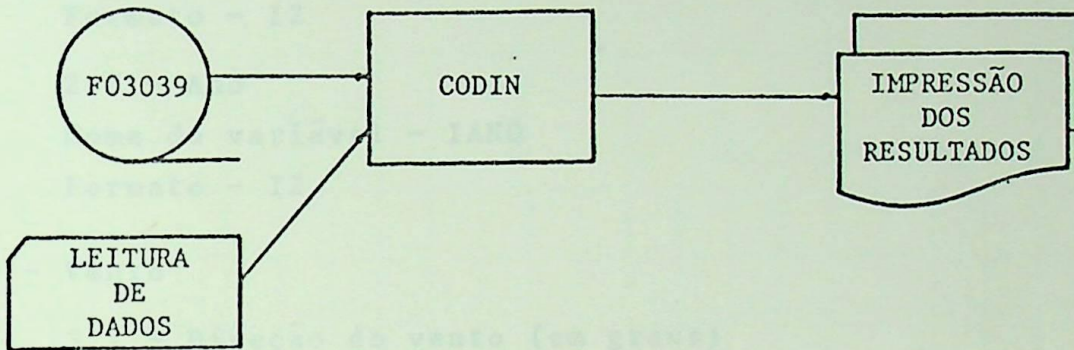



```
// STEP 3 EXEC SORTD
// SORTIN (fita 02142)
// SORTOUT (fita 03039)
// SORTWK01
// SORTWK02 { Áreas de trabalho separadas disco 3330
// SORTWK03
// SYSIN DD*
```

DADOS PARA O SORT

/*

"STEP" 4



```
// STEP 4 EXEC FORTGCLG
// FORT SYSIN DD*
```

Programa principal (CODIN)
e Subrotinas

/*

```
// GO.FT03G001 (fita F03039, Arquivo 1)
// GO.FT03F002 (fita F03034, Arquivo 2)
// GO.SYSIN DD*
```

Dados gerais da torre, cabo, surtos, etc...

/*

6.3 - MANUAL DO USUÁRIO

6.3.1 - "STEP" 1

Os dados climatológicos fornecidos ao programa devem ser previamente gravados em fitas magnéticas.

Descrição dos campos na fita:

CAMPO 1 - Código da estação

Nome da variável - CD

Formato - A2

CAMPO 2 - Data

2.1 - Dia

Nome da variável - IDIA

Formato - I2

2.2 - Mês

Nome da variável - IMES

Formato - I2

2.3 - Ano

Nome da variável - IANO

Formato - I2

CAMPO 3 - Vento

3.1 - Direção do vento (em graus)

Nome da variável - DIR

Formato-I3

3.2 - Velocidade do vento (nós)

Nome da variável - VENTO

Formato-F3.0

CAMPO 4 - Condições Gerais do Tempo

Nome da variável - ICD

Formato-I1

Procedimento - Ø - tempo bom

1 - trovoada

2 - Chuva

3 - Trovoada + chuva

CAMPO 5 - Pressão barométrica (mb - milibares)

Nome da variável - PBA

Formato - F4.0

CAMPO 6 - Temperatura (°C)

6.1 - Temperatura de bulbo seco

Nome da variável - DRY

Formato - F4.1

6.2 - Temperatura de bulbo úmido

Nome da variável - WET

Formato - F4.1

CAMPO 7 - Precipitação (mm)

Nome da variável - CHUV

Formato - F4.1

Obs.: O valor da precipitação diária aparece no último registro de cada dia.

FORMATO DOS DADOS

CD		IDIA		IMES		IANO		DIR			VENTO			ICD	PBA				DRY				WET				CHUV			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31

No "STEP" 1 há também uma entrada de dados em forma de cartão.

Descrição dos campos no cartão:

CAMPO 1 - Condições atmosféricas padrões

Nome da variável - NSTD

Formato - I2

Colunas - 1 e 2

Procedimento -

NSTD = 1	Padrões ANSI	Pressão barométrica	760mm Hg
		Temperatura	25°C
		Umidade Absoluta	15g/m ³
NSTD = 2	Padrões IEC	Pressão barométrica	760mm Hg
		Temperatura	20°C
		Umidade Absoluta	11g/cm ³

CAMPO 2 - Altura do condutor (metros) - valor médio

Nome da variável - H1

6.3.3 - "STEP" 4

O "STEP" 4 consiste na estrutura principal do programa CODIN I. Basicamente possui como entrada 2 massas de dados:

- Dados climatológicos (preparados em forma de RIS e VENTO)
- Dados de sobretensões, configuração da torre, etc...

Parte 1 - Dados Climatológicos -

Os dados fornecidos para esta fase já foram preparados nos steps 1, 2 e 3 ou seja, ordenados e gravados em fitas.

Dados lidos no 1º arquivo - RIS

Formato - F5.1

Dados lidos no 2º arquivo - VENTO

Formato - F4.1

Parte 2 - Dados de sobretensões e configuração da torre -

Consiste nos dados que são fornecidos em forma de cartão, que caracterizam o caso a ser estudado.

Nesta seção podem ser realizados vários estudos subsequentes variando-se apenas os parâmetros de interesse, rodando-se vários casos em série, sempre com a mesma estação meteorológica definida no "STEP" 1. É possível, então, perfazer uma análise de sensibilidade dos parâmetros envolvidos⁽⁴⁴⁾.

Para esta parte, basicamente pode-se dividir a massa de dados a ser fornecida ao programa em 3 grupos:

- Dados de informação
- Dados da distribuição normal das sobretensões e da suportabilidade
- Dados da configuração da torre.
- Dados de informação (3 cartões) -

Inicialmente são definidos alguns cartões de identificação do estudo em realização.

Cartão tipo 1 - Nome da Estação Meteorológica

CAMPO	COLUNAS	FORMATO	VARIÁVEL NO PROGRAMA
1	1 a 80	20 A 4	EST

Cartão tipo 2 - Número de casos a serem estudados

CAMPO	COLUNAS	FORMATO	VARIÁVEL NO PROGRAMA
1	1 a 3	I3	NCASO

NCASO - é o número de casos subsequentes a serem estudados a partir da mesma estação meteorológica, previamente definida("STEP"1)

Cartão tipo 3 - Dados do condutor e vãos

CAMPO	COLUNAS	FORMATO	VARIÁVEL NO PROGRAMA
1	1 a 7	F7.3	D - diâmetro do condutor (polegadas)
2	8 a 14	F7.3	W - peso do condutor (lb/ft)
3	15 a 21	F7.3	V - Vão vertical (metros)
4	22 a 28	F7.3	HOR - Vão horizontal (metros)

Obs.: Vide figura 12

- Dados da distribuição normal das sobretensões e da suportabilidade (3 cartões) -

Cartão tipo 4 - Cartão título

Este cartão identifica, por exemplo, que tipo de operação foi realizada no TNA para se obter a distribuição de sobretensões. Exemplo: Religamento da linha Salto Osório - Salto Santiago

CAMPO	COLUNA	FORMATO	VARIÁVEL NO PROGRAMA
1	1 a 40	10A40	TIT

Cartão tipo 5 - Características gerais do caso a ser estudado

CAMPO	COLUNAS	FORMATO	VARIÁVEL NO PROGRAMA
1	2 a 4	I3	NO-Número de experiências levantadas no TNA (se não houver fazer igual a zero)
2	7 a 11	F5.2	TRUNC-Ponto de truncamento da curva de distribuição normal
3	14 a 19	F6.2	TNABAS-Base de tensão do TNA (se não houver fazer igual a 1.0) - em volts
4	22 a 27	F6.5	CIGMAD-Desvio padrão da curva de distribuição normal das tensões suportáveis
5	30 a 35	F6.1	TENSAO-Tensão da linha em estudo em kV

Cartão tipo 6 - Formado pelos cartões designados abaixo:

Cartões 6A - Distribuição de surtos provenientes de estudo realizado no TNA. Consiste na coleção de dados de sobretensões e só aparece se NO (Número de experiências) for diferente de zero.

Os dados de sobretensões serão distribuídos em cartões na sequência de fase A, B e C, com 16 dados por cartão (no máximo).

Quando acabarem os dados da fase A (por exemplo), os dados da fase B devem começar imediatamente após o último dado da fase A (dados codificados sequencialmente).

Formato - F5.1

Nome da variável - SURTO (volts)

Quando existir os cartões 6A a distribuição de surtos é preparada pelo programa, que calcula então, os valores médios e desvios padrões correspondentes para cada fase.

Cartão 6B - Curva de distribuição normal dos surtos. Este cartão só aparece se NO = 0. Neste caso é fornecido diretamente ao programa os valores médios e desvios padrões das sobretensões da fase A, B e C.

CAMPO	COLUNAS	FORMATO	VARIÁVEL NO PROGRAMA
1	1 a 6	F6.3	AVER 1-Valor médio em pu das sobretensões da fase A
2	9 a 14	F6.3	SD 1-Desvio padrão em % da distribuição de sobretensões da fase A
3	17 a 22	F6.3	AVER 2-Valor médio em pu das sobretensões da fase B
4	25 a 30	F6.3	SD 2-Desvio padrão em % da distribuição de sobretensões da fase B
5	33 a 38	F6.3	AVER 3-Valor médio em pu das sobretensões da fase C
6	41 a 46	F6.3	SD 3-Desvio padrão em % da distribuição de sobretensões da fase C

- Dados da configuração da torre -

Cartão tipo 7 - Dados gerais da torre

COLUNAS	FORMATO	VARIÁVEL NO PROGRAMA
2 a 7	F6.3	HANGER - Comprimento dos espaçadores - metros
9 a 17	F6.3	RCOR - Comprimento do raio energizado - metros
16 a 18	I3	NI - Número de isoladores
20 a 25	F6.2	ESPESS - Espessura da torre - metros
28 a 32	I5	NTORRE - Número total de torres
35 a 40	F6.3	OLHAL - Comprimento do olhal - metros

Cartão tipo 8 - Coordenadas cartesianas da torre (3 cartões, correspondentes as fases A, B e C)

COLUNA	FORMATO	VARIÁVEL NO PROGRAMA
2	I1	KE - Fase considerada
4	I1	KC - Tipo de cadeia
6	I1	NW - Número de pontos que definem a configuração
8	I1	NVPARI - Escolha do método
9 a 13	F5.2	X1 - Abcissa do ponto 1
15 a 19	F5.2	Y1 - Ordenada do ponto 1
21 a 25	F5.2	X2 - Abcissa do ponto 2
27 a 31	F5.2	Y2 - Ordenada do ponto 2

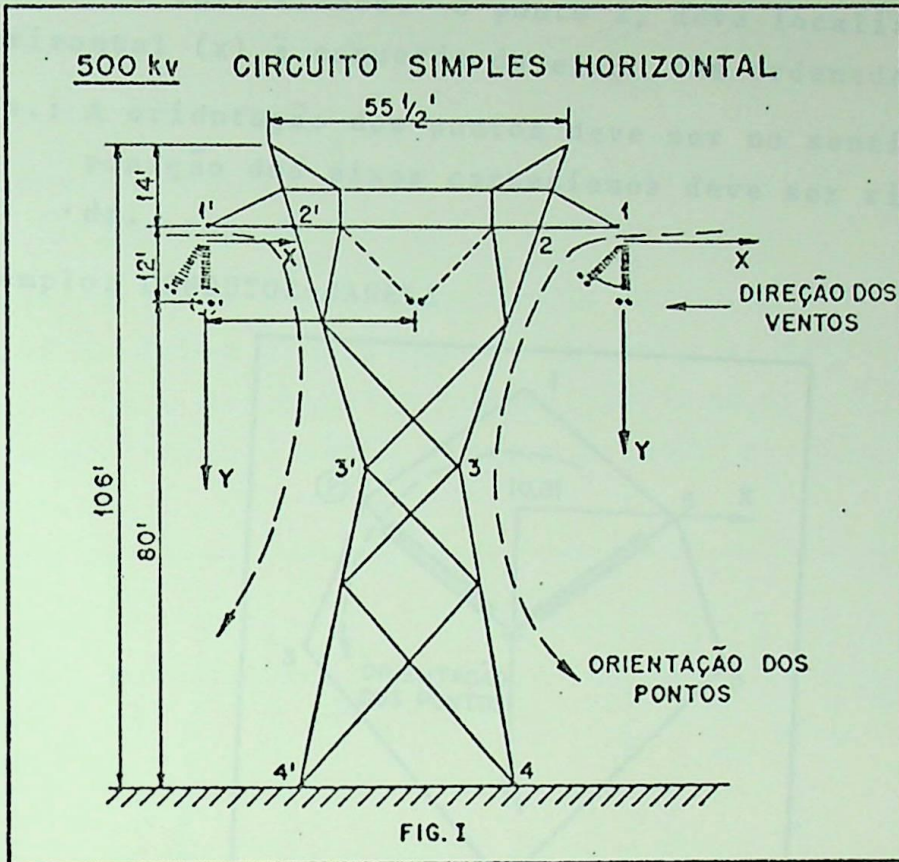
Procedimento:

Fase considerada KE = 1 - fase externa
 KE = 2 - fase interna

Tipo de cadeia KC = 1 - cadeia em I
 KC = 2 - cadeia em V

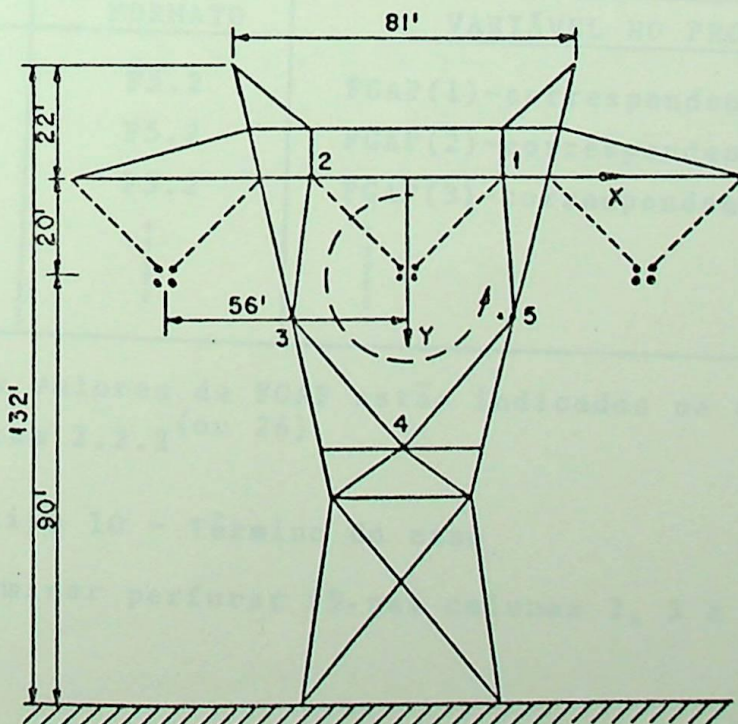
Escolha do método NVPARI = 0 - Método EHV-EPRI
 NVPARI = 1 - Método PARIS

Procedimento para o levantamento das ordenadas e abcissas



Na figura I está indicada a posição dos eixos cartesianos para as fases externas. Os pontos 1, 1', 2, 2', 3, 3', 4 e 4' definem a estrutura para estas fases (no exemplo, A e C). Os eixos cartesianos se aplicam sempre a cada fase distintamente e a posição do ponto 1 deve ser a mais extrema, como na figura.

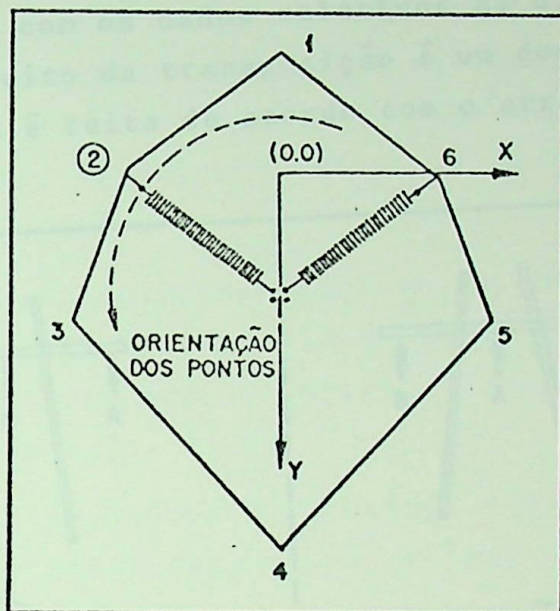
735 kv CIRCUITO SIMPLES HORIZONTAL



A figura II mostra a fase central (condutor-janela), com a posição dos eixos cartesianos. O ponto 2, deve localizar-se sobre o eixo horizontal (x) à esquerda do eixo das ordenadas.

Obs.: A orientação dos pontos deve ser no sentido anti-horário e a posição dos eixos cartesianos deve ser rigorosamente obedecida.

Exemplo: CONDUTOR-JANELA



Cartão tipo 9 - Fator de gap

Se o método escolhido é o de Paris (NVPARI = 1) é necessário incluir os fatores de gap, após o cartão tipo 8.

Obs.: Para cada reta definida há um fator de gap (FGAP)

COLUNA	FORMATO	VARIÁVEL NO PROGRAMA
1 a 5	F5.2	FGAP(1)-correspondente a reta 12
8 a 12	F5.2	FGAP(2)-correspondente a reta 23
15 a 19	F5.2	FGAP(3)-correspondente a reta 34
⋮	⋮	⋮

Nota: Os valores de FGAP estão indicados na tabela do Capítulo 2, item 2.2.2^(ou 26).

Cartão tipo 10 - Término do caso

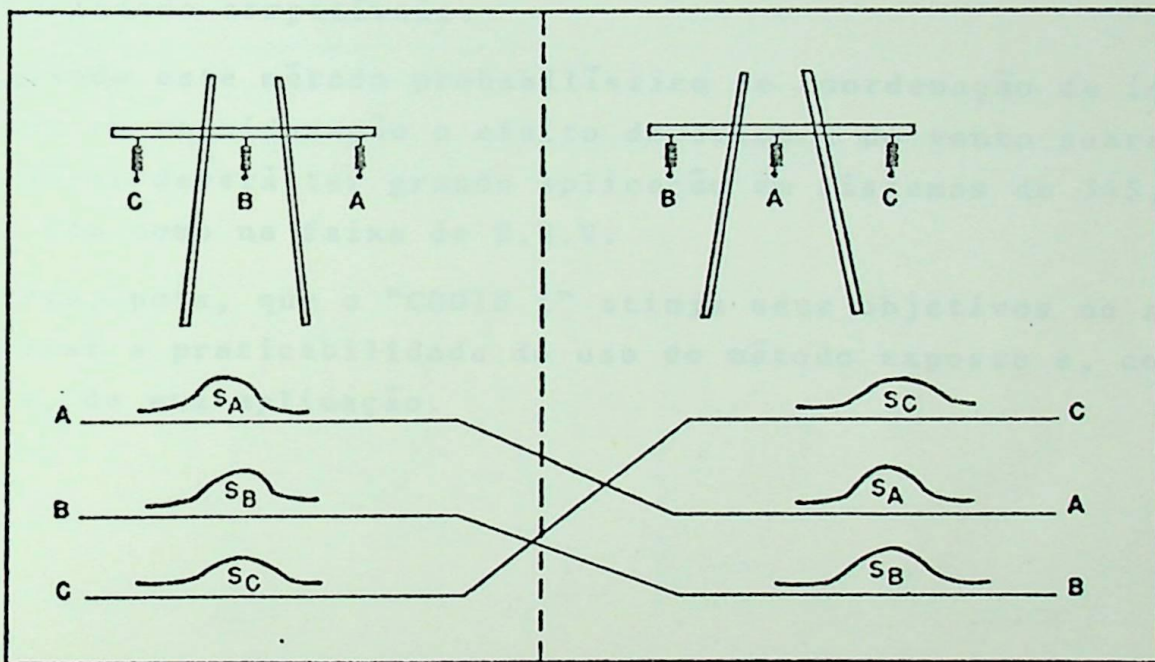
Para terminar perfurar 99.nas colunas 2, 3 e 4.

a partir deste cartão, se houver casos subsequentes, a ordem de entrada é a mesma apresentada, a partir do cartão tipo 3, inclusive.

Notas complementares -

grupos de cartões tipo 7, 8 e 9 aparecem três vezes, correspondentes às fases A, B e C.

e sempre haver a correspondência entre os dados que caracterizam as fases da linha com os dados relativos às distribuições das sobreposições. Se o efeito da transposição é um dos objetivos de estudo, a correspondência é feita de acordo com o arranjo que se quer representar.



- LISTAGEM E SAÍDA DO PROGRAMA

Apêndices VI, VII e VIII são apresentados a listagem do programa em linguagem FORTRAN IV, os formulários de codificação dos dados, configurações estudadas e os respectivos "outputs" dos casos.

CONCLUSÃO

Do método exposto conclui-se que, se os fatores que influem no dimensionamento do isolamento da linha (isoladores, distâncias, espessuras etc.) forem cuidadosamente manipulados, pode-se otimizar a configuração da torre, conseqüentemente minimizando custos da linha, a partir de critérios de aceitação do risco de falha total da linha.

Esta análise quanto aos surtos de manobra não levará a um resultado final sobre o isolamento. Critérios de aceitação quanto a descargas atmosféricas, quanto a operação de 60 ciclos devem ser coordenados com o primeiro, objetivando se obter um projeto otimizado e com confiabilidade compatíveis.

Finalizando este método probabilístico de coordenação de isolamento que leva em consideração o efeito do clima e do vento sobre o dielétrico do ar deverá ter grande aplicação em sistemas de 345, 500 e 750kV, bem como na faixa de U.H.V.

Espera-se, pois, que o "CODIN I" atinja seus objetivos no sentido de demonstrar a praticabilidade do uso do método exposto e, conseqüentemente, de sua aplicação.

SOBRETENSÕES TÍPICAS DE UM SISTEMA ELÉTRICO E CORRESPONDENTE SOLICITAÇÃO DIELÉTRICA SIMU- LADA EM LABORATÓRIO

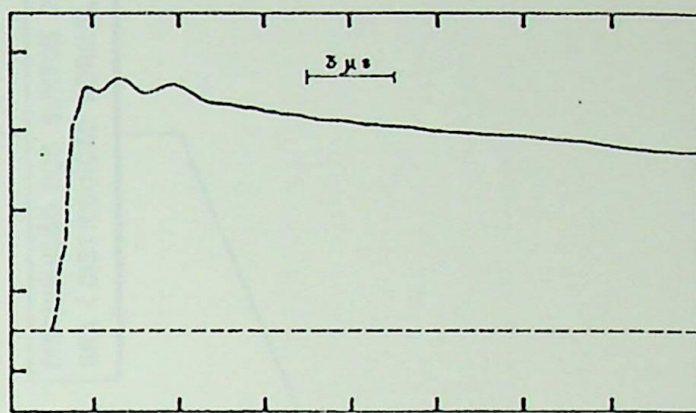
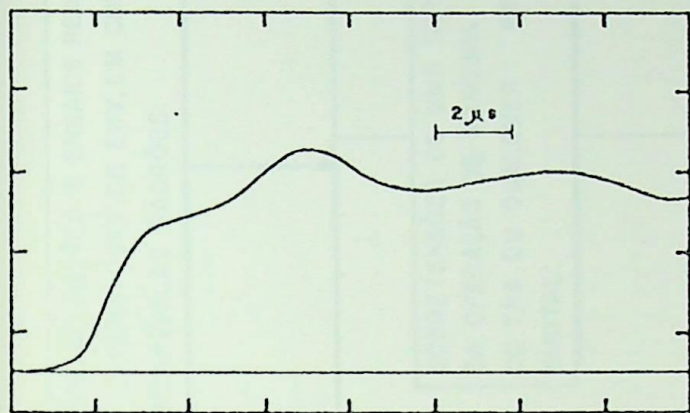


FIGURA 1A - SOBRETENSÕES DE ORIGEM ATMOSFÉRICA

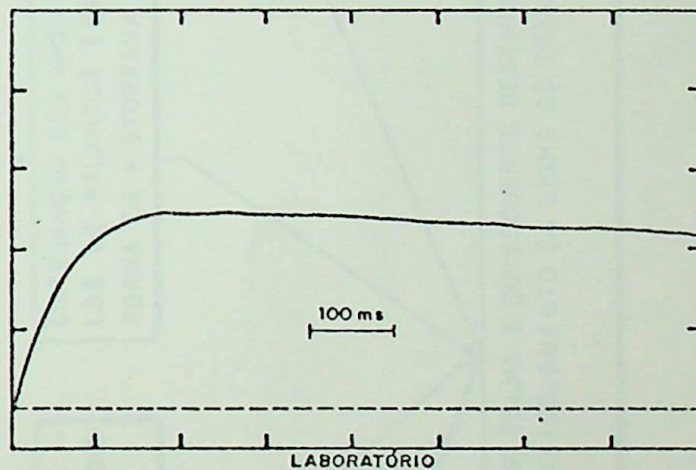
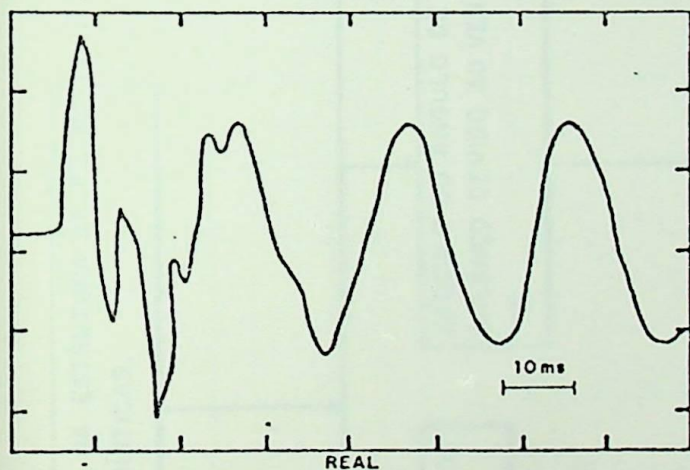


FIGURA 1B - SOBRETENSÕES DE MANOBRA

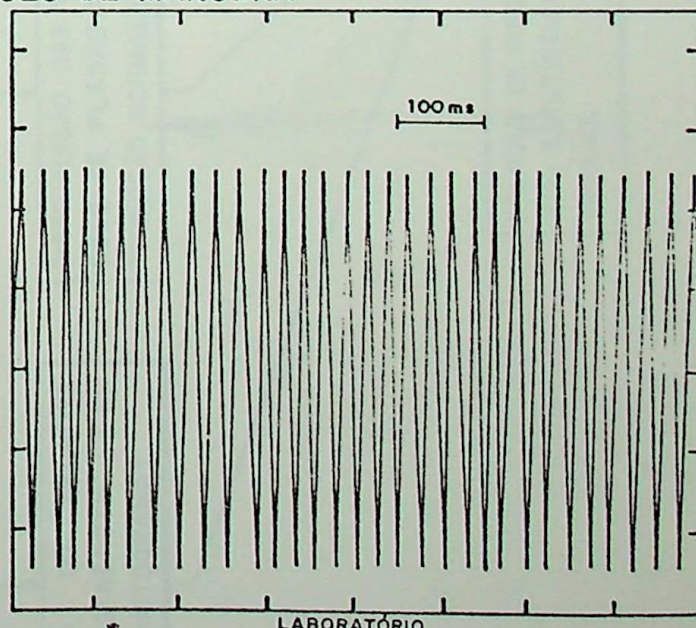
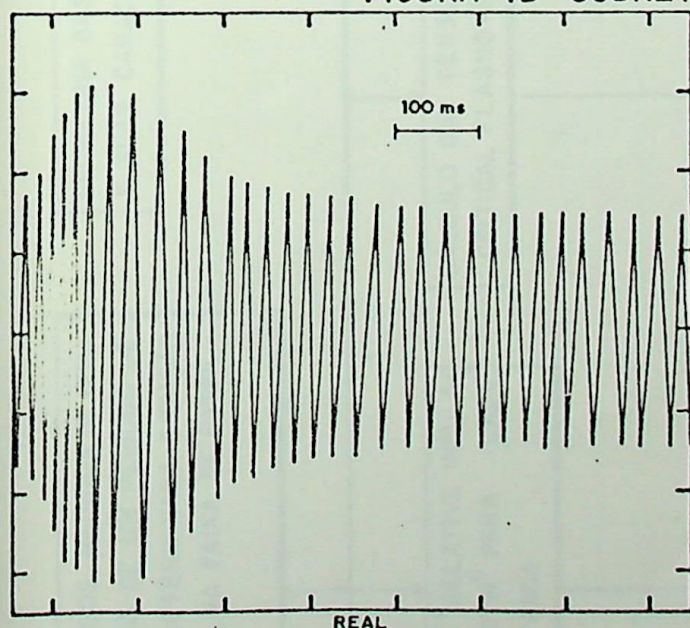
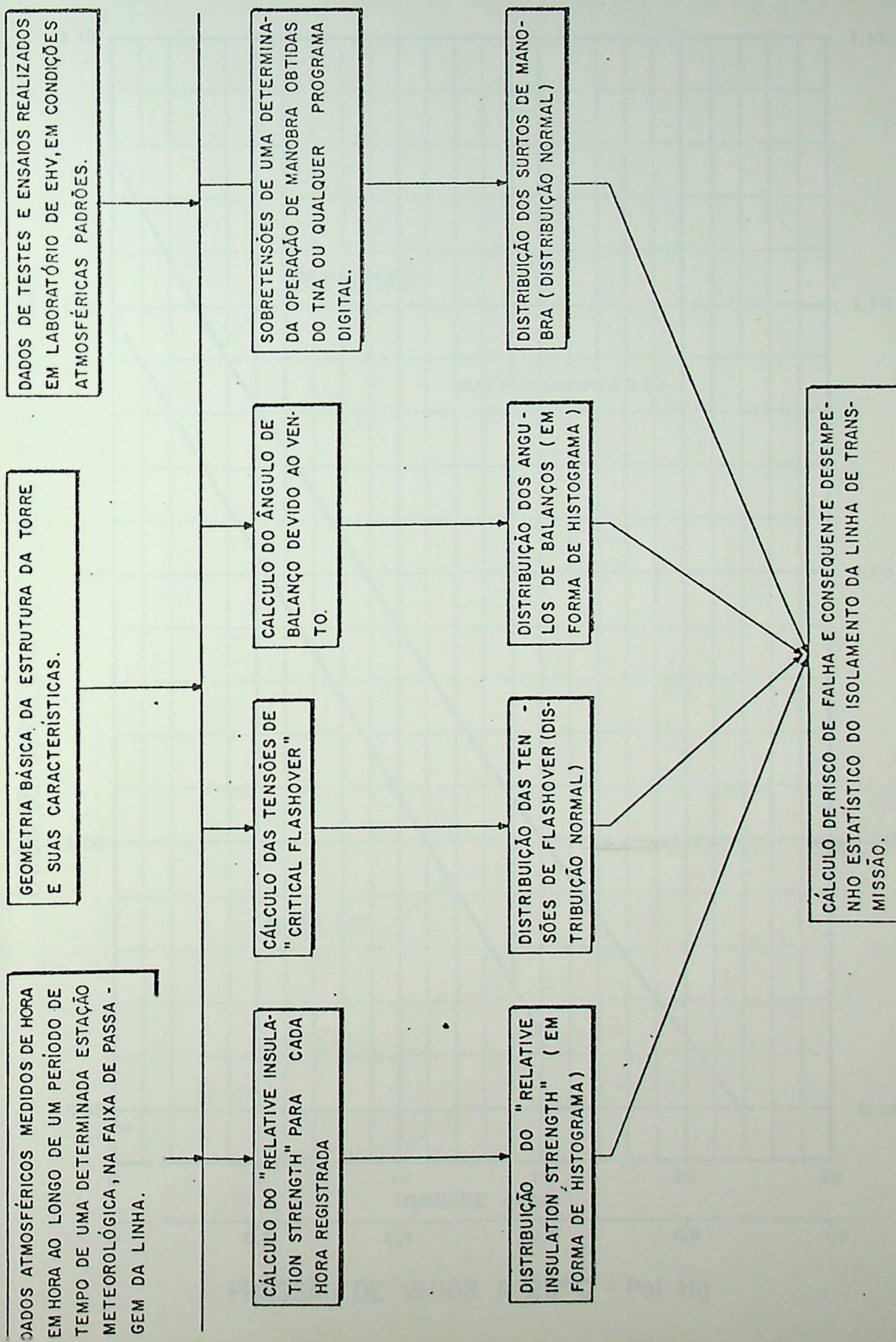
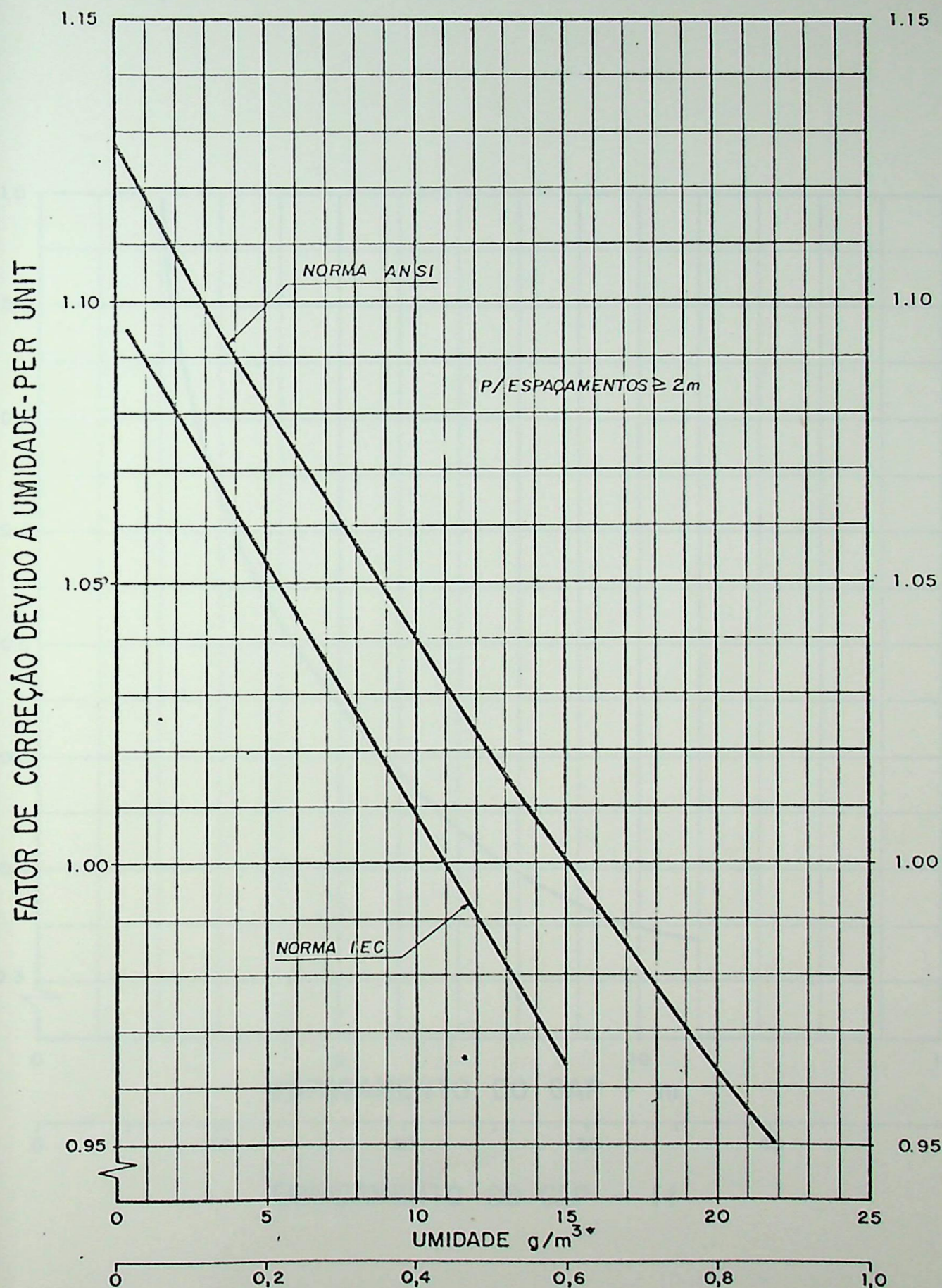


FIGURA 1C - SOBRETENSÃO A FREQUÊNCIA IMPRESSA

FLUXOGRAMA SIMPLIFICADO

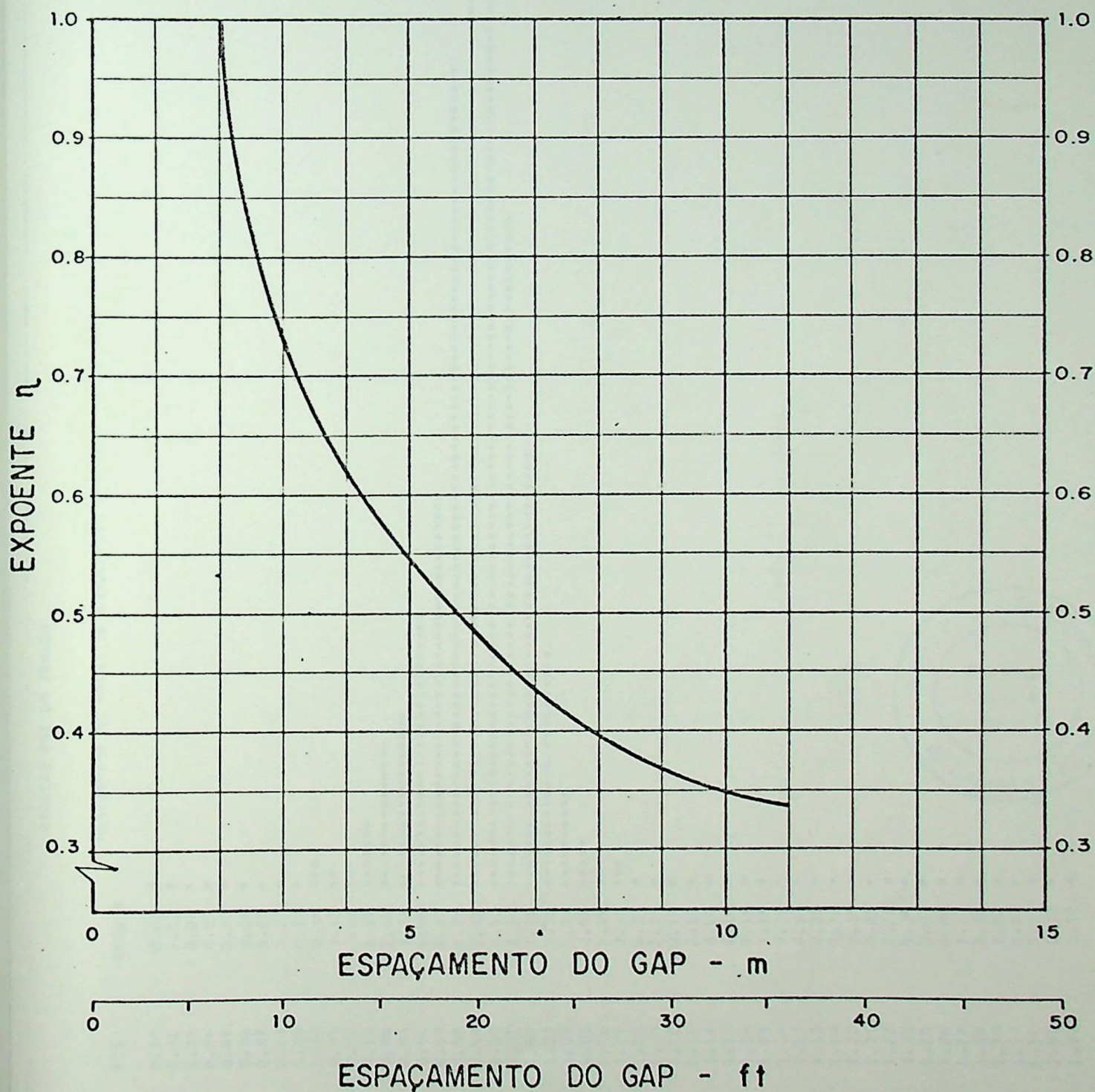


FATOR DE CORREÇÃO DEVIDO A UMIDADE



PRESSÃO DE VAPOR A 25°C - Pol. Hg

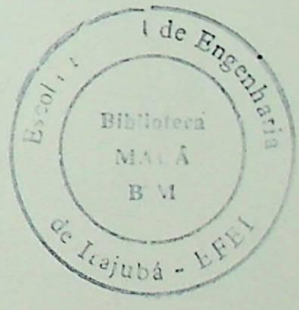
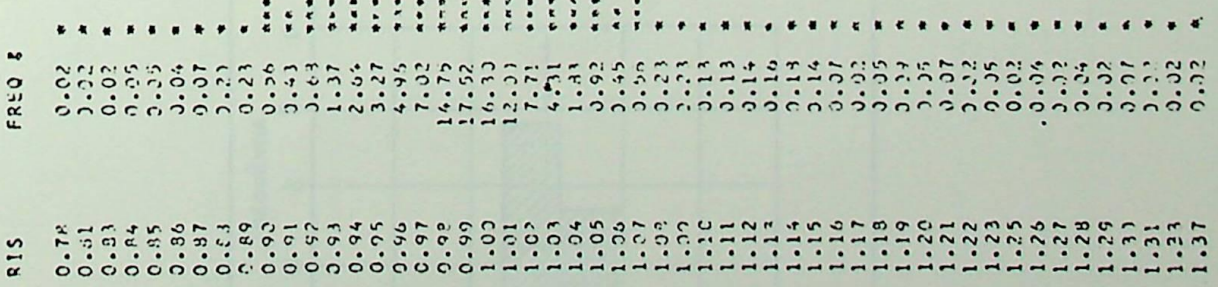
CORREÇÃO DO "RIS" COM O COMPRIMENTO DO GAP



ESQUEMA COMPUTACIONAL

CARTÃO-INPUT DOS DADOS METEOROLÓGICOS PROVENIENTES DE UMA ESTATION METEOROLÓGICA ALEMANESA

ESTACAO F02 DO IGUAÇU
HISTOGRAMA DO RELATIVE INSULATION STRENGTH



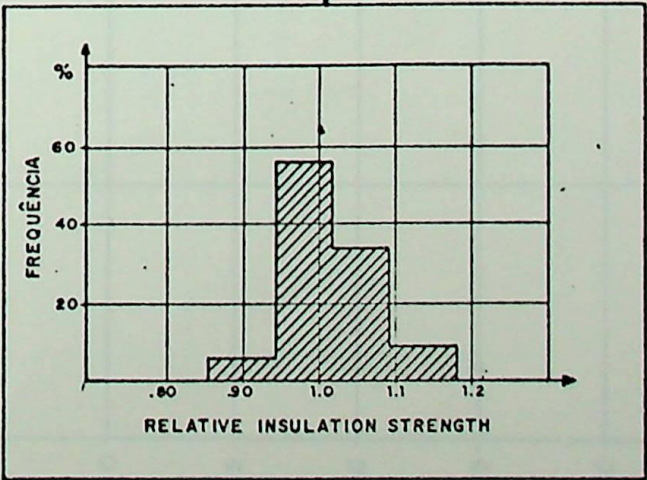
ESQUEMA COMPUTACIONAL

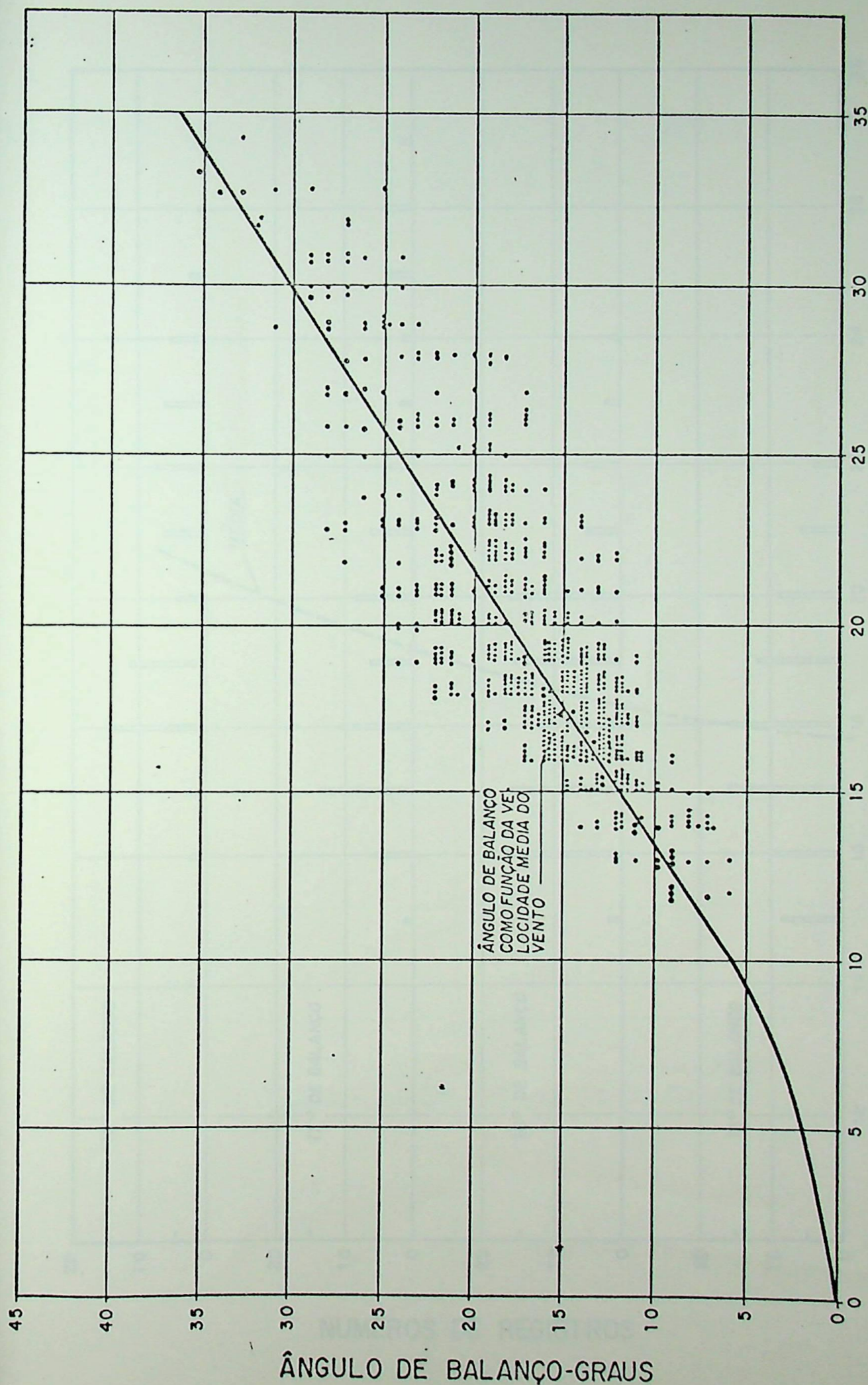
CARTÃO-INPUT DOS DADOS METEOROLÓGICOS PROVENI -
ENTES DE UMA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA SELECIONADA.

ESTAÇÃO CÓDIGO	DATA			VENTO		PRESSÃO xxx	TEMPERATURA		CHUVA
	DIA	MES	ANO	DIREÇÃO	VELOCIDADE		B. SECO xxx	B. UMIDO xxx	

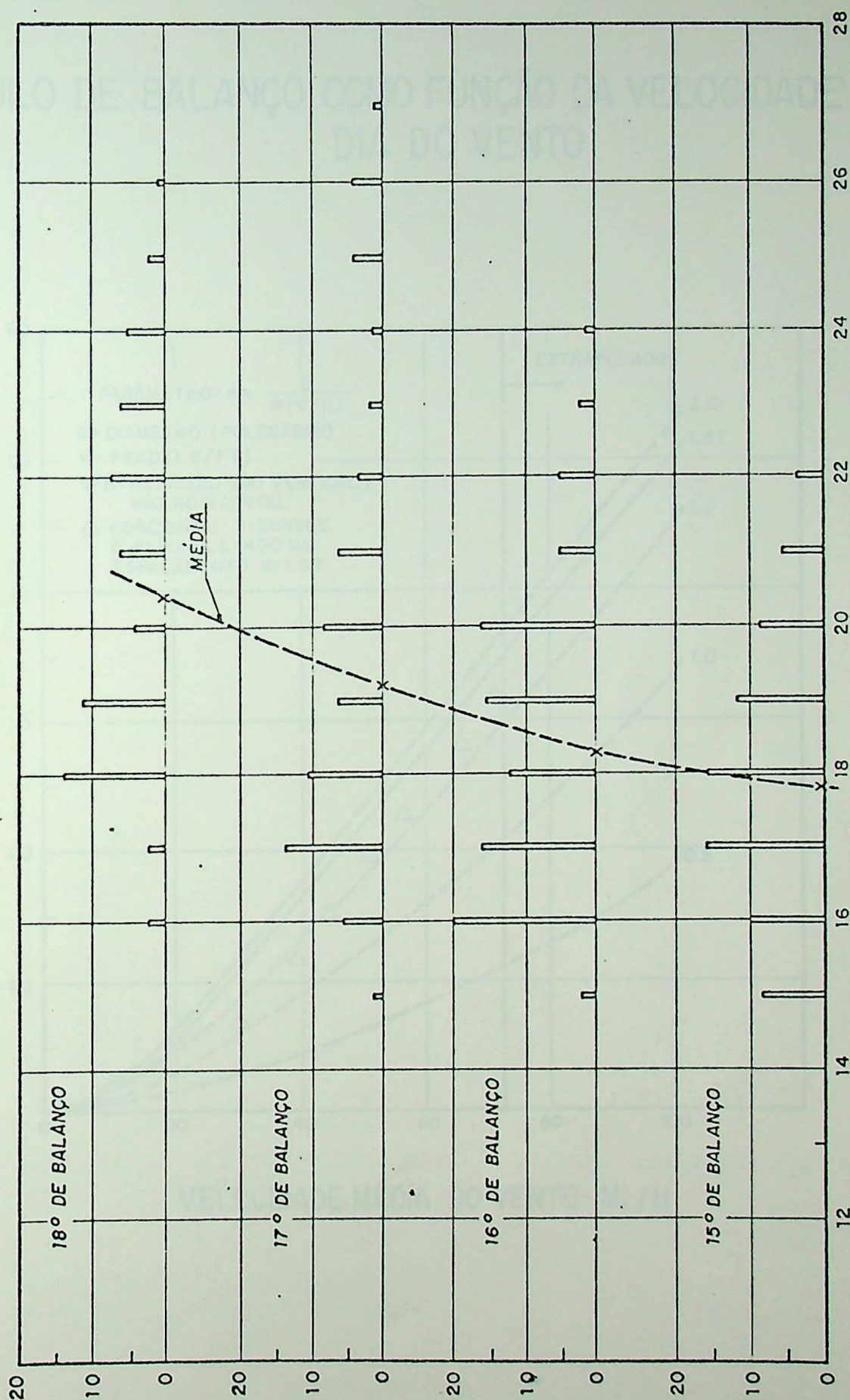
CÁLCULO DO RIS
(APLICAÇÃO DE RELAÇÕES EMPÍRICAS PARA CADA HORA REGISTRADA)

SUMÁRIO DO PERÍODO DE VARIOS ANOS DE LEITURA





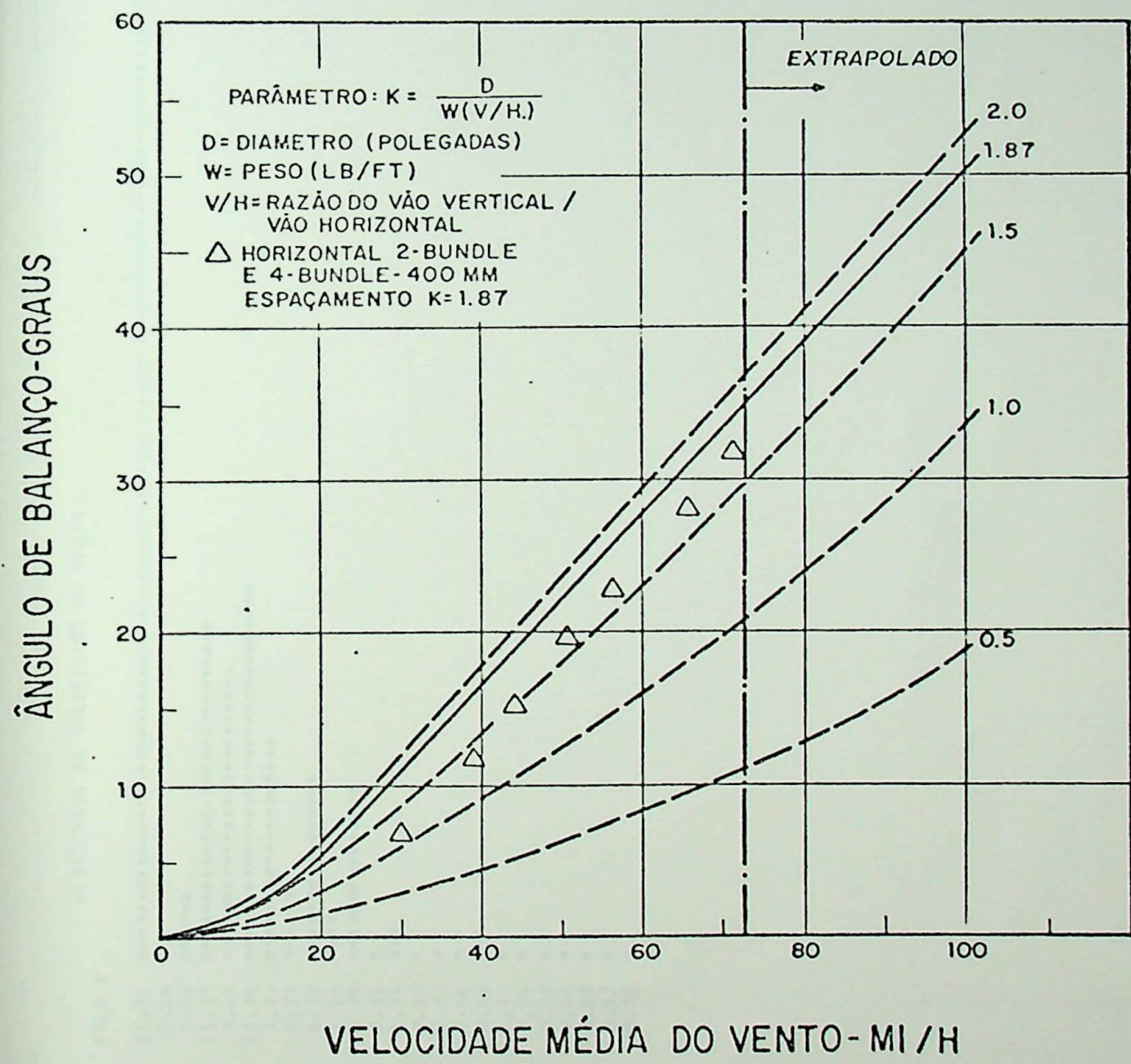
ÂNGULO DE BALANÇO COMO FUNÇÃO DA VELOCIDADE INSTANTÂNEA DO VENTO NA TORRE



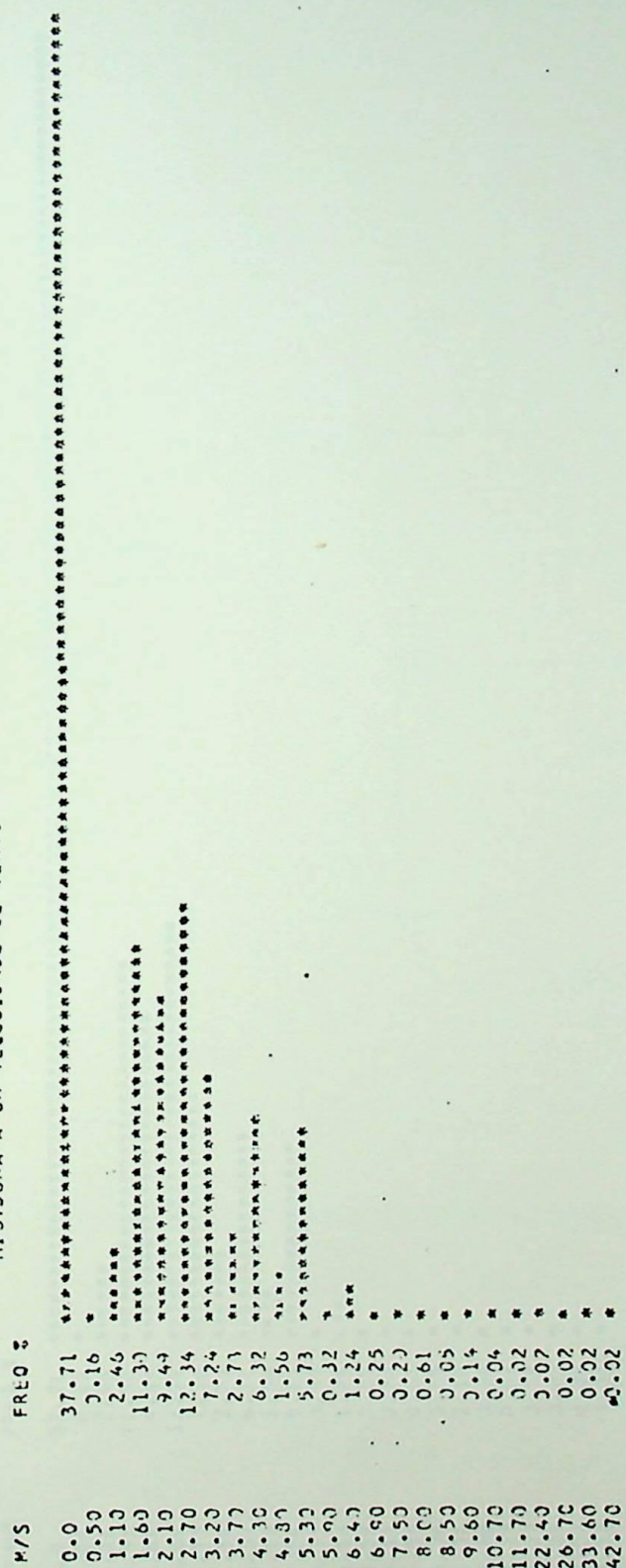
NUMEROS DE REGISTROS

VELOCIDADE INSTANTÂNEA DO VENTO NA TORRE - METROS/SEG.
HISTOGRAMA DE REGISTRO DE VELOCIDADES DO VENTO, PARA 15°, 16°, 17° e 18°
ÂNGULO DE BALANÇO (GRAUS)-VARIACÃO DA MÉDIA INDICADA

ÂNGULO DE BALANÇO COMO FUNÇÃO DA VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO



HISTOGRAMA DA VELOCIDADE DE VENTO

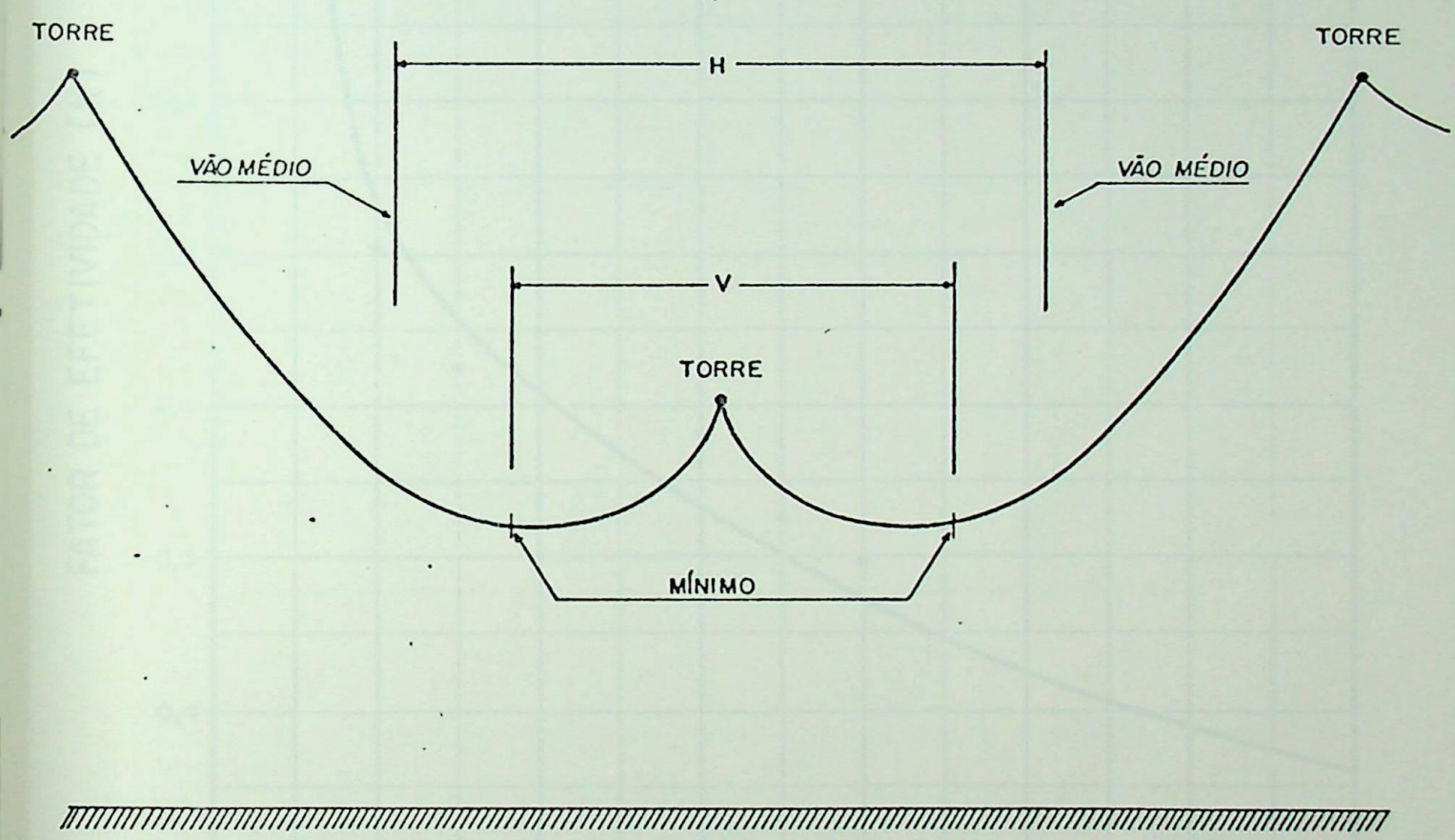


HISTOGRAMA DOS ANGULOS DE BALANÇO

GRAUS	FREQ
0.0	37.71
0.08	0.15
0.31	2.46
0.51	11.30
0.64	9.49
0.89	12.36
1.13	7.24
1.36	2.73
1.59	6.32
1.84	1.56
2.24	5.73
2.72	0.32
3.13	1.24
3.57	0.25
4.11	0.23
4.58	0.01
5.06	0.05
6.31	0.14
7.80	0.04
9.28	0.02
24.22	0.02
30.04	0.02
32.01	0.02
53.18	0.02

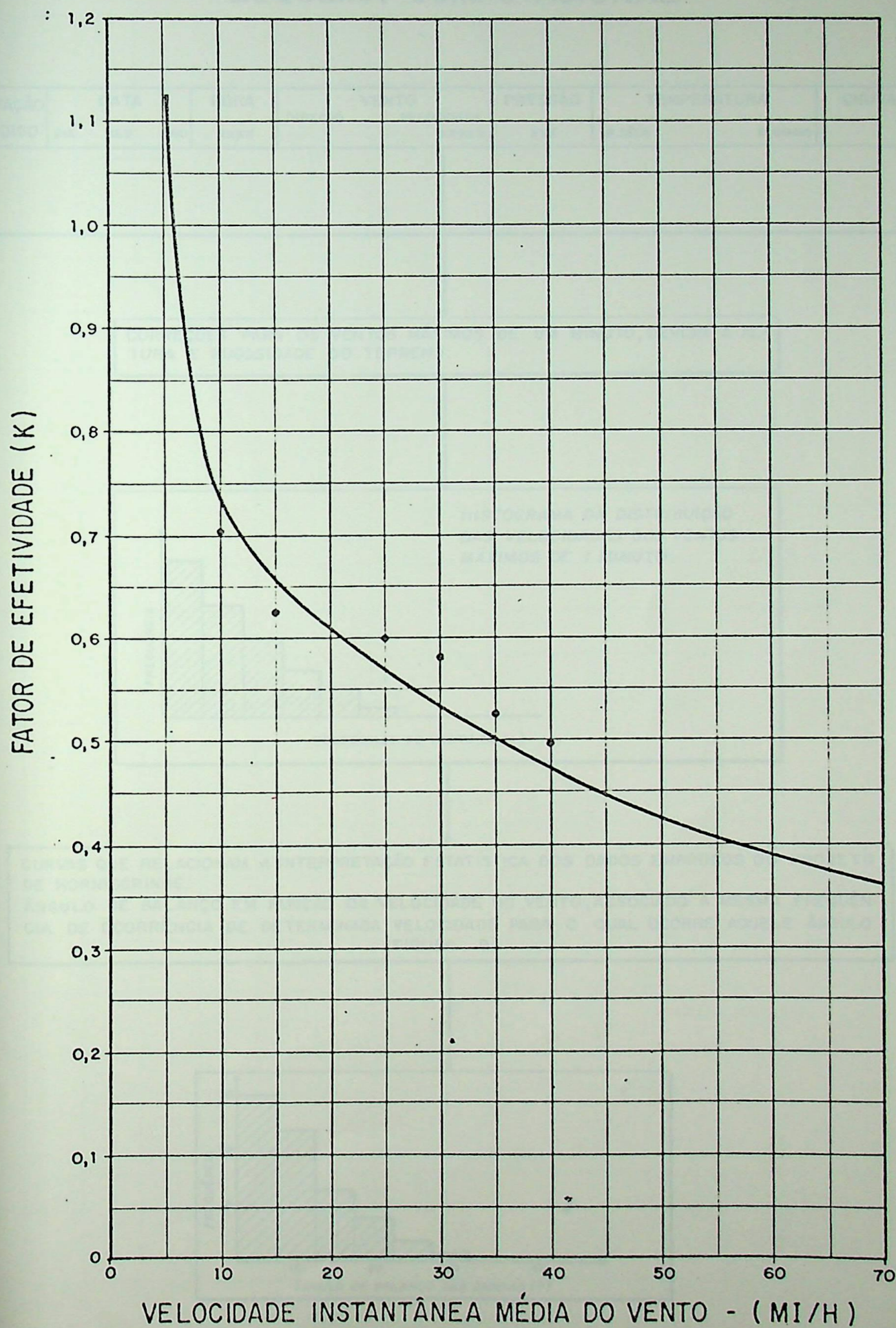
FATOR DE EFETIVIDADE DO VENTO

DIAGRAMA DO VÃO VERTICAL E VÃO HORIZONTAL PARÂMETROS H e V



ELOCIDADE INSTANTÂNEA MÉDIA DO VENTO (M/S)

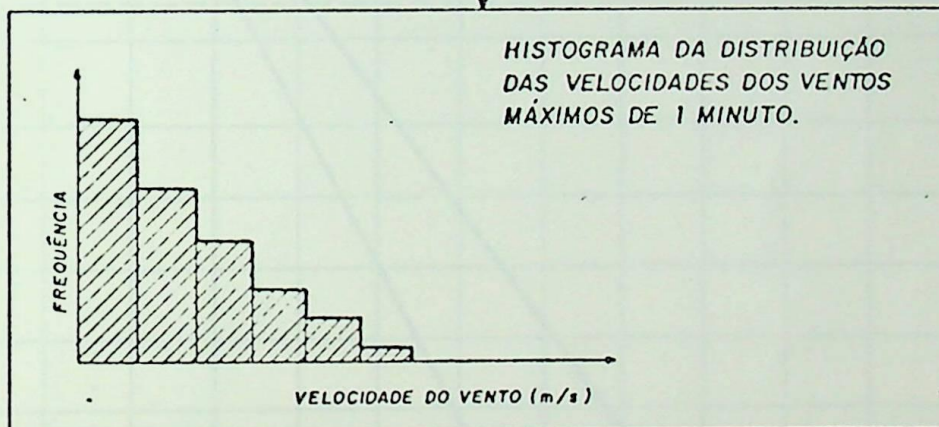
FATOR DE EFETIVIDADE DO VENTO



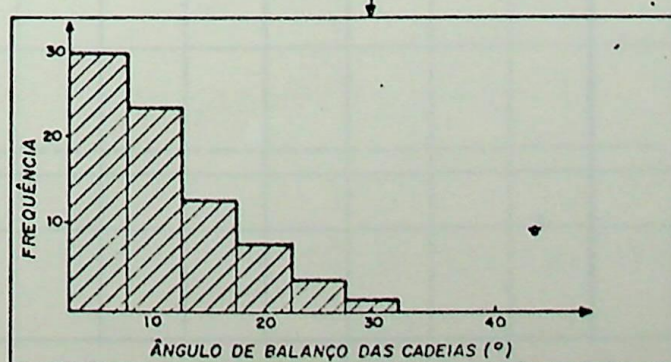
ESQUEMA COMPUTACIONAL

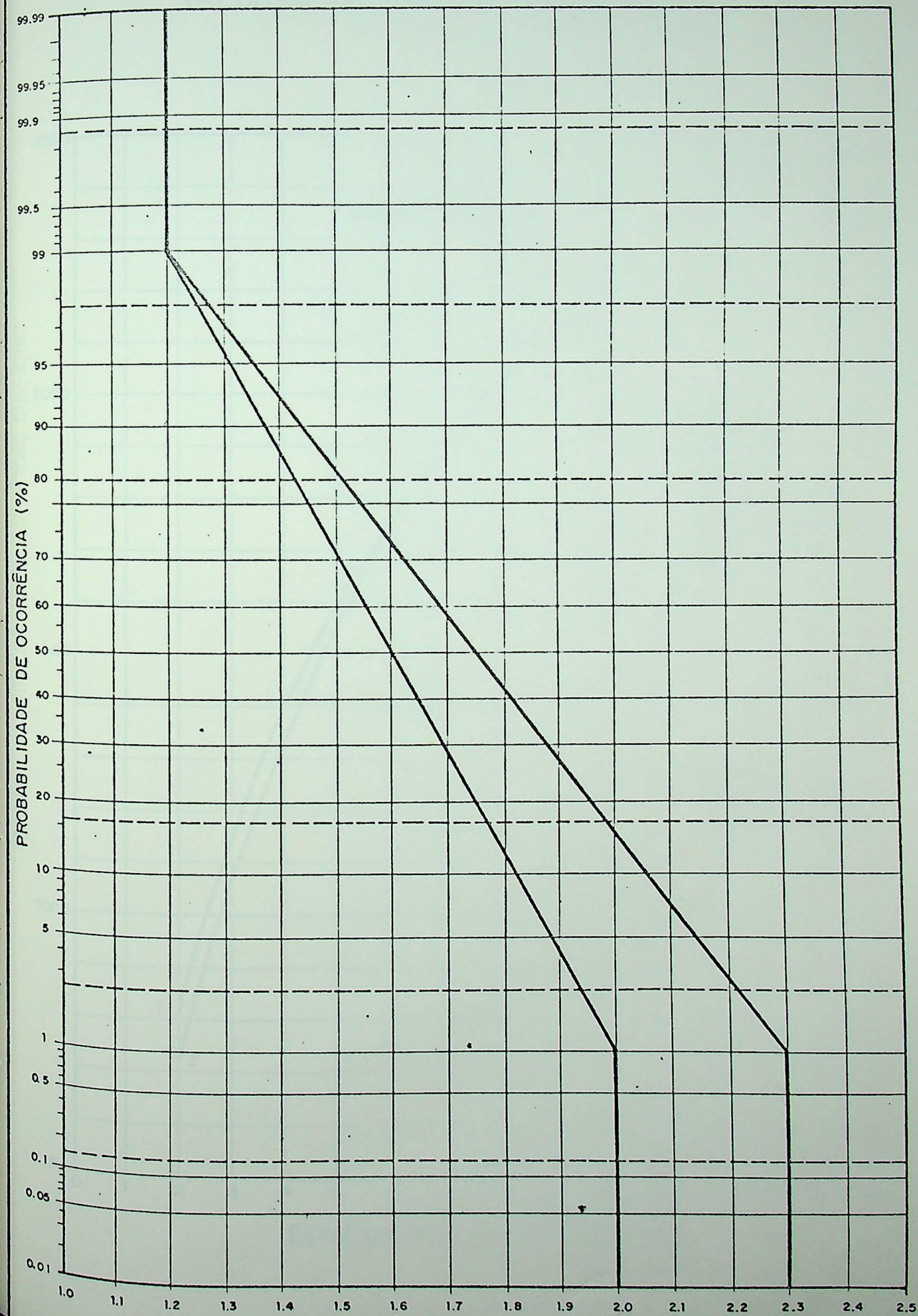
ESTAÇÃO CÓDIGO	DATA			HORA XXXX	VENTO		PRESSÃO XXX	TEMPERATURA		CHUVA
	DIA	MES	ANO		DIREÇÃO	VELOCIDADE XXXXX		B. SECO	B. ÚMIDO	

CORREÇÕES PARA OS VENTOS MÁXIMOS DE UM MINUTO, DEVIDO A ALTURA E RUGOSIDADE DO TERRENO.

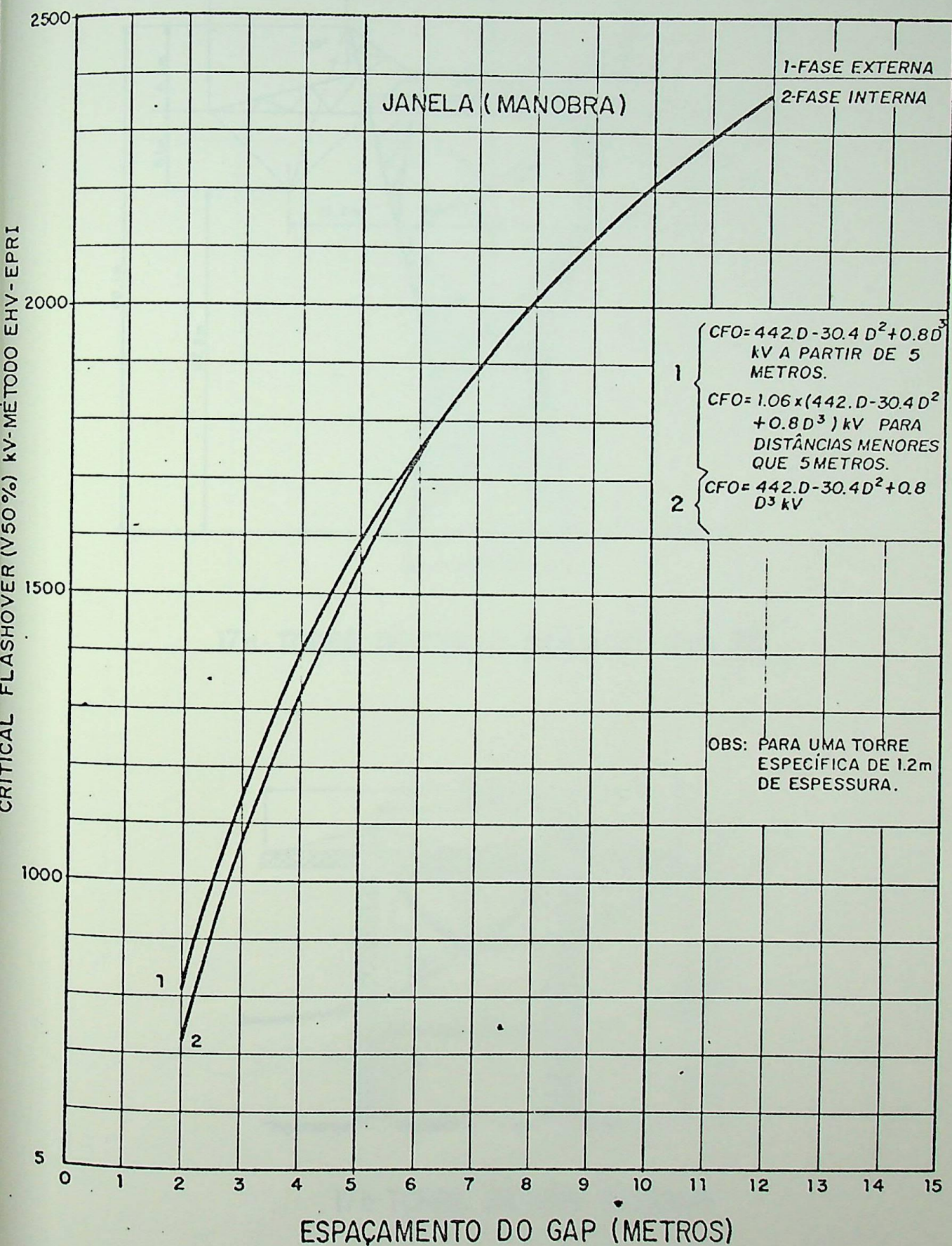


CURVAS QUE RELACIONAM A INTERPRETAÇÃO ESTATÍSTICA DOS DADOS EMPÍRICOS DO PROJETO DE HORNISGRINDE.
ÂNGULO DE BALANÇO EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DO VENTO, ASSOCIADO A MESMA FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA DE DETERMINADA VELOCIDADE PARA O QUAL OCORRE AQUELE ÂNGULO (FIGURA 9)

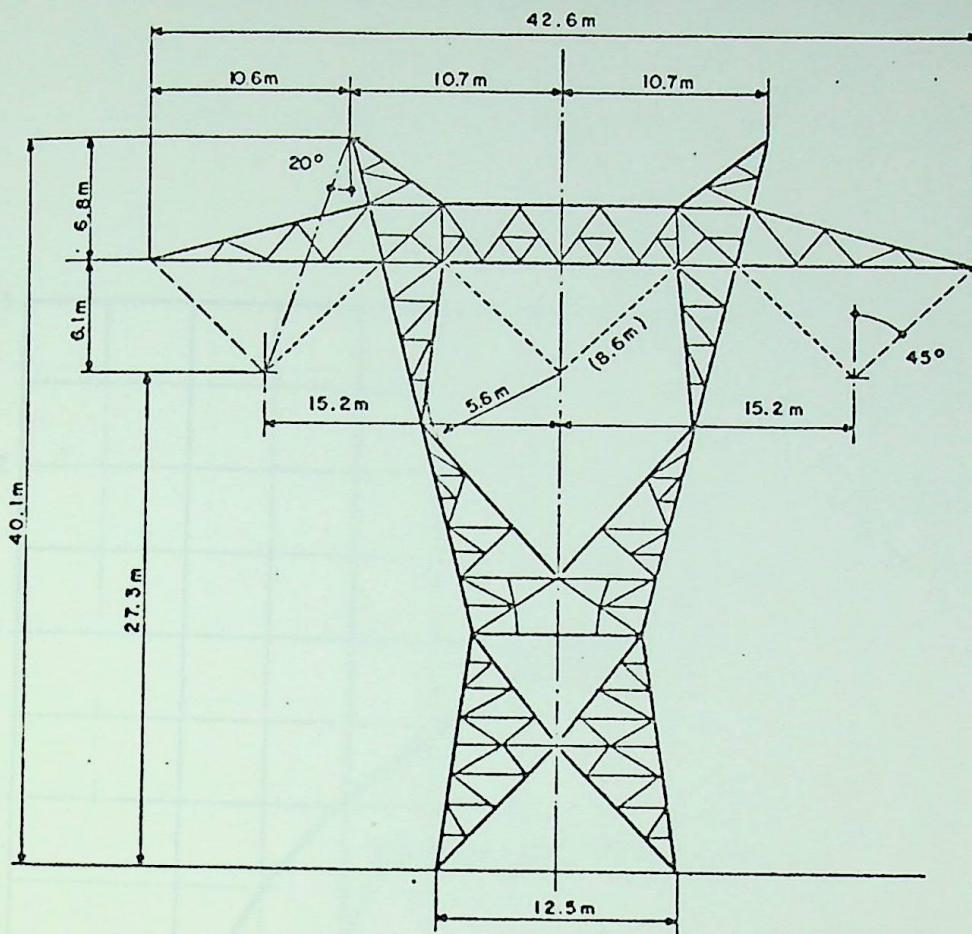


DISTRIBUIÇÃO CUMULATIVA DOS SURTOS DE MANOBRA
DE MAGNITUDE MÁXIMA

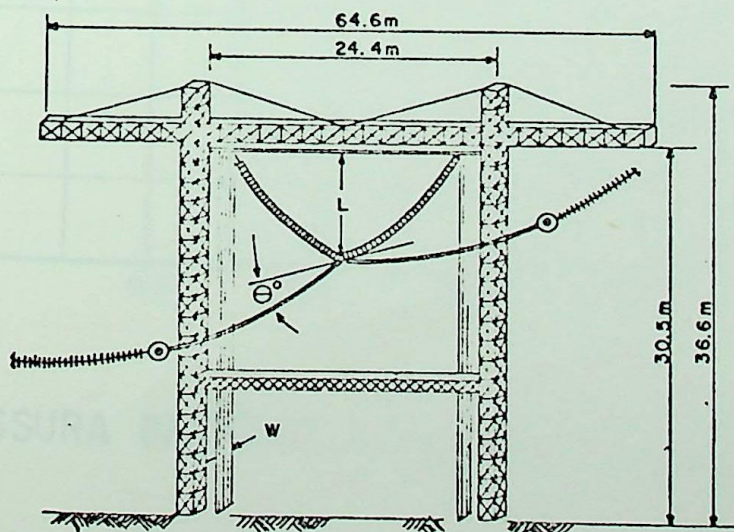
VALORES DE CRITICAL FLASHOVER



TORRES TESTADAS NO PROJETO EHV-EPRI

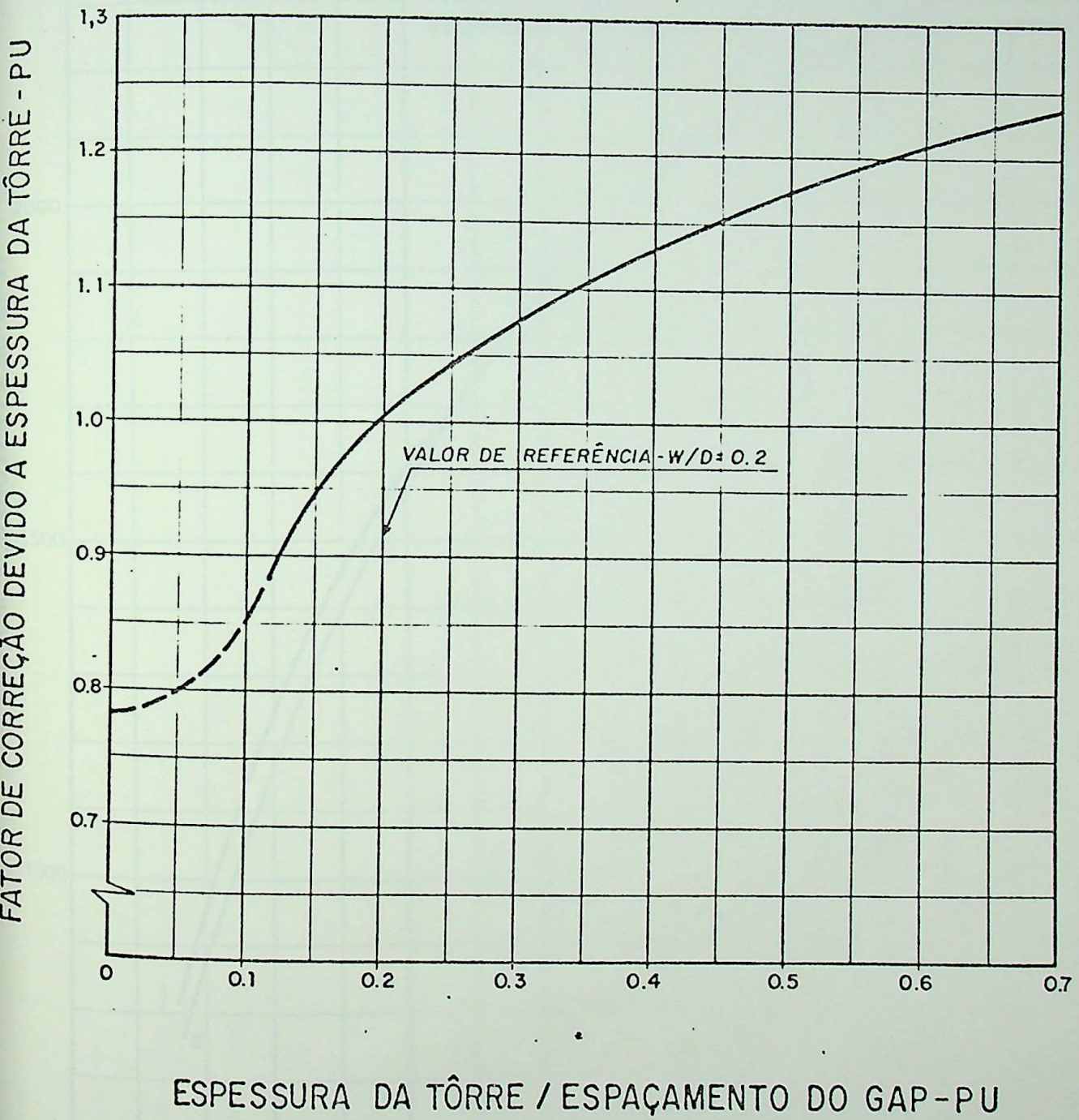


17a- TORRE DE 735 kV- CIRCUITO SIMPLES

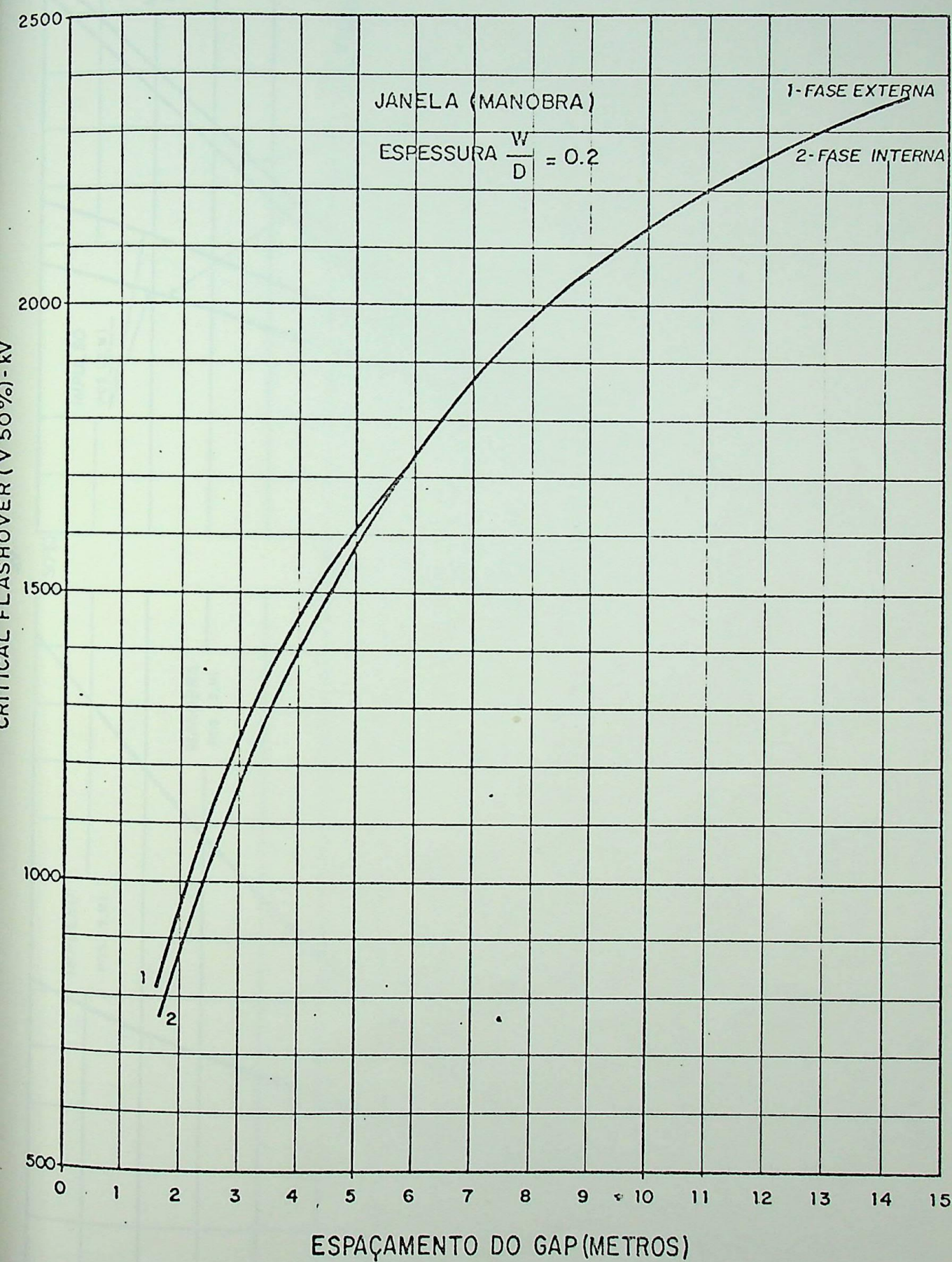


17b- TORRE DE UHV TESTADA

FATOR DE CORREÇÃO DEVIDO A ESPESSURA DA TÔRRE

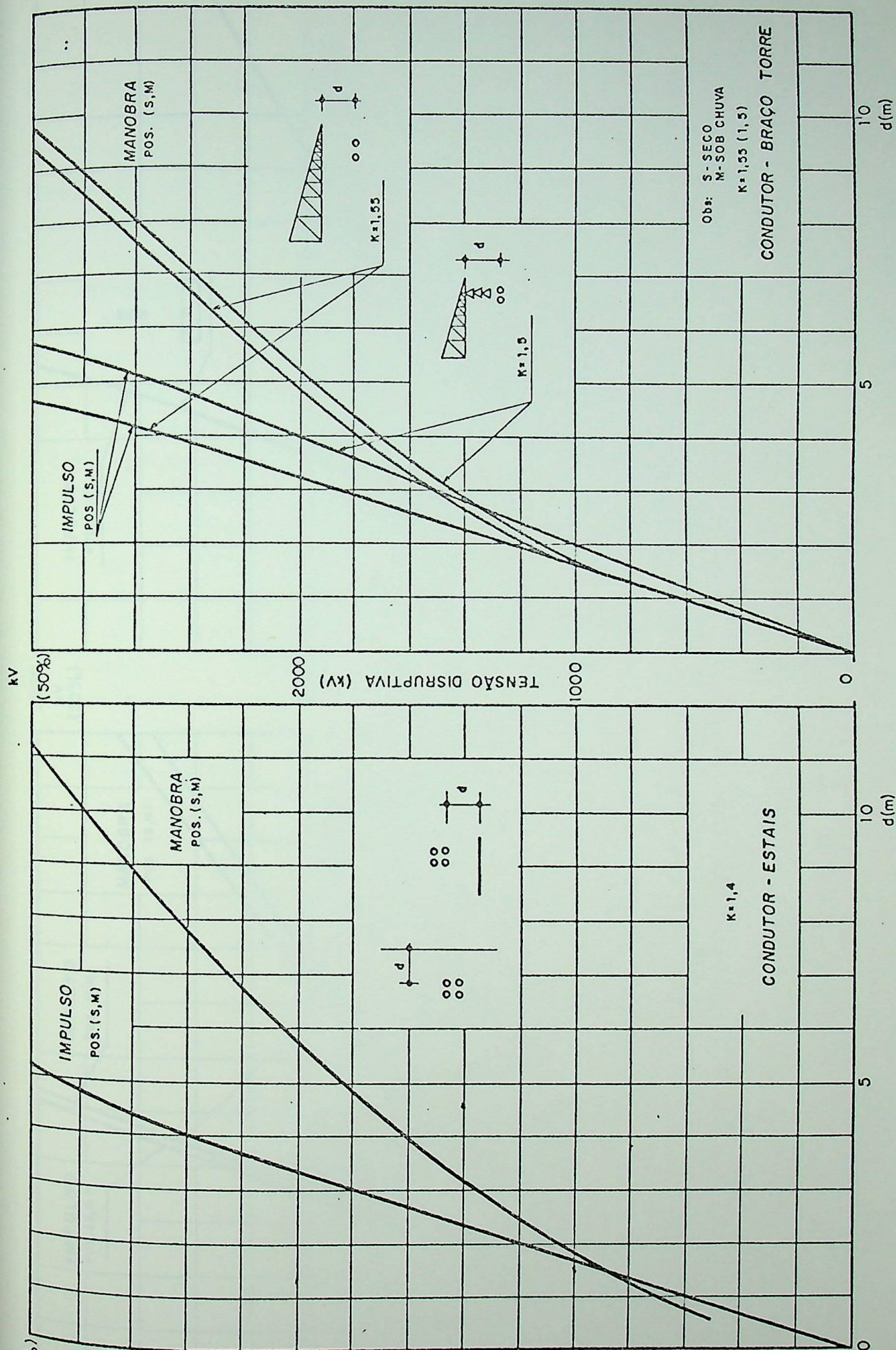


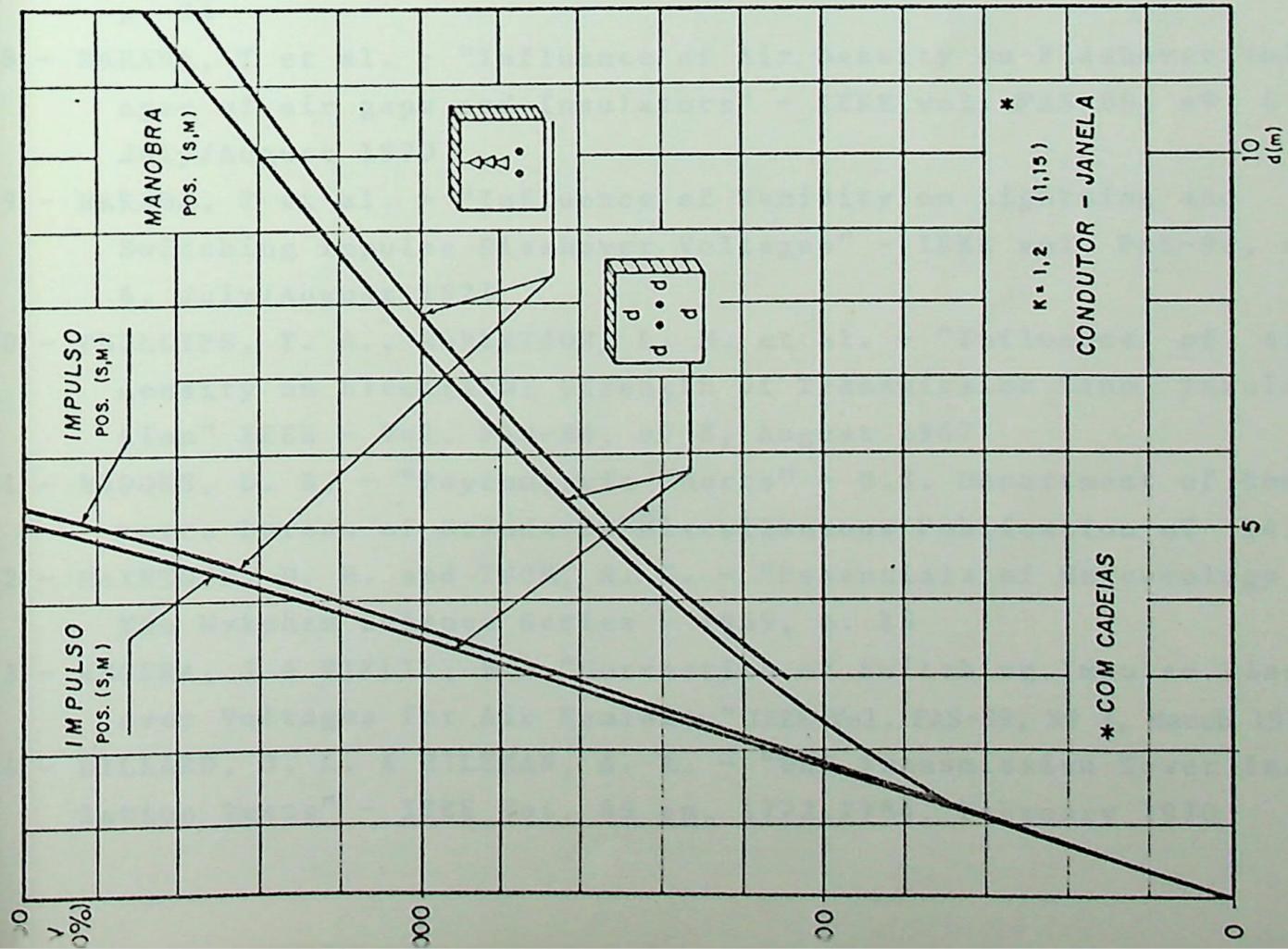
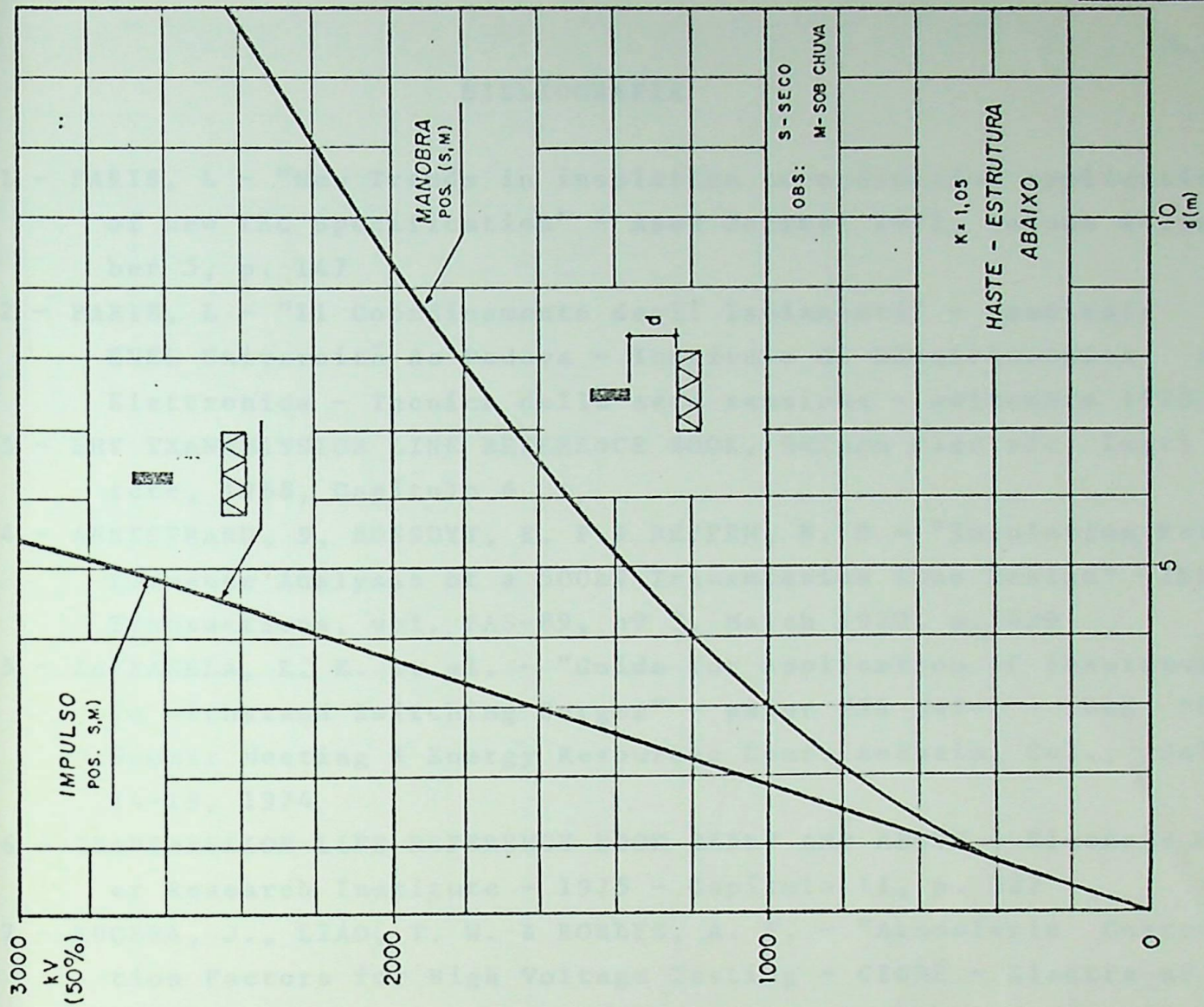
VALORES DE CRITICAL FLASHOVER (CURVA PADRONIZADA)



SUPORTABILIDADE DE GAPS INDEPENDENTES - I VALORES DE CFO

FIGURA - 20



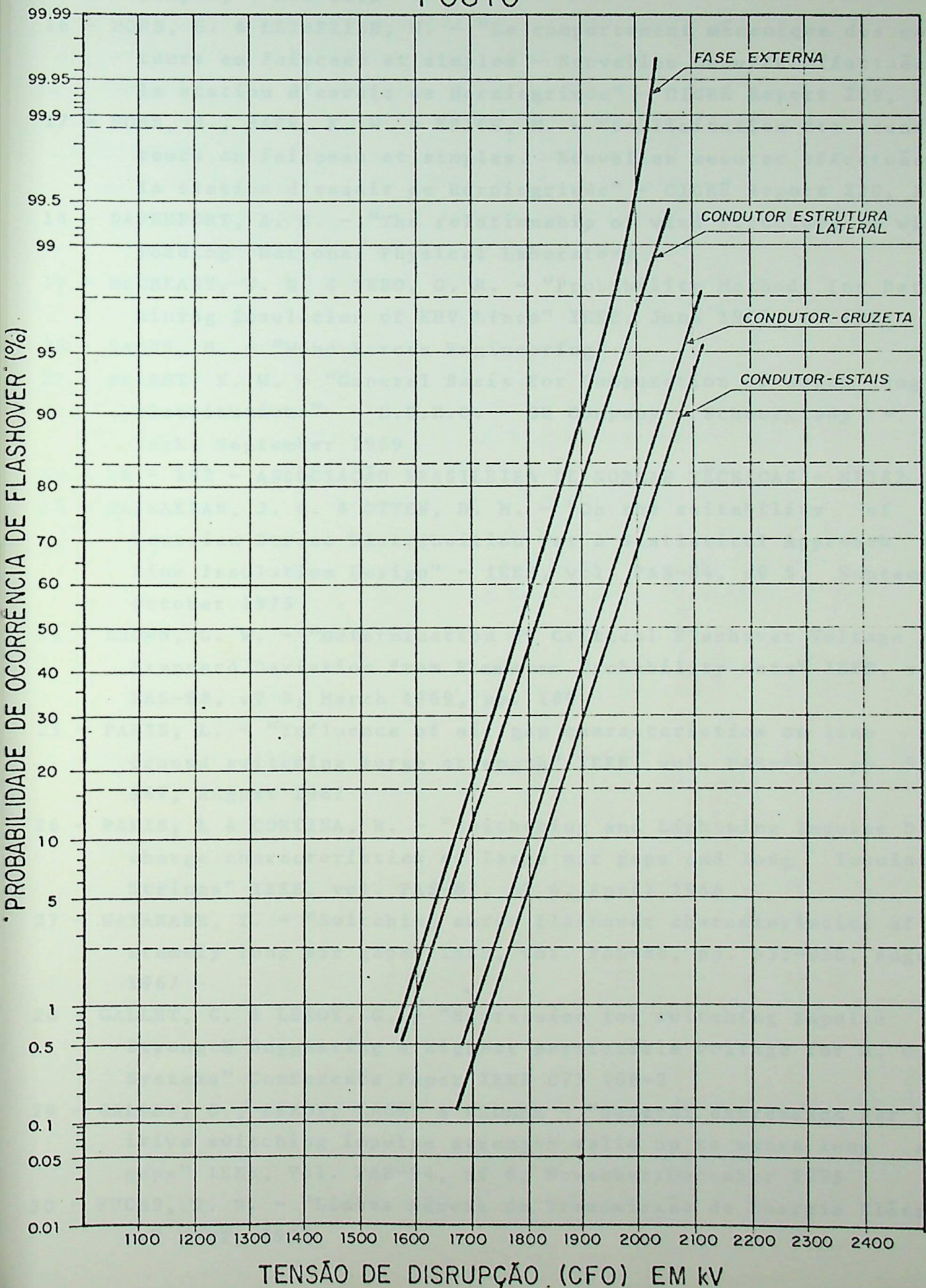


SUPORTABILIDADE DE GAPS INDEPENDENTES - II VALORES DE CFO

BIBLIOGRAFIA

- 1 - PARIS, L - "New Trends in insulation co-ordination application of new IEC Specification" - Asea Journal 1971, volume 44, number 5, p. 147
- 2 - PARIS, L - "Il Coordinamento degli Isolamenti" - Fascicolo V ENEL Università de Padova - Istituto di Elettrotecnica ed Elettronica - Tecnica delle sete tensione - settembre 1970
- 3 - EHV TRANSMISSION LINE REFERENCE BOOK, Edison Electric Institute, 1968, Capítulo 6
- 4 - ANNESTRAND, S, BOSSUYT, E. F & REPPEN, N. D - "Insulation Performance Analysis of a 500kV Transmission Line Design" - IEEE Transactions, vol. PAS-89, nº 3, March 1970, p. 429
- 5 - ZAFFANELA, L. E. et al. - "Guide for Application of Insulators to withstand Switching Surges" - paper T74 347-1 - IEEE PES Summer Meeting & Energy Resources Conf. Anaheim, Cal., July 14-19, 1974
- 6 - TRANSMISSION LINE REFERENCE BOOK 345kV AND ABOVE - Electric Power Research Institute - 1975 - Capítulo 11, p. 327
- 7 - KUCERA, J., LIAO, T. W. & ROHLFS, A. F. - "Atmospheric Correction Factors for High Voltage Testing - CIGRÉ - Electra nº 21, p. 74
- 8 - HARADA, T et al. - "Influence of Air Density on Flashover Voltages of air gaps and Insulators" - IEEE vol. PAS-89, nº 6, July/August 1970
- 9 - HARADA, T et al. - "Influence of Humidity on Lightning and Switching Impulse Flashover Voltages" - IEEE vol. PAS-90, nº 4, July/August 1971
- 10 - PHILLIPS, T. A., ROBERTSON, L. M. et al. - "Influence of air density on Electrical Strength of Transmission Line Insulation" IEEE - Vol. PAS-86, nº 8, August 1967
- 11 - BROOKS, D. B. - "Psychometric Charts" - U.S. Department of Commerce Bureau of Standards Miscellaneous Publication nº 143
- 12 - McINTOSH, D. H. and THOM, A. S. - "Essentials of Meteorology" The Wykeham Science Series - 1969, p. 15
- 13 - KUCERA, J & FIKLIK, V - "Correction of Switching Impulse Flashover Voltages for Air Humidity" IEEE-Vol. PAS-89, Nº 3, March 1970
- 14 - DILLARD, J. K. & HILEMAN, A. R. - "UHV Transmission Tower Insulation Tests" - IEEE Vol. 89 pp. 1772.1784, February 1970

PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DE FLASHOVER NO Gap COM-
POSTO



- 15 - FAIRS, V. M. - "Thermodynamics" - fourth edition - The MacMillan Company - New York
- 16 - MORS, H. & LEIBFRIED, W. - "Le comportement mécanique des conducteurs en faisceau et simples - Nouvelles mesures effectuées à la station d'essais de Hornisgrinde" - CIGRÉ Report 209, 1960
- 17 - MORS, H., BAER, K. W. & ERICH, M. - "Sollicitation des conducteurs en faisceau et simples. Nouvelles mesures effectuées à la station d'essais de Hornisgrinde" - CIGRÉ Report 220, 1956
- 18 - DAVENPORT, A. G. - "The relationship of wind structure to wind loading" National Physical Laboratory
- 19 - McCREARY, W. H. & TEBO, G. R. - "Probability Method for Determining Insulation of EHV Lines" IEEE, June 1962, p. 192
- 20 - SACHS, P. - "Wind Forces Engineering"
- 21 - PRIEST, K. W. - "General Basis for Computation of swing angle distributions" - E.U.E.O. - GE Company - Schenectady - New York, September 1969
- 22 - NB - 182 - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NB182
- 23 - KASSAKIAN, J. G. & OTTEN, D. M. - "On the suitability of a Gaussian Stress Distribution for a Statistical Approach to Line Insulation Design" - IEEE, vol. PAS-84, n° 5, September/October 1975
- 24 - BROWN, G. W. - "Determination of Critical Flashover Voltage and Standard Deviation from Flashover Probability data" IEEE, vol. PAS-88, n° 3, March 1969, pp. 189
- 25 - PARIS, L. - "Influence of air gap characteristics on line to ground switching surge strength" IEEE, vol. PAS-86, pp. 936-947, August 1967
- 26 - PARIS, L & CORTINA, R. - "Switching and Lightning Impulse Discharge characteristics of large air gaps and long Insulator Strings" IEEE, vol. PAS-87, n° 4, April 1968
- 27 - WATANABE, Y. - "Switching surge flashover characteristics of extremely long air gaps" IEEE, vol. PAS-86, pp. 933-936, August 1967
- 28 - GALLET, G. & LEROY, G. - "Expression for switching Impulse Strength Suggesting a highest permissible voltage for A. C. Systems" Conference Paper IEEE C73 408-2
- 29 - GALLET, G., LEROY, LACEY & KROMER - "General expression for positive switching impulse strength valid up to extra long air gaps" IEEE, Vol. PAS-94, n° 6, November/December 1975
- 30 - FUCHS, R. D. - "Linhas Aéreas de Transmissão de Energia Elétrica" EFEI, 1973

- 31 - HILEMAN, A. R., LEBLANC, P. R. & BROWN, G. W. - "Estimating the switching surge performance of transmission lines" IEEE, vol. PAS-89, n° 7, September/October 1970
- 32 - BARIL, G. A., GUERTIN, M. B. & MCGILLIS, D. - "Overvoltage and Insulation Coordination Analysis and Application for 735kV " CIGRÉ n° 33-09
- 33 - ARCHAMBAULT, J. J., GUERTIN, M. B. & MCGILLIS, D.- " Insulation Coordination Standardization an Application Guide" - Canadian Electrical Association System Planning and Operation Section Montreal, March 1972
- 34 - ARCHAMBAULT, J. J. & MCGILLIS, D. - "Hydro Quebec 735/765kV ' System with particular reference to external insulation Co-ordination at EHV and UHV - American Power Conference
- 35 - GUERTIN, M. B., MCGILLIS, D. & SNIDER, L. - "System Overvoltage Studies" - IREQ - Canadian Electrical Association, Montreal, March 25, 1974
- 36 - MENEMENLIS, C. & MCGILLIS, D - "Air Insulation of EHV and UHV Transmission Systems with particular reference to Hydro Quebec's 735/765kV Network" -Pan American Congress of Mechanical, Electrical and Allied Engineering Branches, Bogota, August 12 to 18, 1973
- 37 - MCGILLIS, D - "The Coordination of External Insulation at Extra High Voltages - Present and Future Systems" - Toronto, October 1971 .
- 38 - SUZUKI, T, KISHIGIMA, I. OHUCH, Y. & ANJO, K. - "Parallel Multi gap Flashover Probability" IEEE, vol. OAS-88, n° 12, December 1969
- 39 - PRICE, W. S. & SAUVE, G. G. - "Insulation Coordination and Conductor Selection for the Churchill Falls 735kV Transmission Lines" - Bechtel Corporation and Acres Canadian Bechtel of Churchill Falls, Montreal, Quebec
- 40 - ANDERSON, J. G. & BARTHOLD, L. O. - "METIFOR - A Statistical Method for Insulation Design of EHV Lines" - IEEE, vol. PAS-83 , March 1964, p. 271
- 41 - ANDERSON, J. G. & THOMPSON, R. L. - "The Statistical Computation of line performance using METIFOR" - IEEE, vol. PAS-85, n° 6, p. 677
- 42 - PARIS, L. - "Terminology concerning the study of insulation coordination from the probabilistic point of view" - CIGRÉ - ELECTRA n° 26

- 43 - "INSULATION COORDINATION" - International Electrotechnical
: Commission - 1972
- 44 - REPPEN, N. D. - "Significance of Assumptions in Switching Surge
Flashover Calculations" IEEE- Conference paper n° 70CP39 -
PWR
- 45 - ABRAMOVITZ, M. & STEGUN, I. A. - "Handbook of Mathematical
Functions" - Dover Publications Inc., New York.
- 46 - BOYD, H. A.; ROHLFS, ZAFFANELA L. E. - "Phase-to-ground and
phase-to-phase switching surge flashover of external insulation
of UHV Stations, IEEE T73418-1

APÊNDICE I

CÁLCULO DA UMIDADE ABSOLUTA (h)

Define-se razão da umidade ou umidade específica do ar, como a razão entre a massa de vapor d'água e a massa de ar seco.

Admitindo-se que se comportem como gases perfeitos, o ar seco e o vapor d'água, tem-se as seguintes expressões da umidade⁽¹⁵⁾:

$$W = \frac{m_v}{m_a} = \frac{V_a}{V_v} = \frac{P_v \cdot R_a}{P_a \cdot R_v}$$

sendo P a pressão atmosférica e os índices a e v referem-se, respectivamente, ao ar seco e ao vapor d'água.

Se a expressão acima é aplicada para uma mistura de ar, usando

$$R_a = 29.29 \frac{\text{kgm}}{\text{kg}^\circ\text{K}} \quad \text{e} \quad R_v = 47.09 \frac{\text{kgm}}{\text{kg}^\circ\text{K}}$$

como sendo as constantes do ar seco e do vapor d'água, teremos:

$$W = \frac{29.29}{47.09} \frac{P_v}{P_a} = 0.622 \frac{P_v}{P_a} \quad (1)$$

Considerando, também, a equação característica dos gases perfeitos:

$$P_a V_a = \frac{\bar{R}}{M_a} T_a$$

onde: P_a - pressão do ar seco (atm)

V_a - volume específico ($\frac{\text{dm}^3}{\text{g}}$)

M_a - massa molecular ($M_a = 28,966 \frac{\text{lb}}{\text{mol}}$)

$\bar{R}$ - constante universal dos gases ($\bar{R} = 0,08206 \frac{\text{atm} \cdot \text{dm}^3 \cdot \text{mol}}{\text{g}^\circ\text{K}}$)

$$P_a = \frac{0.08206}{28.966} \times \frac{T_a}{V_a} = 0.002833 \frac{T_a}{V_a} \text{ (atm)}$$

Generalizando para uma temperatura $t^\circ\text{C}$, tem-se:

$$P_a = 0.002833 \frac{(273 + t)}{V_a} \text{ (atm)} \quad (2)$$

Susbtituindo a expressão (2) em (1):

$$W = \frac{0.622}{0.002833} \cdot P_v \cdot \frac{V_a}{(273 + t)}$$

onde:

P_v - pressão do vapor d'água em atm

V_a - volume específico ($\frac{dm^3}{g}$)

t° - $^\circ C$

$$W = 219,557 \frac{P_v \cdot V_a}{273 + t}$$

$$\left(\frac{W}{V_a}\right)_{g/m^3} = 219557 \cdot \frac{P_v}{273 + t}$$

Expressando P_v em pol.Hg:

$$\left(\frac{W}{V_a}\right)_{g/m^3} = 7337.889 \frac{(P_v)_{pol.Hg}}{(t + 273)^\circ C}$$

Considerando as temperaturas padrões das normas IEC e ANSI, têm-se:

$$\text{IEC} \quad t = 20^\circ C \quad \left(\frac{W}{V_a}\right)_{g/m^3} = 25.044 P_v (pol.Hg)$$

$$(h \approx 25P_v)$$

$$\text{ANSI} \quad t = 25^\circ C \quad \left(\frac{W}{V_a}\right)_{g/m^3} = 24.62 P_v (pol.Hg)$$

$$(h \approx 25P_v)$$

O programa CODIN I assume que a relação para ambas as normas é aproximadamente:

$$h = 25VP$$

h - umidade absoluta em g/m^3

VP - pressão do vapor d'água em pol.Hg

APÊNDICE II

CÁLCULO DO ÂNGULO DE BALANÇO DEVIDO À AÇÃO DO VENTO

A pressão exercida pelo vento sobre os cabos condutores é calculada pela fórmula⁽²²⁾:

$$P_v = 0.0045 v^2 k \text{ (kgf/m}^2\text{)}$$

Onde:

v - velocidade do vento km/h

k - coeficiente de efetividade⁽²²⁾ da pressão do vento que leva em consideração a atuação das frentes de vento que, geralmente são mais estreitas que os vãos da linha.

O fator k depende da relação diâmetro (m)/pêso (kg/m)

A área de atuação do vento é dada por:

$$S_c = H \times D$$

Onde:

H - vão médio (em metros)

D - diâmetro do condutor (em metros)

Portanto, a força devido à ação do vento é:

$$F_v = P_v \times S_c$$

O pêso do condutor P_c é:

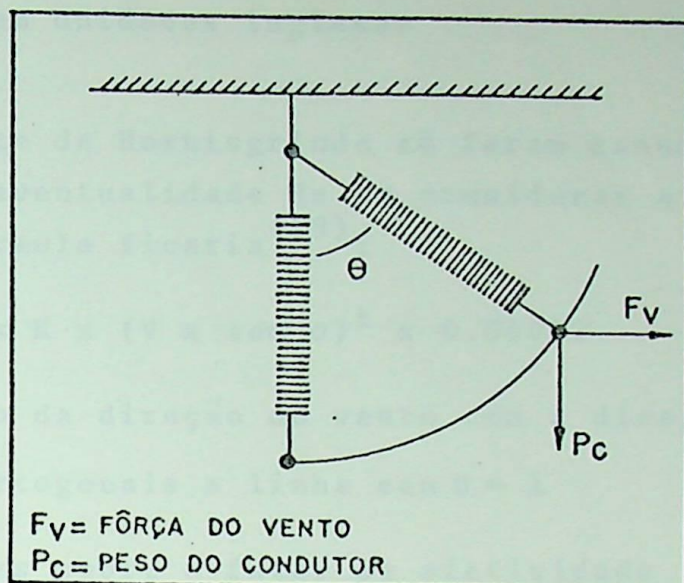
$$P_c = W \times V$$

W - pêso nominal (kg/m)

V - vão vertical (metros)

A expressão do ângulo de balanço (θ) de acordo com a figura a seguir mostra que

$$\theta = \arctg \frac{F_v}{P_c}$$



Substituindo as expressões e considerando um sistema de unidades coerentes:

$$\theta = \arctg \frac{P_v \times S_c}{W \times V}$$

$$\theta = \arctg \frac{0.0045 \times v^2 \times k \times D \times H}{W \times V}$$

Exprimindo a velocidade em m/s

$$\theta = \arctg \frac{(k \times D \times v^2 \times H \times 0.05832)}{W \times V}$$

$$\text{Definindo } K = \frac{D}{W} \times \frac{H}{V}$$

D, H e V - em metros

W - kg/m

No programa CODIN I, a fórmula de θ é expressa para unidades SI, mas como os dados referentes aos cabos são normalmente expressos em unidades inglesas têm-se que:

$$K = 0.017068 \frac{D}{W} \times \frac{H}{V}$$

D - polegadas

H, V - mi

W - lb/ft

Finalmente a expressão do ângulo de balanço fica:

$$\theta = \arctg (k \times K \times v^2 \times 0.000995405)$$

K - expresso em unidades inglesas

V - m/s.

Segundo o teste de Hornisgrinde sã foram considerados ventos normais mas, na eventualidade de se considerar a direção de incidência do vento a fórmula ficaria⁽¹⁹⁾:

$$\theta = \arctg (k \times K \times (V \times \sin \sigma)^2 \times 0.05832$$

σ - inclinação da direção do vento com a direção da linha.

Para ventos ortogonais a linha $\sin \sigma = 1$

- Considerações sobre o fator de efetividade

A referência (22) adota valores mínimos para k (fator de efetividade), mas com o objetivo de fazer a fórmula do ângulo de balanço ser compatível com o teste de Hornisgrinde foram determinados os valores de fatores de efetividade que coincidam com os valores dos ângulos de balanço fornecidos pelo teste de Hornisgrinde.

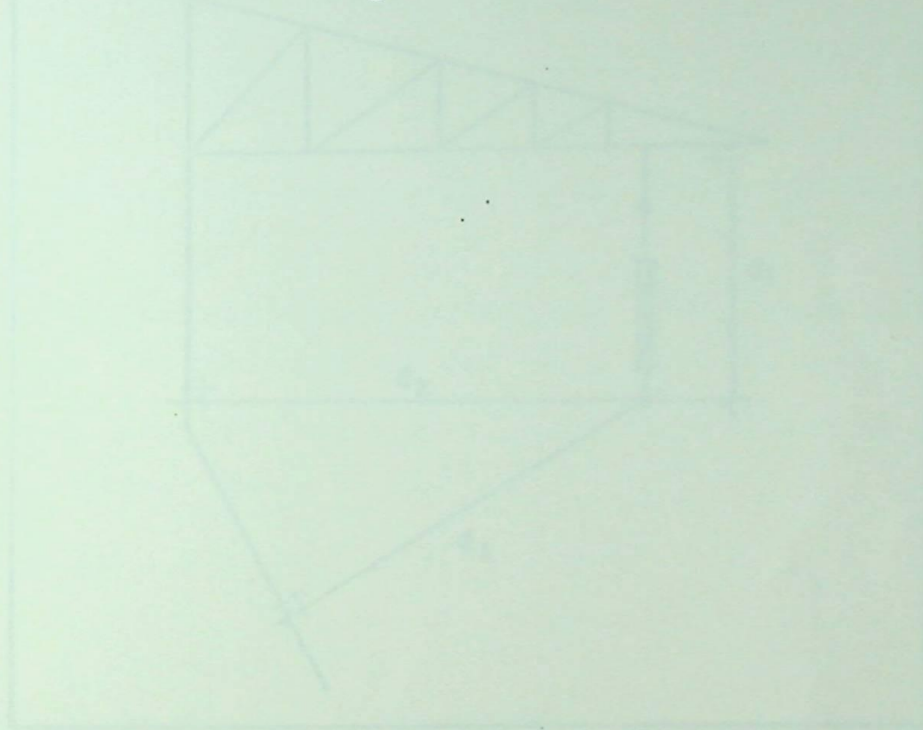
Velocidade (mi/h)	Ângulo de Balanço Teste de Hornisgrinde k = 1.87	Fator de Efetividade k
0	0	-
2	0.894	2.346
5	2.235	1.126
10	1.5	0.704
20	5.2	0.611
30	11.0	0.581
40	16.5	0.498
50	22.0	0.424
60	27.5	0.389
70	33.5	0.363
80	39.0	0.340
90	45.0	0.332
100	51.0	0.332

Os ângulos de balanço foram obtidos da figura 9 (resultado do teste

de Hørnisgrinde) e aplicados diretamente na fórmula deduzida acima, fornecendo, portanto, os valores $k^{(16, 18)}$.

Logicamente para os valores de k calculados, qualquer curva da figura 9 ajusta-se à expressão deduzida acima, variando-se apenas, o valor de K , que caracteriza o cabo e os vãos.

A curva do fator de efetividade encontra-se na figura 13. O programa CODIN I leva em consideração a metodologia descrita acima.



TIPO DE CAB	k - Fator de peso
condutor - torçato	$1,0$
condutor - estrutura lateral	$1,2$
condutor - atala	$1,3$

* Ver tabela I, Capítulo II

Para fórmula de Faria, de posição de equilíbrio, devem-se usar as "critical frequencies":

$$CFO_1 = k_1 \times 500 \times d_1$$

$$CFO_2 = k_2 \times 500 \times d_2$$

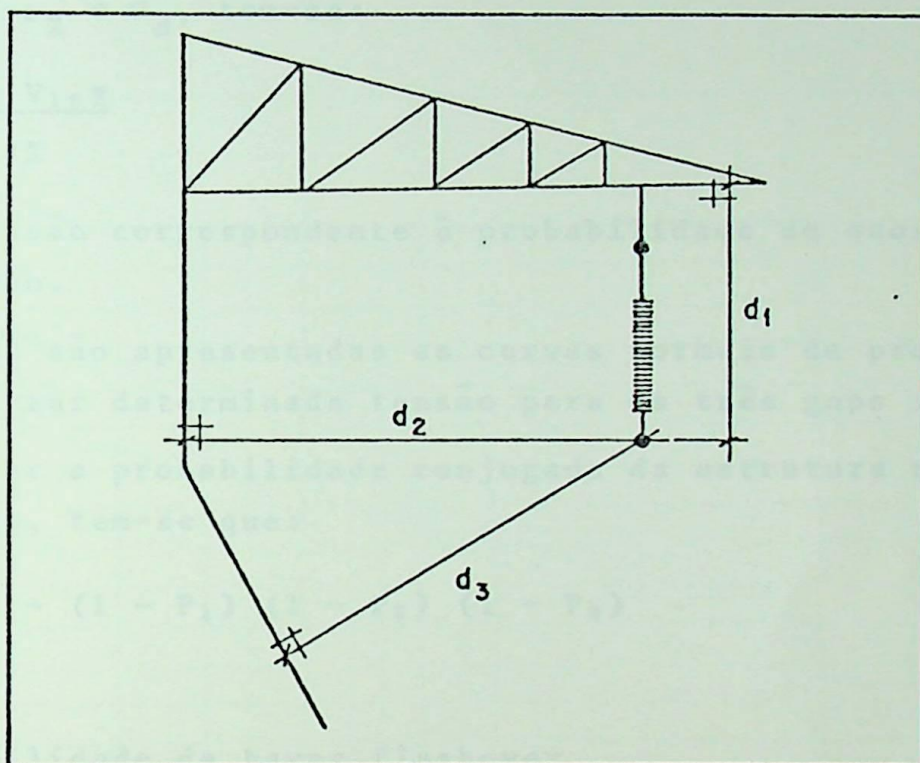
$$CFO_3 = k_3 \times 500 \times d_3$$

APÊNDICE III

CÁLCULO DA TENSÃO DISRUPTIVA DE 50% PARA O GAP COMPOSTO

Supondo uma configuração como a da figura, onde são mostrados gaps independentes:

3



TIPO DE GAP	k = fator de gap
condutor - cruzeta	k_1^*
condutor - estrutura lateral	k_2^*
condutor - estais	k_3^*

* Veja tabela 1, Capítulo II

Pela fórmula de Paris, na posição de equilíbrio, obtem-se 3 tensões de "critical flashover":

$$CFO_1 = k_1 \times 500 \times d_1^{0.6}$$

$$CFO_2 = k_2 \times 500 \times d_2^{0.6}$$

$$CFO_3 = k_3 \times 500 \times d_3^{0.6}$$

Assoiciando-se a uma curva normal de probabilidades para cada tensão disruptiva de 50%, como os mesmo desvio padrão σ_d (σ_d é conhecido a partir do uso do método "up and down" etc., e normalmente utiliza-se o valor de 5%, para os testes realizados em laboratório), determina-se através do método a seguir as curvas normais de probabilidades de haver flashover, em papel probabilístico.⁽³⁰⁾

Conhecido $V_{50\%}$ e σ_d , tem-se:

$$\sigma_d = \frac{V_{50\%} - V_{1\%}}{V_{50\%}}$$

$V_{1\%}$ é a tensão correspondente à probabilidade de ocorrência de um desvio padrão.

Na figura 22 são apresentadas as curvas normais de probabilidades de não suportar determinada tensão para os três gaps independentes.

Para se obter a probabilidade conjugada da estrutura não suportar como um todo, tem-se que:

$$P_{\text{global}} = 1 - (1 - P_1) (1 - P_2) (1 - P_3)$$

Onde:

P_i - Probabilidade de haver flashover

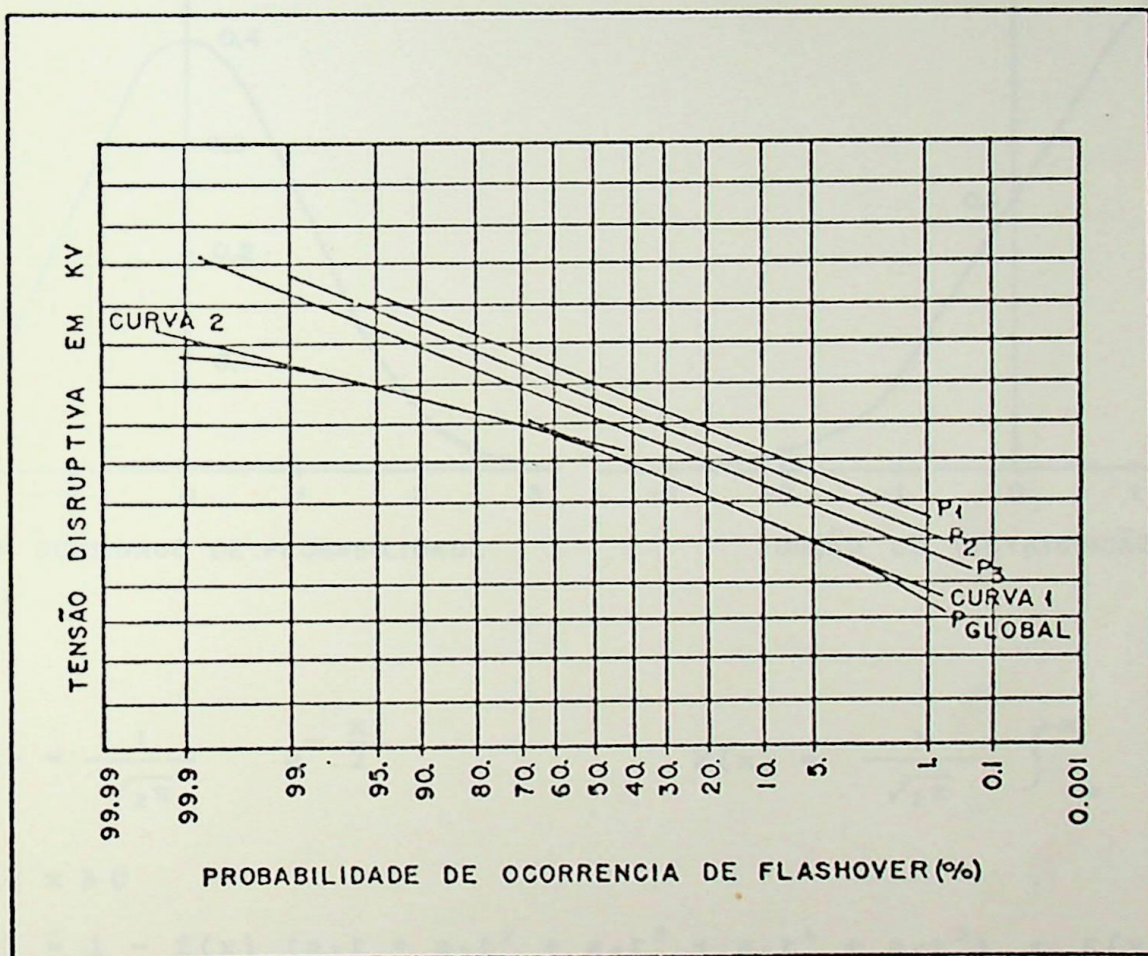
Escolhendo-se um valor de tensão (V) e com o uso das curvas levanta das calcula-se a probabilidade (P_{global}). Este procedimento repete-se até se possuir um número suficiente de pontos para ajustar-se uma nova curva, de tal maneira que, quando esta cortar o valor de probabilidade igual a 50% fica determinado o CFO da configuração.

Observa-se que esta nova curva não é uma normal, o que dificulta o processo de integração no cálculo do risco de falha; aplicado exclusivamente a curvas normais de probabilidades. Poderia se sugerir, a adoção de duas ou mais curvas normais como equivalente a curva real, determinando-se os valores médios e os seus respectivos desvios padrões e adotando-se no cálculo do risco estas curvas normais.

Na folha seguinte encontraremos a figura que mostra tal procedimento.

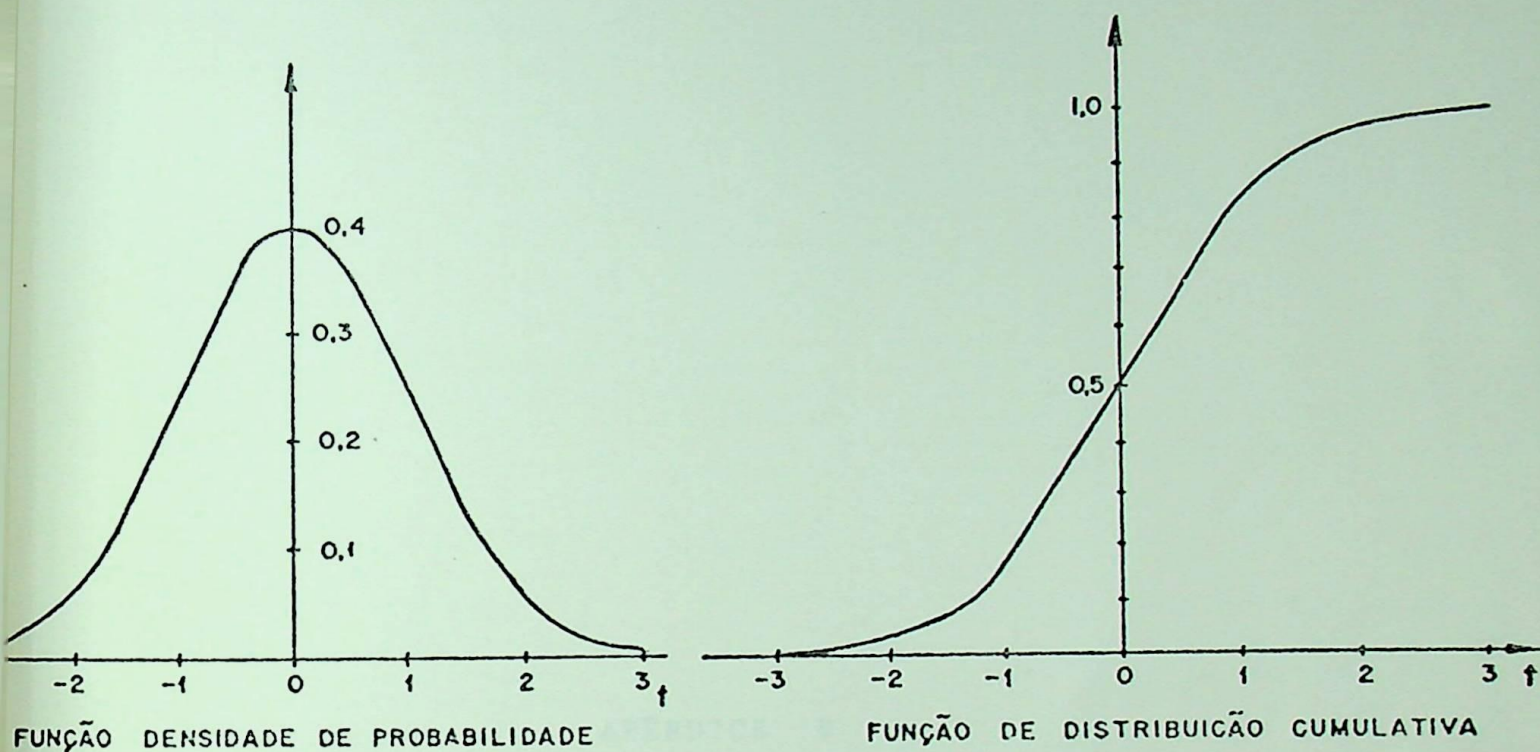
ANEXO IV

FUNÇÃO PROBABILÍSTICA DE CAUSE (CURVA NORMAL)



APÊNDICE IV

FUNÇÃO PROBABILÍSTICA DE GAUSS (CURVA NORMAL)



$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}}$$

$$P(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt$$

Onde $x \geq 0$

$$P(x) \approx 1 - f(x) (a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 + a_4 t^4 + a_5 t^5) + \epsilon(x)$$

$$\text{Onde } t = \frac{1}{1 + px}$$

$$|\epsilon(x)| < 7.5 \times 10^{-8}$$

$$p = 0.2316419$$

$$a_3 = 1.781477937$$

$$a_1 = 0.31938153$$

$$a_4 = -1.821255978$$

$$a_2 = -0.356563782$$

$$a_5 = 1.330274429$$

Obs.: $f(-x) = f(x)$

$$p(-x) = 1 - p(x)$$

$P(x)$ - função probabilística de Gauss (45).



INICIO

FITA 1

CÁLCULO DO
"RIS" E DO
VENTO

FITA 2

APÊNDICE V

FLUXOGRAMA DO PROGRAMA
CODIN I

FITA 3

CÁLCULO DA
QUANTIDADE DE
MATERIA DO "RIS"
E VENTO

HISTÓRICO
DO VENTO

HISTÓRICO
DO "RIS"

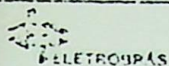
LISTA DE
MATERIAIS

Fita 1 - Contém as
das meteorológicas

Fita 2 - Contém as
tabelas de "RIS" e
do de uma estação

Fita 3 - Contém as
tabelas de "RIS" e
vento

Fita 3 - Contém "RIS"
e vento



FORMULARIO PARA FLUXOGRAMA

DATA

FOLHA 1 DE 5

USUARIO

Nº USUARIO

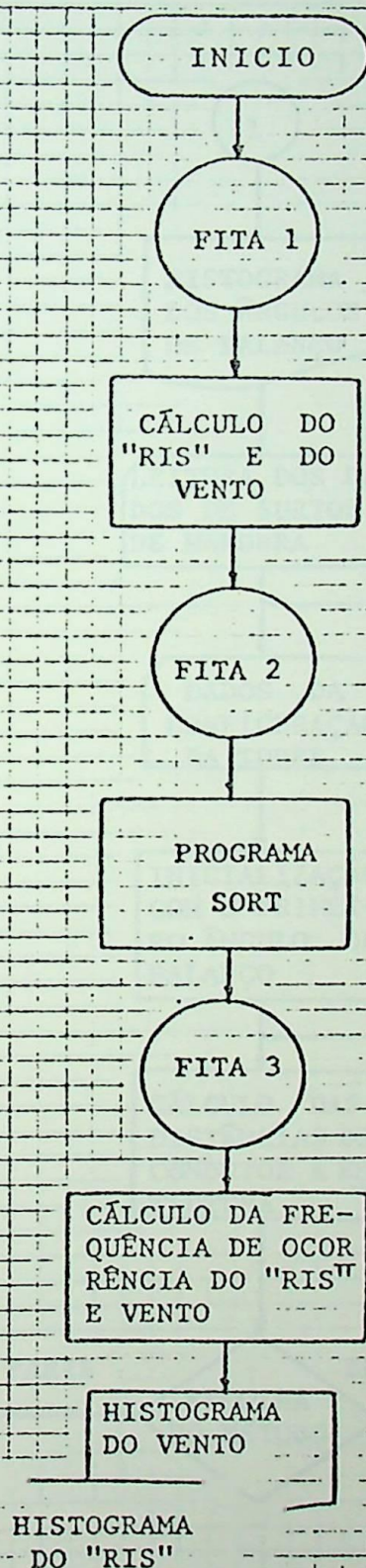
REALIZADO POR

Paulo Cesar

ULTIMA ATUALIZACAO

PROJETO

Nº PROJETO



Fita 1 - Contém os dados meteorológicos

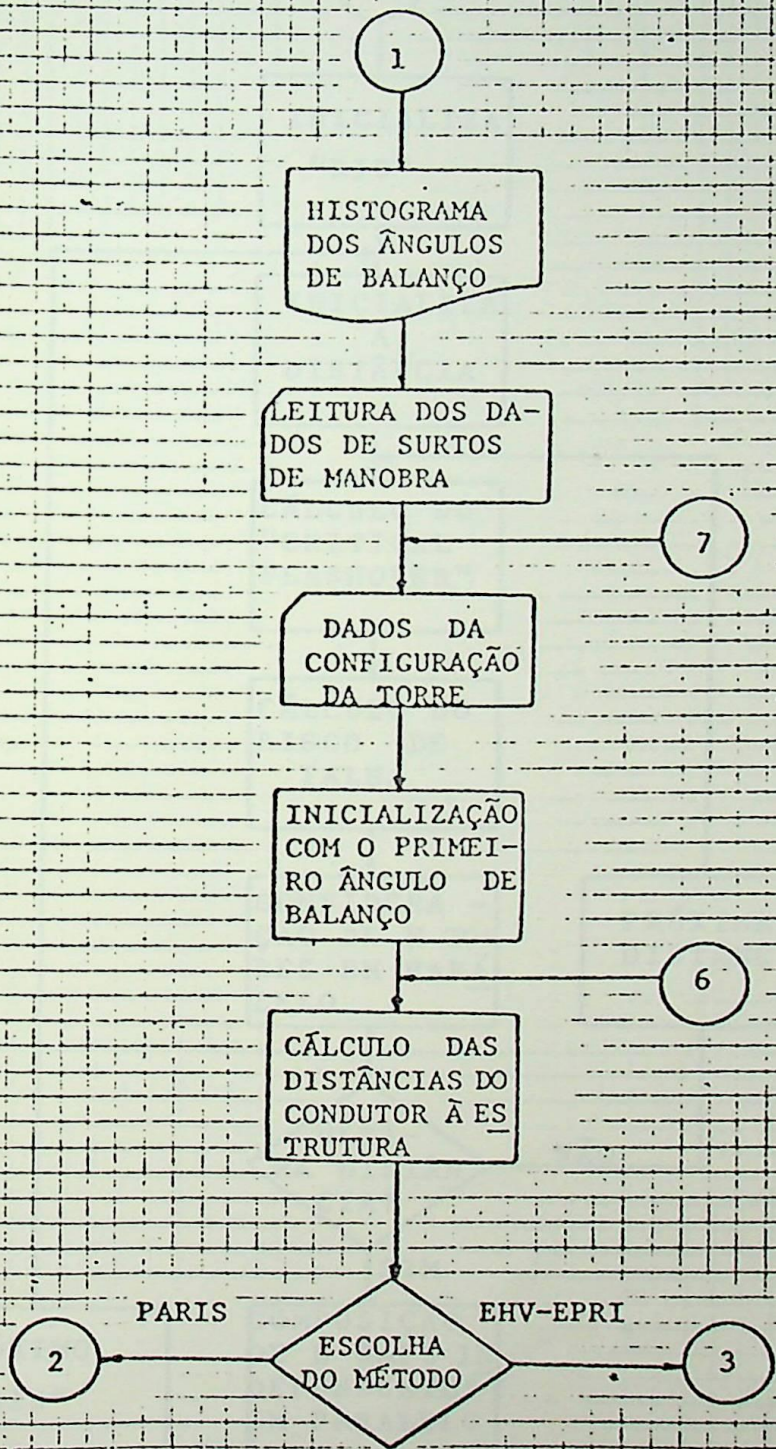
Fita 2 - Contém os valores de "RIS" e vento de uma estação.

SORT - Ordena segundo os campos de "RIS" e vento.

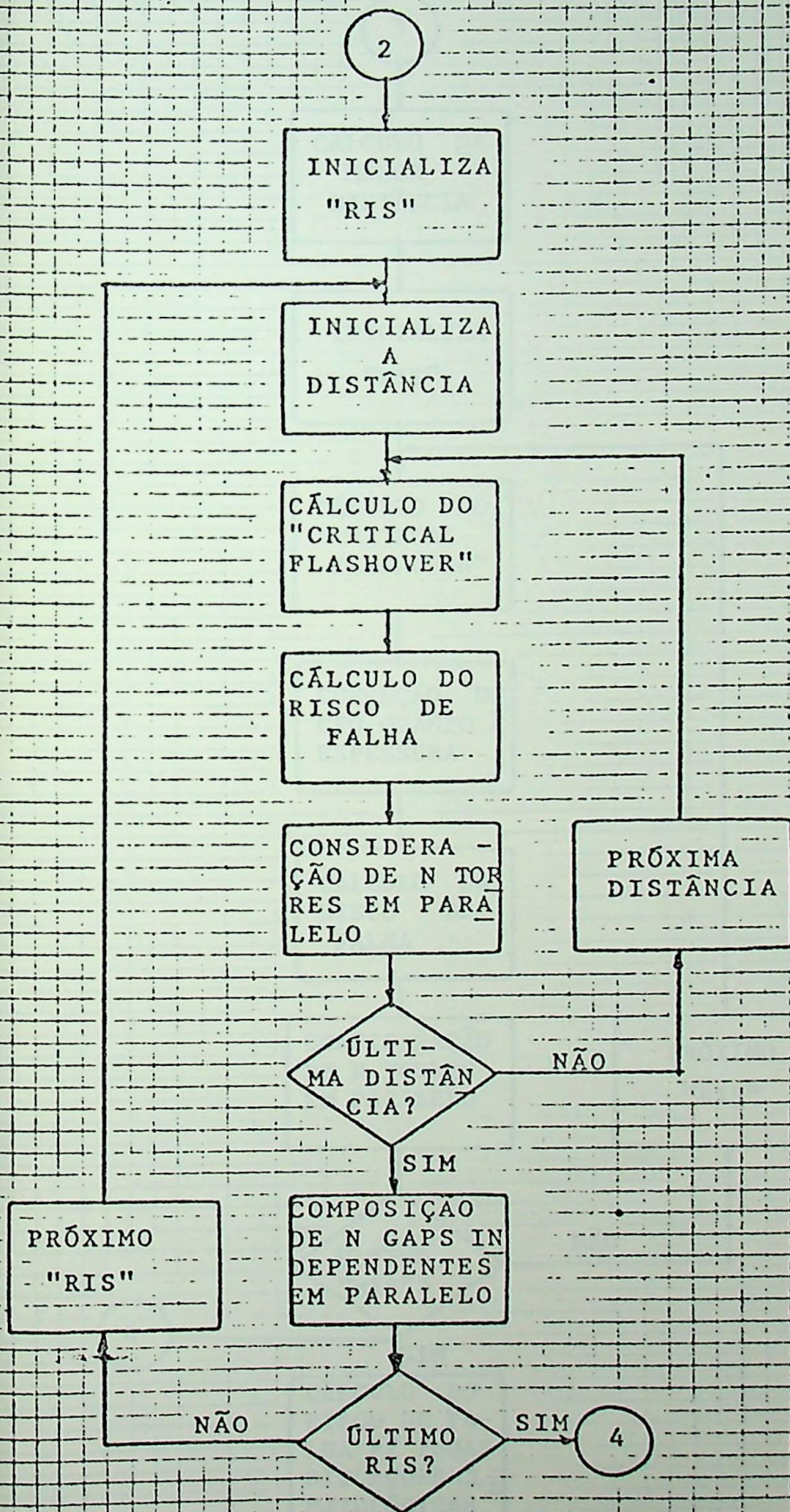
Fita 3 - Contém "RIS" e vento ordenados.

TESTE DE
HORNISGRINDE

 ELETROBRAS	FORMULÁRIO PARA FLUXOGRAMA	DATA	FOLHA 2 DE 5
USUÁRIO	Nº USUÁRIO	REALIZADO POR	
PROJETO	Nº PROJETO	ÚLTIMA ATUALIZAÇÃO	



 ELETRONICAS	FORMULARIO PARA FLUXOGRAMA	DATA	FOLHA 3 DE 5
USUARIO	Nº USUARIO	REALIZADO POR	
PROJETO	Nº PROJETO	ULTIMA ATUALIZACAO	



3

CÁLCULO DA
MENOR
DISTÂNCIA

INICIALIZA
"RIS"

CÁLCULO DO
"CRITICAL
FLASHOVER"

CORREÇÃO DO
CFO QUANTO À
ESPESURA

CÁLCULO DO
RISCO DE
FALHA

CONSIDERAÇÃO
DE N TORRES
EM PARALELO

PRÓXIMO
"RIS"

ÚLTIMO
"RIS"?

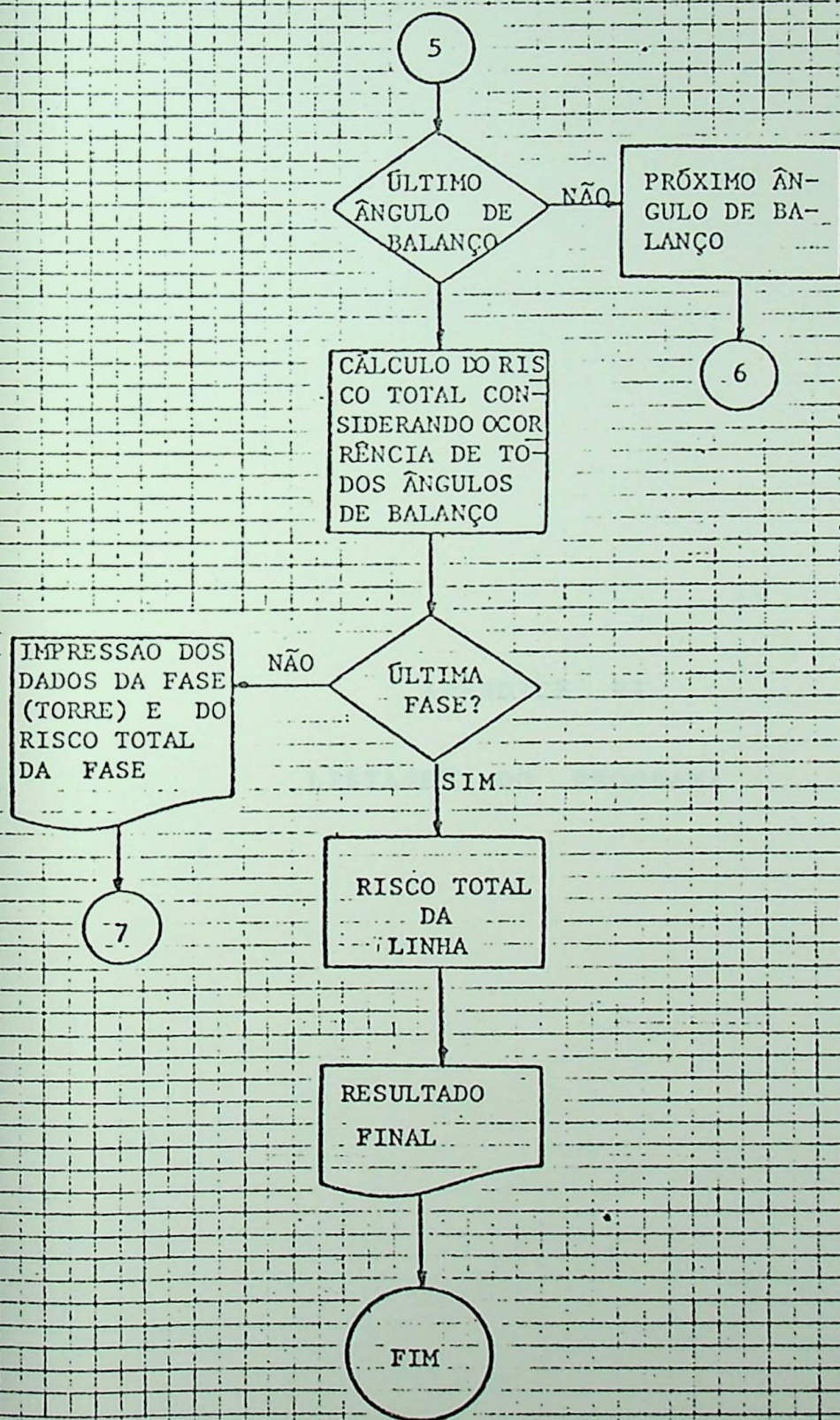
NÃO

4

SIM

CÁLCULO DO
RISCO DE FA-
LHA P/ TODAS
SITUAÇÕES CLI-
MATOLÓGICAS

5



APÊNDICE VI

LISTAGEM DO PROGRAMA


```

0003 C * CALCULO DO RELATIVE INSULATION STRENGTH *
0004 C *
0005 READ(5,70)NSTD,H1,H0,RUG
0006 70 FORMAT(12,3F6.1)
0007 200 READ(2,71,END=300)CD,IDIA,IMES,IANO,DIR,VENTO,ICD,PBA,DRY,WET,CHUVRISVENTO
0008 I=I+1
0009 IF(I.GT.10)GO TO 500
0010 WRITE(6,73)CD,IDIA,IMES,IANO,DIR,VENTO,ICD,PBA,DRY,WET,CHUV
0011 73 FORMAT(A2,3I2,13,F3.0,11,F4.0,3F4.1)
0012 C *** TRANSFORMACAO CENTIGRADUS EM FAHRENHEIT
0013 500 IF(I-5567)501,300,300
0014 501 FD=1.80*DRY+32.
0015 FW=1.80*WET+32.
0016 PBA=PBA*0.0295293
0017 CALL INTER(FW,PRES)
0018 C *** FORMULA DE FERREL
0019 VP=PRES-0.000367*PBA*(FO-FW)*(1.+(FW-32.)/1571.)
0020 H=25.*VP
0021 IF(NSTD.EQ.2)GO TO 30
0022 RAD=0.392*PBA*25.4/(273.+DRY)
0023 XKD=RAD
0024 HQ=1.+0.009*(15.-H)
0025 XKH=1./HQ
0026 GO TO 40
0027 30 RAD=0.385*PBA*25.4/(273.+DRY)
0028 XKD=RAD
0029 HQ=1.+0.009*(11.-H)
0030 XKH=1./HQ
0031 GO TO 40
0032 40 XCP=1.0
0033 RIS=XKD*XKH*XKP
0034 C *
0035 C * CALCULO DO ANGULO DE BALANCO - TESTE DE HORNISGRINDE *
0036 C *
0037 C *** CALCULO DO VENTO
0038 VENTO=VENTO*1.10*0.514
0039 IF(RUG.EQ.1.0)GO TO 21
0040 IF(RUG.EQ.2.0)GO TO 22
0041 IF(RUG.EQ.3.0)GO TO 23
0042 21 VENTO=VENTO*(H1/H0)**0.1429
0043 GO TO 24
0044 22 VENTO=VENTO*(H1/H0)**0.0909
0045 GO TO 24
0046 23 VENTO=VENTO*(H1/H0)**0.0657
0047 24 IF(I-57.10)GO TO 607
0048 WRITE(6,172)RIS,VENTO
0049 607 IF(RIS)1,2,2
0050 2 IF(VENTO)1,601,601
0051 1 WRITE(6,73)CD,IDIA,IMES,IANO,DIR,VENTO,ICD,PBA,DRY,WET,CHUV
0052 73 FORMAT(1X,A2,3I2,13,F3.0,11,F4.0,3F4.1)
0053 WRITE(6,172)RIS,VENTO
0054 172 FORMAT(11X,F5.2,F4.1)
0055 GO TO 200
0056 601 IF(RIS-1.5)600,600,603
0057 603 WRITE(6,172)RIS,VENTO
0058

```

```

0029 RISVENTO
0030 RISVENTO
0031 RISVENTO
0032 RISVENTO
0033 RISVENTO
0034 RISVENTO
0035 RISVENTO
0036 RISVENTO
0037 RISVENTO
0038 RISVENTO
0039 RISVENTO
0040 RISVENTO
0041 RISVENTO
0042 RISVENTO
0043 RISVENTO
0044 RISVENTO
0045 RISVENTO
0046 RISVENTO
0047 RISVENTO
0048 RISVENTO

```


RISVENTO
RISVENTO
RISVENTO
RISVENTO
RISVENTO
RISVENTO
RISVENTO

600 WRITE(3,172)RIS,VENTO
30 TO 200
300 END FILE 3
WRITE(6,506)1
606 FORMAT(115)
CALL EXIT
END

0051
0052
0053
0054
0055
0056
0057




```

0002 DIMENSION FGAP(20),CFDPAR(10),RISPAR(10)
0003 DIMENSION X(50),Y(50),DIST(30),AL(50),AGA(50)
0004 DIMENSION RRIS(500),IFRIS(500),VENT(500),IFVEN(500)
0005 DIMENSION FREAL(500),FREA2(500),SWING(500),EST(20)
0006 DIMENSION TIT(10),IFAS(3)
0007 DATA IFAS/'A','B','C'/
0008 J=1
0009 READ(3,7)RRIS(J)
0010 7 FORMAT(11X,F5.2,4X)
0011 I=1
0012 52 READ(3,7,END=53)Z
0013 IF(RRIS(J)-Z)2,3,2
0014 3 I=I+1
0015 GO TO 52
0016 2 J=J+1
0017 RRIS(J)=Z
0018 IFRIS(J-1)=I
0019 I=1
0020 30 TO 52
0021 53 IFRIS(J)=I
0022 L=1
0023 READ(3,4)VENT(L)
0024 4 FORMAT(11X,5X,F4.1)
0025 I=1
0026 30 READ(3,4,END=40)Z
0027 IF(VENT(L)-Z)6,5,6
0028 5 I=I+1
0029 GO TO 30
0030 6 L=L+1
0031 VENT(L)=Z
0032 IFVEN(L-1)=I
0033 I=1
0034 GO TO 30
0035 40 IFVEN(L)=I
0036 READ(5,61)EST
0037 61 FORMAT(20A4)
0038 READ(5,2001)NCASO
0039 2001 FORMAT(I3)
0040 DO 2000 ICASO=1,NCASO
0041 READ(5,158)O,M,V,HOR
0042 158 FORMAT(4F7.3)
0043 WRITE(6,60)EST
0044 60 FORMAT('1',30X,'ESTACAO ',20A4,/)
0045 CALL HISTO(1,RRIS,IFRIS,J,5566,FREAL)
0046 CALL HISTO(2,VENT,IFVEN,L,5566,FREA2)
0047 NRIS=J
0048 LJ=L
0049 LLLJ=L
0050 N1=L
0051 YK=0.017068745*D*HOR/(W*V)
0052 DO 157 L=1,N1
0053 CALL HORNIS(VENT(L),ANGUL)
0054 SWING(L)=57.3*ATAN(ANGUL*YK*0.058320000*VENT(L)**2)
0055 SWING(L)=SWING(L)*1.1
0056 157 CONTINUE
0057 CALL HISTO(3,SWING,IFVEN,N1,5566,FREA2)

```



```

0059 IFASE=0
0060 NV=3
0061 NLIN=33
0062 READ(5,24)TIT
0063 24 FORMAT(10A4)
0064 WRITE(6,3221)
3221 FORMAT(2(/),31X,70(*),/,31X,*,29X,CODIN I',32X,*,/,31X,*,
127X,11(*),30X,*,/,31X,*,8X,
1'DESEMPENHO ELETRICO DA LINHA DE TRANSMISSAO QUANTO',10X,*,/,31X
2,*,24X,'A SURTOS DE MANOBRAS',25X,*,/,31X,70(*),///)
0065 WRITE(6,300)TIT
0066 300 FORMAT(31X,70(*),/,31X,*,68X,*,/,31X,*,68X,*,/,31X,*,9
1X,10A4,19X,*,/,31X,*,68X,*,/,31X,*,68X,*,/,31X,70(*),/
2//)
0067 READ(5,802)NO,TRUNC,TNABAS,CIGMAU,TENSAC
0068 802 FORMAT(1X,13,2X,F5.2,2X,F6.2,2X,F6.5,2X,F6.1)
0069 WRITE(6,301)NO,TRUNC,TNABAS,CIGMAU,TENSAC
0070 301 FORMAT(40X,'NUMERO DE EXPERIENCIAS= ',13,/,40X,'PONTO DE TRUNCAME
INTO DA CURVA NORMAL DE SOBRETENSOES= ',F5.2,' SIGMAS',/,40X,'TENS
2AO BASICA DO TNA= ',F6.2,' VOLTS',/,40X,'DESVIO PADRAO DA SJPORTA
38ILIDADE= ',F6.5,/,40X,'TENSAD DO SISTEMA= ',F6.1,' KV',///)
0071 WRITE(6,807)
0072 807 FORMAT(45X,'DISTRIBUICAO ESTATISTICA DAS SOBRETENSOES',/,54X,'FAS
1E A',10X,'FASE B',10X,'FASE C',/)
0073 IF(NQ.EQ.0)GO TO 1061
0074 READ(5,801)((SURTO(I,J),I=1,NQ),J=1,NV)
0075 801 FORMAT(16F5.1)
0076 DO 2002 I=1,NQ
0077 WRITE(6,804)((SURTO(I,J),J=1,NV)
0078 804 FORMAT(55X,F5.1,11X,F5.1,11X,F5.1)
0079 NLIN=NLIN+1
0080 IF(NLIN=55)2002,350,350
0081 350 NLIN=0
0082 WRITE(6,351)
0083 351 FORMAT('1')
0084 2002 CONTINUE
0085 DO 803 I=1,NO
0086 803 S(1)=1.0
0087 CALL TALLY(SURTO,S,TOTAL,AVER,SD,VMIN,VMAX,NO,NV,IER)
0088 WRITE(6,805)TOTAL,AVER,SD,VMIN,VMAX
0089 805 FORMAT(40X,'TOTAL',7X,F8.2,8X,F8.2,8X,F8.2,/,40X,'MEDIA',7X,F8.2,8
1X,F8.2,8X,F8.2,/,40X,'D.PADRAO',7X,F8.2,8X,F8.2,8X,F8.2,/,40X,'VAL
2OR MIN',3X,F8.2,8X,F8.2,8X,F8.2,/,40X,'VALOR MAX',3X,F8.2,8X,F8.2,
38X,F8.2,/)
0090 GO TO 1064
0091 1061 READ(5,1062)(AVER(JJJ),SD(JJJ),JJJ=1,NV)
0092 1062 FORMAT(6(F6.3,2X))
0093 WRITE(6,302)AVER,SD
0094 302 FORMAT(40X,'MEDIA',7X,F8.3,8X,F8.3,8X,F8.3,/,40X,'D.PADRAO',4X,F8.
13,8X,F8.3,8X,F8.3,/)
0095 DO 1053 JJJ=1,NV
0096 AVER(JJJ)=AVER(JJJ)*TNABAS
0097 SD(JJJ)=SD(JJJ)*AVER(JJJ)
0098 1063 SD(JJJ)=SD(JJJ)*AVER(JJJ)
0099 1064 VOLT=TENSAC*SQRT(2.)/SQRT(3.)
WRITE(6,303) VOLT

```



```

0103 3288 WRITE(6,351)
C *****
C * LEITURA DOS DADOS DE ENTRADA *
C *****
0104 355 READ(5,1)HANGER,RCOR,NI,ESPESS,VNTORRE,OLHAL
0105 1 FORMAT(1X,F6.3,1X,F6.3,1X,13,1X,F5.2,2X,15,2X,F6.3)
0106 IF(HANGER.EQ.99.)GO TO 701
0107 LTORRE=NTORRE
0108 WRITE(6,3220)D,H,V,HOR
0109 3220 FORMAT(7I//,45X,'DADOS DO CONDUTOR E VAOS',//,40X,'DIAMETRO DO CO
INDUTOR= ',F7.3,' PLEGADAS',//,40X,'PESO DO CONDUTOR= ',F7.3,' L18
2RA/PES',//,40X,'VAN VERTICAL= ',F7.3,' METROS',//,40X,'VAC HORIZON
3TAL= ',F7.3,' METROS',12(//))
0110 WRITE(6,304)HANGER,RCOR,NI,ESPESS,NTORRE,OLHAL
0111 304 FORMAT(45X,'DADOS DA CONFIGURACAO DA TORRE ',//,40X,'COMPRIMENTO
1005 ESPACADORES= ',F6.3,' METROS',//,40X,'COMPRIMENTO DO RAI0 ENER
231ZADO(CORONA)= ',F6.3,' METROS',//,40X,'NUMERO DE ISOLADORES= ',
314,//,40X,'ESPESURA DA ESTRUTURA= ',F6.2,' METROS',//,40X,'NUMERO
4 DE TORRES= ',15,//,40X,'COMPRIMENTO DO OLHAL= ',F6.3,' METROS')
0112 READ(5,9)KE,KC,NW,NVPARI,(X(I),Y(I),I=1,NW)
0113 9 FORMAT(1X,11,1X,11,1X,11,1X,11,12(F5.2,1X))
0114 IF(NVPARI.NE.1)GO TO 1010
0115 IF(KE.EQ.2)GO TO 1011
0116 IXX=NW-1
0117 GO TO 1012
0118 1011 IXX=NW
0119 1012 READ(5,1001)(FGAP(JJ),JJ=1,IXX)
0120 1001 FORMAT(5(F5.2,2X))
0121 1010 IF(KE-1)306,305,306
0122 306 WRITE(6,307)
0123 307 FORMAT(1',10I//,40X,'FASE ESTUDADA - INTERNA',//
*)
0124 GO TO 309
0125 305 WRITE(6,308)
0126 308 FORMAT(1',10I//,40X,'FASE ESTUDADA - EXTERNA',//
*)
0127 309 IF(KC-1)311,310,311
0128 310 WRITE(6,312)
0129 312 FORMAT(52X,'TIPO DE CADEIA-I',//)
0130 GO TO 314
0131 311 WRITE(6,313)
0132 313 FORMAT(52X,'TIPO DE CADEIA-V',//)
0133 314 IF(NVPARI-1)315,316,315
0134 316 WRITE(6,317)
0135 317 FORMAT(48X,'METODO CONSIDERADO-PARIS',//)
0136 GO TO 319
0137 315 WRITE(6,318)
0138 318 FORMAT(47X,'METODO CONSIDERADO-EHV-EPRI',//)
0139 319 WRITE(6,321)
0140 320 FORMAT(44X,'COORDENADAS CARTESIANAS DA TORRE',//,26X,'PONTO',14X,'
1ABCISSA',12X,'ORDENADA',12X,'FACTOR DE GAP',//)
0141 DO 321 I=1,NW
0142 WRITE(6,322)I,X(I),Y(I)
0143 322 FORMAT(28X,12,17X,F6.2,15X,F6.2,/)
0144 IF(NVPARI-1)321,324,321

```



```

321  FORMAT(83X,F5.2,/)
      GO TO 321
326  IF(KE-1)325,321,325
321  CONTINUE
      RRR=0.0
      IFASE=IFASE+1
      LJ=LLLJ
      FREVEN=FREA2(1)
      IF(KC.EQ.2)LJ=1
      DO 700 NVE=1,LJ
      RSCJA=0.0
      KK=0
      *****
      C  * CALCULO DAS DISTANCIAS DO CONJUTOR A ESTRUTURA *
      C  *****
      C  SWING(NVE)=-SWING(NVE)/57.29578
      IF(KC.EQ.1)GO TO 10
      *** CADEIA EM V ***
      XL=HANGER+0.14605*NI+RCOR*OLHAL
      X1=0.0
      Y1=SQRT(XL**2-X(2)**2)
      GO TO 31
      C  *** CADEIA EM I ***
      10  X1=(0.14605*NI+RCOR*OLHAL)*SIN(SWING(NVE))
      Y1=(0.14605*NI+RCOR*OLHAL)*COS(SWING(NVE))
      31  IF(KE.EQ.2)GO TO 105
      IX=NI-1
      GO TO 110
      105  IX=NI
      C  CALCULO DOS COEFICIENTES DAS RETAS QUE DEFINEM A CABECA DA TORRE
      110  DO 85 I=1,IX
      IF(KE.EQ.1)GO TO 95
      X(IX+1)=X(1)
      Y(IX+1)=Y(1)
      95  IF((X(1)-X(I+1)).EQ.0)GO TO 45
      A(1)=(Y(1)-Y(I+1))/(X(1)-X(I+1))
      AGA(1)=(Y(I+1)*X(1)-Y(1)*X(I+1))/(X(1)-X(I+1))
      IF(KE.EQ.1)GO TO 85
      A(IX+1)=A(1)
      AGA(IX+1)=AGA(1)
      GO TO 85
      45  DISTII+KK=X1-X(I)
      85  CONTINUE
      C  *****TESTE PARA SABER SE O CONJUTOR TOCA OU ATRAVESSA A ESTRUTURA
      C  *****PARA O CASO DE UMA RETA QUALQUER
      DO 160 I=1,IX
      IF((X(1)-X(I+1)).EQ.0)GO TO 120
      TESTE1=(Y1-A(1)*X1-AGA(1))*(-AGA(1))
      IF(TESTE1)50,121,130
      121  IF(AGA(1))50,130,50
      50  WRITE(6,55)
      55  FORMAT(5X, '***O CONJUTOR TOCA A ESTRUTURA DA TORRE***',/)
      GO TO 160
      C  *****TESTE PARA SABER SE O CONJUTOR TOCA A ESTRUTURA NO CASO DE RETA//Y
      120  IF(X(1)-LT.0.0)GO TO 115

```



```

0195 IF (X1-X(I))=0.0
0196 WRITE(6,55)
0197 GO TO 160
0198
130 DIST(I+KK)=ABS((Y1-A(I)*X1-AGA(I))/SQRT(A(I)**2+1.0))
C *****TESTE PARA SABER SE EXISTE DISTANCIA IMAGINARIA
C *****CALCULO DO PONTO QUE INCIDE A PERPENDICULAR
XO=(A(I)**2)*X(I)+X1+A(I)*(Y1-Y(I))/(A(I)**2+1.0)
YO=A(I)*(XO-X(I))+Y(I)
IF(I.EQ.1.AND.KE.EQ.1)GO TO 86
IF(I.EQ.1)GO TO 185
IF((X(I)-X(I)).EQ.0.0)GO TO 140
C *****RETA QUALQUER ANTES DE CALCULADA A DISTANCIA
TESTE2=(Y1-A(I)-X1-AGA(I-1))*(YO-A(I-1)*XO-AGA(I-1))
IF(TESTE2.GT.0.0.AND.I.EQ.IX)GO TO 170
IF(TESTE2.GT.0.0.AND.I.NE.IX)GO TO 185
DIST(I+KK)=SQRT((X1-X(I))**2+(Y1-Y(I))**2)
GO TO 125
185 IF((X(I+1)-X(I+2)).NE.0.0)GO TO 170
TESTE2=(X1-X(I+1))*(XO-X(I+1))
IF(TESTE2.GT.0.0)GO TO 125
DIST(I+KK)=SQRT((X1-X(I+1))**2+(Y1-Y(I+1))**2)
GO TO 125
C *****SE A RETA FOR PAPALELA AO EIXO Y ANTES DE CALCULADA A DISTANCIA
140 TESTE2=(X1-X(I))*(XO-X(I))
IF(TESTE2.GT.0.0.AND.I.NE.IX)GO TO 125
IF(TESTE2.GT.0.0.AND.I.EQ.IX)GO TO 170
DIST(I+KK)=SQRT((X1-X(I))**2+(Y1-Y(I))**2)
GO TO 125
C *****PARA A RETA QUALQUER DEPOIS DE CALCULADA A DISTANCIA
80 XO=X(I)
YO=Y(I)
170 IF(I.EQ.IX.AND.KE.EQ.1)GO TO 125
TESTE2=(Y1-A(I+1)*X1-AGA(I+1))*(YO-A(I+1)*XO-AGA(I+1))
IF(TESTE2.GT.0.0)GO TO 125
DIST(I+KK)=SQRT((X1-X(I+1))**2+(Y1-Y(I+1))**2)
GO TO 125
145 XO=X(I)
YO=Y(I)
C *****RETA // A Y DEPOIS DE CALCULADA A DISTANCIA
TESTE2=(Y1-A(I)-X1-AGA(I-1))*(YO-A(I-1)*XO-AGA(I-1))
IF(TESTE2.GT.0.0)GO TO 125
DIST(I+KK)=SQRT((X1-X(I))**2+(Y1-Y(I))**2)
GO TO 125
C *****TESTE PARA O PCNTO EXTREMO
86 IF(KE.EQ.2)GO TO 125
TETA=ARCSIN(X1)/(0.14605*NI*RCOR))*57.29578
IF(TETA.EQ.0.0.AND.X(2).LT.0.0)GO TO 125
IF(TETA.GT.0.0)GO TO 125
ANG=SWING(NVE)*57.29578
I=(TETA-ANG)/25.75,75
75 DIST(I+KK)=SQRT((X1-X(I))**2+(Y1-Y(I))**2)
125 KKK=I+KK
160 CONTINUE
DO 162 I=1,IX
DIST(I)=DIST(I)-RCOR
IF(DIST(I))163,163,162
163 WRITE(6,55)

```



```
0246 IF (NVPARI.EQ.1) GO TO 1000
C *****
C * METODO EHV-EPI - CADEIA V *
C *****
C * ESCOLHA DA MENOR DISTANCIA DE CADA FASE *
C *****
0247 DENOR=DIST(1)
0248 DO 705 I=1,KKK
0249 IF (DIST(I)-DENOR) 706,706,705
0250 706 DENOR=DIST(I)
0251 705 CONTINUE
C *****
C * CALCULO DO CRITICAL FLASHOVER, JA CONTENDO *
C * A CORRECAO QUANTO A ESPESSURA DA ESTRUTURA *
C *****
0252 CALL FLASH(DENOR,KE,ESPESS,CFD)
0253 XN=1.0
C *** CORRECAO DO RIS PARA O FATOR DE GAP N ***
0254 IF (DENOR.LT.2.00.AND.DENOR.GT.11.0) GO TO 871
0255 CALL EXPN(DENOR,XN)
0256 871 DO 950 J=1,NRIS
0257 CFQ=CFQ*(PRIS(J)**XN)
0258 CALL RISFAT(CFQ,NTORRE,CIGMAD,VOLT,AVER(IFASE),SD(IFASE),TRUNC,TN
LABAS,RISK)
RISK=RISK*FREAL(J)/100.
RISCOA=RISCOA+RISK
0259 950 CONTINUE
0260 31 TO 1005
C *****
C * METODO DO PARIS *
C *****
0263 1000 DO 1002 J=1,NRIS
0264 AAA=1.0
0265 DO 1003 I=1,KKK
0266 CFQ=FGAP(I)*500.*DIST(I)**0.6
0267 XN=1.0
C *** CORRECAO DO RIS PARA O FATOR DE GAP N ***
0268 IF (DIST(I).LT.2.00.AND.DIST(I).GT.11.0) GO TO 1006
0269 CALL EXPN(DIST(I),XN)
0270 CFOPAR(I)=CFQ*(RRIS(J)**XN)
0271 CALL RISFAT(CFOPAR(I),NTORRE,CIGMAD,VOLT,AVER(IFASE),SD(IFASE),TRU
INC,TNABAS,RISK)
RISPAR(I)=1.0-RISK
AAA=AAA*RISPAR(I)
1003 CONTINUE
R3AP=(1.0-AAA)*FREAL(J)/100.
RISCOA=RISCOA+RGAP
1002 CONTINUE
1005 IF (KC.EQ.2) FREA2(1)=100.
0272 RTOTAL=RISCOA*FREA2(NVE)/100.
0273 PRRR=RRRR+RTOTAL
0274 RISKO(IFASE)=RRRR
0275 FREA2(1)=FPEVEN
0276 WRITE(6,358) IFASE, RISKO(IFASE)
0277 358 FORMAT(// 6X, 'RISKO TOTAL DA FASE', A4, ' = ', F5.7)
0278
0279
0280
0281
0282
0283
0284
```



```

0287 702 SHING(NVE)=-SHING(NVE)*57.29518
0288 GO TO 3288
C *****
C * RISCO TOTAL DA LINHA *
C *****
0289 701 AA=1.0
0290 WRITE(6,329)LTORRE
0291 329 FORMAT(10(I),45X,30(*),/,45X,'R E S U L T A D O   F I N A L
      */,45X,30(*),////,34X,'RISCO DE FALHA TOTAL PARA ISCLAMENTO DE
      *',14,' TORRES',////)
      DD 330 I=1,NV
0292 WRITE(6,331)IFAS(I),RISCO(I)
0293 331 FORMAT(40X,'RISCO TOTAL DA FASE ',A4,'= ',E15.7,/)
0294 330 CONTINUE
0295 DD 955 I=1,IFASE
0296 RL(I)=1.-RISK(I)
0297 955 AA=AA*RL(I)
0298 RLINE=1.-AA
0299 IF(RLINE.EQ.0.0)GO TO 3955
0300 PFLASH=1./RLINE
0301 WRITE(6,332)RLINE,PFLASH
0302 332 FORMAT(40X,'RISCO TOTAL DA LINHA= ',E15.7,' OU ',F10.1,' SURTOS/FL
      1ASHOVER')
0303 WRITE(6,351)
0304 GO TO 2000
0305 3955 WRITE(6,3956)RLINE
0306 3956 FORMAT(40X,'RISCO TOTAL DA LINHA= ',E15.7)
0307 2000 CONTINUE
0308 *STOP
0309 END
0310

```



```

0002 DATA IAST/1000*1*1/
0003 L=4
0004 GO TO(1,2,3),ICOD
0005 1 WRITE(6,4)
0006 4 FORMAT(30X,'HISTOGRAMA DO RELATIVE INSULATION STRENGTH',/,7X,'RIS'
0007 *,8X,'FREQ %',/)
0008 50 TO 7
0009 2 WRITE(6,5)
0010 5 FORMAT(30X,'HISTOGRAMA DA VELOCIDADE DE VENTO',/,6X,' M/S ',7X,'FR
0011 *,8X,'FREQ %',/)
0012 60 TO 7
0013 3 WRITE(6,5)
0014 6 FORMAT(30X,'HISTOGRAMA DOS ANGULOS DE BALANCO',/,7X,'GRAUS',6X,'FR
0015 *,8X,'FREQ %',/)
0016 7 DO 15 KI=1,N
0017 15 W(KI)=(FLOAT(K(KI))*100.)/FLOAT(J)
0018 XFMAX=W(1)
0019 DO 12 KI=2,N
0020 IF(XFMAX-W(KI))11,12,12
0021 11 XFMAX=W(KI)
0022 12 CONTINUE
0023 DO 13 I=1,N
0024 M=(100.*W(1))/XFMAX
0025 WRITE(6,14)X(I),W(I),(IAST(I),I1=1,M)
0026 14 FORMAT(1X,F10.2,2X,F10.2,2X,F10.2,2X,100A1)
0027 L=L+1
0028 IF(L-63)13,13,8
0029 8 WRITE(6,9)
0030 9 FORMAT('1')
0031 L=4
0032 13 CONTINUE
0033 WRITE(6,10)
0034 10 FORMAT('1')
0035 RETURN
0036 END

```



0004
0005
0006
0007
0008
0009
0010
0011
0012
0013
0014
0015
0016
0017
0018
0019
0020
0021
0022
0023
0024

0025
0026
0027
0028

00 5 I=1.21


```

DATA X/0.0,0.05,0.10,0.15,0.20,0.25,0.30,0.35,0.40,0.45,0.50,0.55,
A0.60,0.65,0.70/
DATA Y/0.78,0.80,0.85,0.94,1.0,1.04,1.075,1.1,1.13,1.15,1.175,1.19
A,1.21,1.225,1.235/
DO 1 I=1,15
IF(WD.EQ.X(I))GO TO 50
1 CONTINUE
DO 2 I=1,15
IF(ABS(WD-X(I)).LT.0.05)GO TO 150
2 CONTINUE
150 TWSCF=((X(I+1)-WD)*Y(I)+(WD-X(I))*Y(I+1))/(X(I+1)-X(I))
GO TO 70
50 TWSCF=Y(I)
70 RETURN
END

```

```

0003
0004
0005
0006
0007
0008
0009
0010
0011
0012
0013
0014
0015

```



```

0002 DIMENSION A(1),S(1),TOTAL(1),AVER(1),SD(1),VMIN(1),VMAX(1)
0003 IER=0
0004 DO 1 K=1,NV
0005 TOTAL(K)=0.0
0006 AVER(K)=0.0
0007 SD(K)=0.0
0008 VMIN(K)=1.0E75
0009 1 VMAX(K)=-1.0E75
0010 SONT=0.0
0011 DO 7 J=1,NG
0012 IJ=J-200
0013 IF(S(J))2,7,2
0014 2 SONT=SONT+1.0
0015 DO 6 I=1,NV
0016 IJ=IJ+200
0017 TOTAL(I)=TOTAL(I)+A(IJ)
0018 IF(A(IJ)-VMIN(I))3,4,4
0019 3 VMIN(I)=A(IJ)
0020 4 IF(A(IJ)-VMAX(I))6,6,5
0021 5 VMAX(I)=A(IJ)
0022 6 SD(I)=SD(I)+A(IJ)*A(IJ)
0023 7 CONTINUE
0024 IF(SONT)8,8,9
0025 8 IER=1
0026 GO TO 15
0027 9 DO 10 I=1,NV
0028 10 AVER(I)=TOTAL(I)/SONT
0029 IF(SONT-1.0)13,11,13
0030 11 IER=2
0031 DO 12 I=1,NV
0032 12 SD(I)=0.0
0033 GO TO 15
0034 13 DO 14 I=1,NV
0035 14 SD(I)=SQRT(ABS((SD(I)-TOTAL(I))*TOTAL(I)/SONT)/(SONT-1.0))
0036 15 RETURN
0037 END

```



```

0034 SIGMAO=SD/AVER
0005 UD50=AVER/TNABAS
0006 UD50=CCFJ/VOLT
0007 TD(I)=+5.
0008 PD(I)=1.-PROB(TD(I))
0009 UTMAX=UD50*(1.+TRUNC*SIGMAO)
0010 SIGMAO=UD50*SIGMAO
0011 UTMIN=UD50-TD(I)*SIGMAO
0012 SIGMAO=UD50*SIGMAO
0013 UD(I)=UD50-TD(I)*SIGMAO
0014 UTMAX=UD50+TD(I)*SIGMAO
0015 RISK = 0.0
0016 UD(I)=UD(I)
0017 IF(UDMAX.GT.UTMIN)GO TO 10
0018 RISK=1.0
0019 GO TO 99
0020 10 TD(I)=(UD(I)-UD50)/SIGMAO
0021 IF(UDMAX.LE.UO(I))GO TO 99
0022 IF(TO(I).LT.0.0)GO TO 30
0023 PD(I)=PROB(TO(I))
0024 GO TO 31
0025 30 TTD=-TO(I)
0026 PD(I)=1-PROB(TTD)
0027 DUD=0.1*SIGMAO
0028 A=(UDMAX-UD(I))/(0.10*SIGMAO)
0029 A=A+0.5
0030 N=IFIX(A)
0031 111 DO 100 I=1,N
0032 TD(I+1)=TO(I)+0.10
0033 IF(TO(I+1).LT.0.0)GO TO 32
0034 PD(I+1)=PROB(TO(I+1))
0035 GO TO 33
0036 32 TTD=-TO(I+1)
0037 PD(I+1)=1-PROB(TTD)
0038 33 DPO(I)=PD(I+1)-PD(I)
0039 UD(I+1)=UD(I)+DUD
0040 IF(I.NE.1)GO TO 50
0041 UD(I+1)=UD(I)+DUD/2.
0042 UD(I+1)=UD(I+1)
0043 TD(I+1)=(UD(I+1)-UD50)/SIGMAO
0044 TD(I+1)=-TD(I+1)
0045 IF(TD(I+1).LT.0.0)GO TO 34
0046 PD(I+1)=1.-PROB(TD(I+1))
0047 GO TO 35
0048 34 TTD=-TD(I+1)
0049 PD(I+1)=PROB(TTD)
0050 35 DUD=DUD
0051 50 JD(I+1)=JD(I+1)
0052 TD(I+2)=-TD(I+1)+DUD/SIGMAO
0053 TD(I+2)=-TD(I+2)
0054 IF(TD(I+2).LT.0.0)GO TO 36

```



```

37 PTESTE=1.-PDM(I+1)
   IF (PTESTE.EQ.0.0) GO TO 38
   PLNG=ALOG(PTESTE)
   IF (PLNG-(-73./NTORRE))39,40,40
38 PDM(I)=1.0
   GO TO 200
40 PDM(I)=1.-PTESTE**NTORRE
   CALCULO DO RISCO DE FALHA
200 RISCO(I)=DPO(I)*PDM(I)
   RISK=RISK+RISCO(I)
100 CONTINUE
99 RETJRN
   END
C

```

```

0059
0060
0061
0062
0063
0064
0065
0066
0067
0068
0069
0070

```


C
 CALCULO DE PROBABILIDADES DE
 P=0.2316419
 R1=0.319381530
 R2=-0.356563782
 R3=1.781477937
 R4=-1.821255978
 R5=1.330274429
 Q=SQRT(1./(2*3.141593))
 T=1./((1.+P*X)
 Z=Q*EXP((-X**2)/2.)
 PR09=1.-Z*T*(R1+T*(R2+T*(R3+T*(R4+T*(R5))))
 RETURN
 END

0001
 0002
 0003
 0004
 0005
 0006
 0007
 0008
 0009
 0010
 0011
 0012
 0013


```

C *CORRECAO DO RIS PARA O FATOR DE CAP N *
C *****
DI MENSION X(10),Y(10)
DATA X/2.,3.,4.,5.,6.,7.,8.,9.,10.,11./
DATA Y/1.0,0.74,0.62,0.55,0.49,0.44,0.4,0.37,0.35,0.34/
DO 1 I=1,10
IF(DENOR.EQ.X(I))GO TO 50
1 CONTINUE
DO 2 I=1,10
IF(ABS(DENOR-X(I)).LT.1.0)GO TO 150
2 CONTINUE
150 XN=((X(I+1)-DENOR)*Y(I)+(DENOR-X(I))*Y(I+1))/(X(I+1)-X(I))
50 XN=Y(I)
70 RETURN
END

```

0002
0003
0004
0005
0006
0007
0008
0009
0010
0011
0012
0013
0014
0015

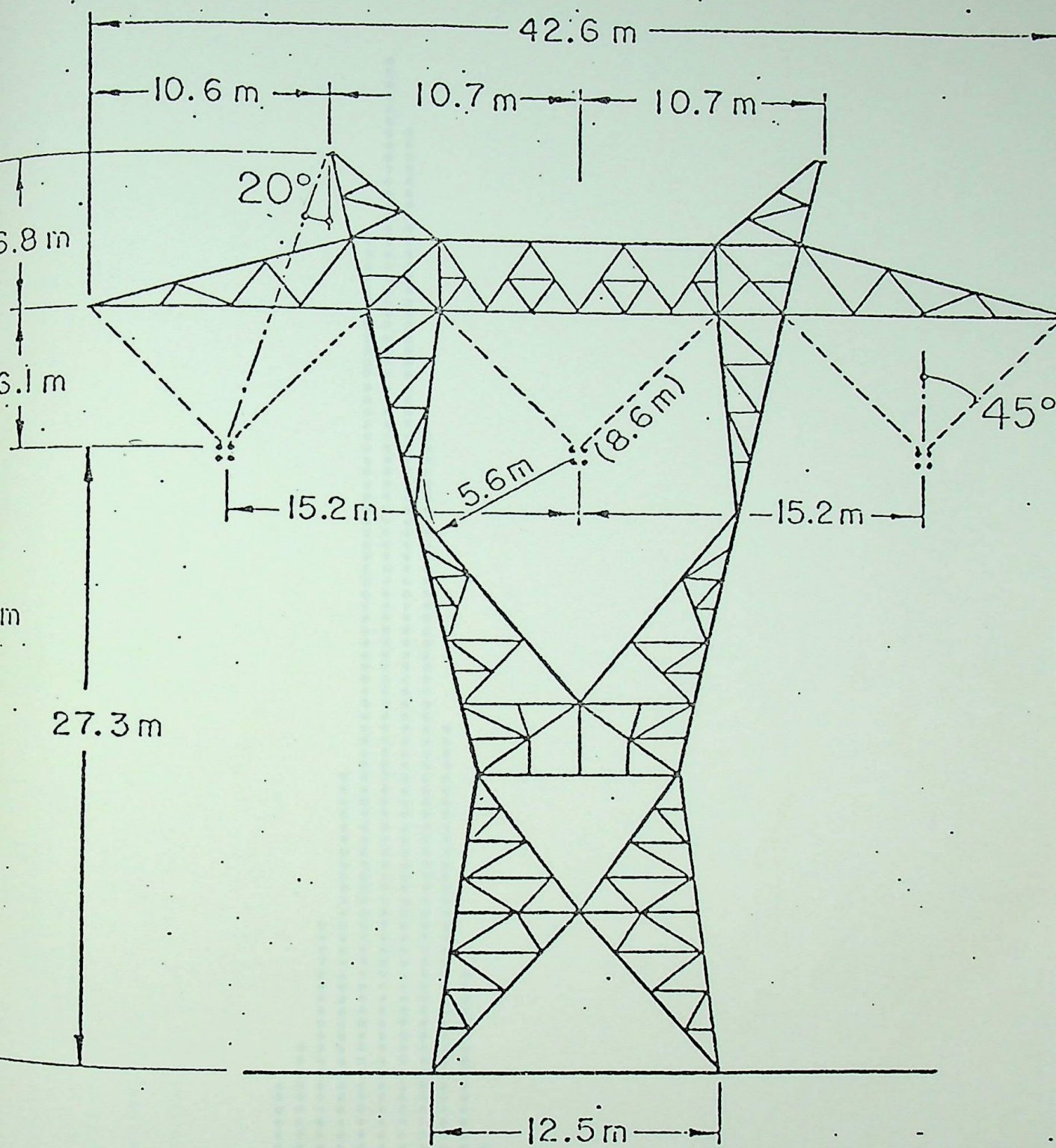
APÊNDICE VII

FORMULÁRIOS DE CODIFICAÇÃO

NGER	RCOR	NI	ESPES	N TORRE	CARTAO	TIP
• xxx	xxx • xxx	xxx	xxx • xxx	xxx	OLHAL	xxx • xxx

APÊNDICE VIII

CASOS TESTES



TORRE DE 735kV - CIRCUITO SIMPLES

0.78	0.02	*
0.81	0.02	*
0.83	0.02	*
0.84	0.05	*
0.85	0.05	*
0.86	0.04	*
0.87	0.07	*
0.88	0.20	*
0.89	0.23	*
0.90	0.56	*
0.91	0.43	*
0.92	0.68	*
0.93	1.37	*
0.94	2.64	*
0.95	3.27	*
0.96	4.96	*
0.97	7.02	*
0.98	14.75	*
0.99	17.52	*
1.00	16.30	*
1.01	12.00	*
1.02	7.71	*
1.03	4.31	*
1.04	1.83	*
1.05	0.92	*
1.06	0.45	*
1.07	0.56	*
1.08	0.23	*
1.09	0.23	*
1.10	0.13	*
1.11	0.13	*
1.12	0.14	*
1.13	0.16	*
1.14	0.18	*
1.15	0.14	*
1.16	0.07	*
1.17	0.02	*
1.18	0.05	*
1.19	0.09	*
1.20	0.05	*
1.21	0.07	*
1.22	0.02	*
1.23	0.05	*
1.25	0.02	*
1.26	0.04	*
1.27	0.02	*
1.28	0.04	*
1.29	0.02	*
1.30	0.07	*
1.31	0.02	*
1.33	0.02	*

[illegible]

0.00	37.71	
0.06	0.16	*
0.22	0.22	*****
0.37	2.46	*****
0.46	11.30	*****
0.64	9.49	*****
0.81	12.34	*****
0.98	7.24	*****
1.14	2.73	*****
1.35	6.32	*****
1.61	1.56	*****
1.95	5.73	*****
2.25	0.32	*
2.56	1.24	*****
2.96	0.25	*
3.29	0.20	*
3.64	0.61	*
4.54	0.05	*
5.62	0.14	*
6.69	0.04	*
17.82	0.02	*
22.39	0.02	*
30.67	0.02	*
42.81	0.02	*


```

*****
*                               *
*      COIN I                   *
* *****                      *
* DESEMPENHO ELETRICO DA LINHA DE TRANSMISSAO QUANTO *
* A SURTOS DE MANOBRAS          *
* *****                      *

```

```

*****
*                               *
* DESEMPENHO ELETRICO P/1 TORRE *
*                               *
* *****                      *

```

```

NUMERO DE EXPERIENCIAS= 0
PONTO DE TRUNCAMENTO DA CURVA NORMAL DE SOBRETENSOES= 3.00 SIGMAS
TENSAO BASICA DO TNA= 1.00 VOLTS
DESVIO PADRAO DA SUPORTABILIDADE= .05000
TENSAO DO SISTEMA= 735.0 KV

```

DISTRIBUICAO ESTATISTICA DAS SOBRETENSOES

	FASE A	FASE B	FASE C
MEDIA	1.600	1.600	1.600
D.PADRAO	0.096	0.096	0.096
TENSAO DE PICO DO SISTEMA(FASE-NEUTRO)=	600.12		

DADOS DO CONDUTOR E VAOS

DIAMETRO DO CONDUTOR= 1.377 POLEGADAS

PESO DO CONDUTOR= 1.468 LIBRA/PES

VAO VERTICAL= 70.000 METROS

VAO HORIZONTAL= 100.000 METROS

DADOS DA CONFIGURACAO DA TORRE

COMPRIMENTO DOS ESPACADORES= 3.100 METROS

COMPRIMENTO DO RAIO ENERGIZADO(CORONA)= 0.457 METROS

NUMERO DE ISOLADORES= 35

ESPESSURA DA ESTRUTURA= 2.00 METROS

NUMERO DE TORRES= 1

COMPRIMENTO DO ULHAL= 0.0 METROS

F A S E E S T U D A D A - E X T E R N A

TIPO DE CADEIA-V

METODO CONSIDERADO-EHV-EPRI

COORDENADAS CARTESIANAS DA TORRE

PONTO	ABCISSA	ORDENADA	FATOR DE GAP
1	6.10	0.0	
2	-6.10	0.0	
3	-8.02	8.85	
4	-10.60	20.33	

RISCO TOTAL DA FASE A = 0.1513644E-07

DADOS DO CONJUTOR E VAOS

DIAMETRO DO CONDUTOR= 1.377 POLEGADAS

PESO DO CONJUTOR= 1.468 LIBRA/PES

VAO VERTICAL= 75.000 METROS

VAO HORIZONTAL= 100.000 METROS

DADOS DA CONFIGURACAO DA TORRE

COMPRIMENTO DOS ESPACADORES= 3.100 METROS

COMPRIMENTO DO RAIO ENERGIZADO(CORONA)= 0.457 METROS

NUMERO DE ISOLADORES= 35

ESPESSURA DA ESTRUTURA= 2.00 METROS

NUMERO DE TORRES= 1

COMPRIMENTO DO JALHAL= 0.0 METROS

FASE ESTUDADA - INTERNA

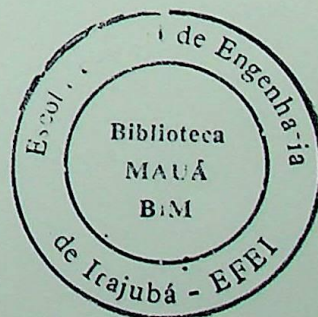
TIPO DE CADEIA-V

METODO CONSIDERADO-EHV-EPRI

COORDENADAS CARTESIANAS DA TORRE

PONTO	ABSCISSA	ORDENADA	FATOR DE GAP
1	6.10	0.0	
2	-6.10	0.0	
3	-7.19	8.85	
4	0.0	17.15	
5	7.19	8.84	

RISCO TOTAL DA FASE B = 0.1513644E-07



DADOS DO CONDUTOR E VAOS

DIAMETRO DO CONDUTOR= 1.377 POLEGADAS
PESO DO CONDUTOR= 1.468 LIBRA/PES
VAO VERTICAL= 70.000 METROS
VAO HORIZONTAL= 100.000 METROS

DADOS DA CONFIGURACAO DA TORRE

COMPRIMENTO DOS ESPACADORES= 3.100 METROS
COMPRIMENTO DO RAIO ENERGIZADO(CORONA)= 0.457 METROS
NUMERO DE ISOLADORES= 35
ESPESSURA DA ESTRUTURA= 2.00 METROS
NUMERO DE TORRES= 1
COMPRIMENTO DO ULHAL= 0.0 METROS

F A S E E S T U D A D A - E X T E R N A

T I P O D E C A D E I A - V

M E T O D O C O N S I D E R A D O - E H V - E P R I

C O O R D E N A D A S C A R T E S I A N A S D A T O R R E

PONTO	ABCISSA	ORDENADA	FATOR DE GAP
1	-6.10	0.0	
2	6.10	0.0	
3	8.02	8.85	
4	10.60	20.33	

RISCO TOTAL DA FASE C = 0.1513644E-07

R E S U L T A D O F I N A L

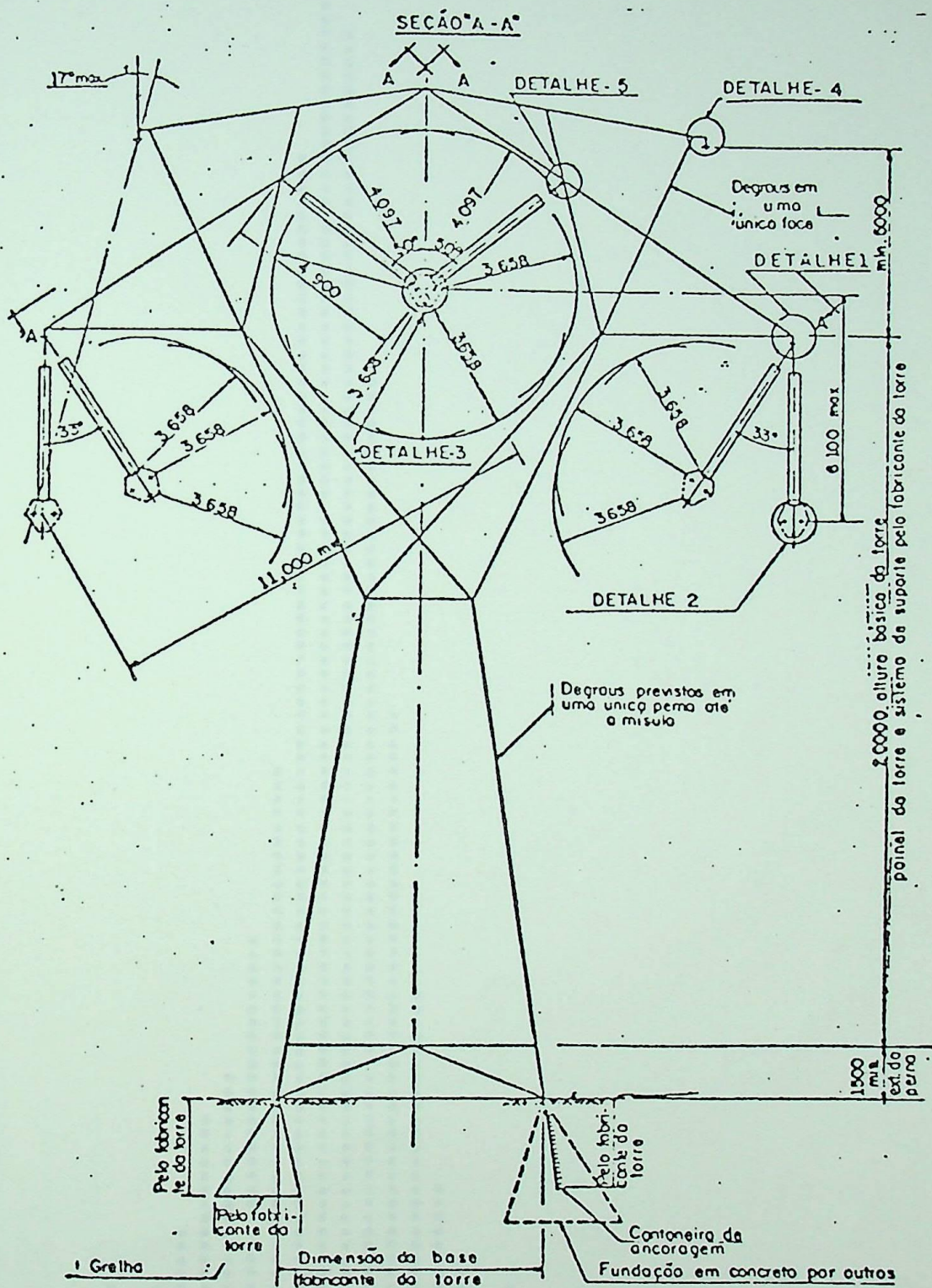
RISCO DE FALHA TOTAL PARA ISOLAMENTO DE 1 TCRRES

RISCO TOTAL DA FASE A = 0.1513644E-07

RISCO TOTAL DA FASE B = 0.1513644E-07

RISCO TOTAL DA FASE C = 0.1513644E-07

RISCO TOTAL DA LINHA= 0.0



TORRE DE 500kV - CONFIGURAÇÃO IVI

0.81	0.02	*
0.83	0.02	*
0.84	0.05	*
0.85	0.05	*
0.86	0.04	*
0.87	0.07	*
0.88	0.20	*
0.89	0.23	*
0.90	0.56	***
0.91	0.43	**
0.92	0.68	***
0.93	1.37	***
0.94	2.64	***
0.95	3.27	***
0.96	4.96	***
0.97	7.02	***
0.98	14.75	***
0.99	17.52	***
1.00	16.30	***
1.01	12.00	***
1.02	7.71	***
1.03	4.31	***
1.04	1.83	***
1.05	0.92	***
1.06	0.45	***
1.07	0.56	***
1.08	0.23	*
1.09	0.23	*
1.10	0.13	*
1.11	0.13	*
1.12	0.14	*
1.13	0.16	*
1.14	0.18	*
1.15	0.14	*
1.16	0.07	*
1.17	0.02	*
1.18	0.05	*
1.19	0.09	*
1.20	0.05	*
1.21	0.07	*
1.22	0.02	*
1.23	0.05	*
1.25	0.02	*
1.26	0.04	*
1.27	0.02	*
1.28	0.04	*
1.29	0.02	*
1.30	0.07	*
1.31	0.02	*
1.32	0.02	*

0.0	37.71	
0.50	3.16	*
1.10	2.46	***
1.60	11.30	*****
2.10	9.49	*****
2.70	12.34	*****
3.20	7.24	*****
3.70	2.73	*****
4.30	6.32	*****
4.80	1.56	***
5.30	5.73	*****
5.90	0.32	*
6.40	1.24	***
6.90	0.25	*
7.50	0.20	*
8.00	3.61	*
8.50	0.05	*
9.60	0.14	*
10.70	0.04	*
11.70	0.02	*
22.40	3.02	*
26.70	0.02	*
33.60	0.02	*
42.70	3.02	*

0.0 0.06 37.71
0.24 0.16
0.39 2.46
0.50 11.30
0.69 9.49
0.87 12.34
1.05 7.24
1.23 2.73
1.45 6.32
1.73 1.56
2.10 5.73
2.42 0.32
2.76 1.24
3.18 3.25
3.54 0.20
3.91 0.61
4.88 0.05
6.04 3.14
7.19 0.04
19.08 0.02
23.92 0.02
32.60 0.02
45.07 3.02

DADOS DO CONDUTOR E VAOS

DIAMETRO DO CONDUTOR= 0.858 POLEGADAS

PESO DO CONDUTOR= 0.655 LIBRA/PES

VAO VERTICAL= 500.000 METROS

VAO HORIZONTAL= 550.000 METROS

DADOS DA CONFIGURACAO DA TORRE

COMPRIMENTO DOS ESPACADORES= 0.165 METROS

COMPRIMENTO DO RAO ENERGIZADO(CORONA)= 0.323 METROS

NUMERO DE ISOLADORES= 26

ESPESSURA DA ESTRUTURA= 1.30 METROS

NUMERO DE TORRES= 1

COMPRIMENTO DO OLHAL= 0.454 METROS

F A S E E S T U D A D A - E X T E R N A

TIPO DE CADEIA-I

METJDO CONSIDERADO-PARIS

COORDENADAS CARTESIANAS DA TORRE

PONTO	ABCISSA	ORDENADA	FATOR DE GAP
1	0.0	-0.20	1.50
2	-5.45	-0.20	1.35
3	-8.80	8.20	1.30
4	-7.50	16.75	

RISCO TOTAL DA FASE A = 0.6340747E-10

DADOS DO CONDUITOR E VAOS

DIAMETRO DO CONDUITOR= 0.858 POLEGADAS

PESO DO CONDUITOR= 0.655 LIBRA/PES

VAO VERTICAL= 500.000 METROS

VAO HORIZONTAL= 550.000 METROS

DADOS DA CONFIGURACAO DA TORRE

COMPRIMENTO DOS ESPACADORES= 0.100 METROS

COMPRIMENTO DO RAO ENERGIZADO(CORONA)= 0.323 METROS

NUMERO DE ISOLADORES= 26

ESPESSURA DA ESTRUTURA= 1.80 METROS

NUMERO DE TORRES= 1

COMPRIMENTO DO ULHAL= 0.682 METROS

F A S E E S T U D A D A - I N T E R N A

TIPO DE CADEIA-V

METODO CUNSIDERADO-EHV-EPRI

COORDENADAS CARTESIANAS DA TORRE

PONTO	ABCISSA	ORDENADA	FATOR DE GAP
1	0.0	-2.10	
2	-3.30	0.10	
3	-5.00	4.00	
4	0.0	10.30	
5	5.00	4.00	
6	3.80	0.10	

RISCO TOTAL DA FASE B = 0.1197664E-06

DADOS DO CONDUTOR E VAOS

DIAMETRO DO CONDUTOR= 0.858 POLEGADAS
PESO DO CONDUTOR= 0.655 LIBRA/PES
VAC VERTICAL= 500.000 METROS
VAO HORIZONTAL= 550.000 METROS

DADOS DA CONFIGURACAO DA TORRE

COMPRIMENTO DOS ESPACADORES= 0.165 METROS
COMPRIMENTO DO RAO ENERGIZADO(CORONA)= 0.323 METROS
NUMERO DE ISOLADORES= 26
ESPESSURA DA ESTRUTURA= 1.80 METROS
NUMERO DE TORRES= 1
COMPRIMENTO DO ULHAL= 0.454 METROS

F A S E E S T U D A D A - E X T E R N A

TIPO DE CADEIA-I

METODO CONSIDERADO-PARIS

PUNTO	COORDENADAS CARTESIANAS DA TORRE		FATOR DE GAP
	ABCISSA	ORDENADA	
1	0.0	-0.20	1.50
2	5.45	-0.20	1.35
3	8.80	8.20	1.30
4	7.50	16.75	

RISCO TOTAL DA FASE C = 0.0

R E S U L T A D O C F I N A L

RISCO DE FALHA TOTAL PARA ISOLAMENTO DE 1 TORRES

RISCO TOTAL DA FASE A = 0.6340747E-10

RISCO TOTAL DA FASE B = 0.1197664E-06

RISCO TOTAL DA FASE C = 0.0

RISCO TOTAL DA LINHA= 0.1192093E-06 OU 8388608.0 SURTCS/FLASHOVER

0.81	0.02	*
0.83	0.02	*
0.84	0.05	*
0.85	0.05	*
0.86	0.04	*
0.87	0.07	*
0.88	0.20	*
0.89	0.23	*
0.90	0.56	**
0.91	0.43	*
0.92	0.68	**
0.93	1.37	**
0.94	2.64	**
0.95	3.27	**
0.96	4.95	**
0.97	7.02	**
0.98	14.75	**
0.99	17.52	**
1.00	16.30	**
1.01	12.00	**
1.02	7.71	**
1.03	4.31	**
1.04	1.83	**
1.05	0.92	**
1.06	0.45	**
1.07	0.56	**
1.08	0.23	*
1.09	0.23	*
1.10	0.13	*
1.11	0.13	*
1.12	0.14	*
1.13	0.16	*
1.14	0.19	*
1.15	0.14	*
1.16	0.07	*
1.17	0.02	*
1.18	0.05	*
1.19	0.09	*
1.20	0.05	*
1.21	0.07	*
1.22	0.02	*
1.23	0.05	*
1.25	0.02	*
1.26	0.04	*
1.27	0.02	*
1.28	0.04	*
1.29	0.02	*
1.30	0.07	*
1.31	0.02	*
1.32	0.02	*

[illegible]

0.06	0.16	*
0.24	2.46	*****
0.39	11.30	*****
0.50	9.49	*****
0.68	12.34	*****
0.87	7.24	*****
1.05	2.73	*****
1.23	6.32	*****
1.45	1.56	*****
1.73	5.73	*****
2.10	0.32	*
2.42	1.24	**
2.76	0.25	*
3.18	0.20	*
3.54	0.61	*
3.91	0.05	*
4.88	0.14	*
6.04	0.04	*
7.19	0.02	*
19.08	0.02	*
23.92	0.02	*
32.60	0.02	*
45.07	0.02	*

COIN I
DESEMPENHO ELETRICO DA LINHA DE TRANSMISSAO QJANTO
A SURTOS DE MANOBRA

ENERGIZACAO P/100 TORRES

NUMERO DE EXPERIENCIAS= 0
PONTO DE TRUNCAMENTO DA CURVA NORMAL DE SOBRETENSOES= 3.00 SIGMAS
TENSAO BASICA DO TNA= 1.00 VOLTS
DESVIO PADRAO DA SUPORTABILIDADE= .05000
TENSAO DO SISTEMA= 500.0 KV

DISTRIBUICAO ESTATISTICA DAS SOBRETENSOES

	FASE A	FASE B	FASE C
MEDIA	2.100	2.100	2.100
D. PADRAO	0.060	0.060	0.060
TENSAO DE PICO DO SISTEMA(FASE-NEUTRO)=	408.25		

DADOS DO CONDUITOR E VANS

DIAMETRO DO CONDUITOR= 0.858 POLEGADAS

PESO DO CONDUITOR= 0.655 LIBRA/PES

VAC VERTICAL= 500.000 METROS

VAO HORIZONTAL= 550.000 METROS

DADOS DA CONFIGURACAO DA TORRE

COMPRIMENTO DOS ESPACADORES= 0.165 METROS

COMPRIMENTO DO RAO ENERGIZADO(CORONA)= 0.323 METROS

NUMERO DE ISOLADORES= 26

ESPESSURA DA ESTRUTURA= 1.80 METROS

NUMERO DE TORRES= 100

COMPRIMENTO DO OLHAL= 0.454 METROS

F A S E E S T U D A D A - E X T E R N A

TIPO DE CADEIA-I

MEIJO CONSIDERADO-PARIS

COORDENADAS CARTESIANAS DA TORRE

PONTO	ABCISSA	ORDENADA	FATOR DE GAP
1	0.0	-0.20	1.50
2	-5.45	-0.20	1.35
3	-8.80	8.20	1.30
4	-7.50	16.75	

RISCO TOTAL DA FASE A = 0.4980595E-08

DADOS DO CONDUTOR E VAOS

DIAMETRO DO CONDUTOR= 0.855 POLEGADAS

PESO DO CONDUTOR= 0.655 LIBRA/PES

VAO VERTICAL= 500.000 METROS

VAO HORIZONTAL= 550.000 METROS

DADOS DA CONFIGURACAO DA TORRE

COMPRIMENTO DOS ESPACADORES= 0.100 METROS

COMPRIMENTO DO RAIO ENERGIZADO(CORONA)= 0.323 METROS

NUMERO DE ISULADORES= 26

ESPESSURA DA ESTRUTURA= 1.80 METROS

NUMERO DE TORRES= 100

COMPRIMENTO DO OLHAL= 0.682 METROS



F A S E E S T U D A D A - I N T E R N A

T I P O D E C A D E I A - V

METODO CONSIDERADO-EHV-EPRI

COORDENADAS CARTESIANAS DA TORRE

PONTO	ABCISSA	ORDENADA	FATOR DE GAP
1	0.0	-2.10	
2	-3.30	0.10	
3	-5.00	4.00	
4	0.0	10.30	
5	5.00	4.00	
6	3.80	0.10	

RISCO TOTAL DA FASE B = 0.1045125E-04

DADOS DO CONDUITOR E VAOS

DIAMETRO DO CONDUITOR= 0.858 POLEGADAS

PESO DO CONDUITOR= 0.655 LIBRA/PES

VAO VERTICAL= 500.000 METROS

VAO HORIZONTAL= 550.000 METROS

DADOS DA CONFIGURACAO DA TORRE

COMPRIMENTO DOS ESPACADORES= 0.165 METROS

COMPRIMENTO DO RAIO ENERGIZADO(CORONA)= 0.323 METROS

NUMERO DE ISOLAÇÕES= 26

ESPESSURA DA ESTRUTURA= 1.80 METROS

NUMERO DE TORRES= 100

COMPRIMENTO DO ULHAL= 0.454 METROS

F A S E E S T U D A D A - E X T E R N A

TIPO DE CADEIA-1

METUJO CONSIDERADO-PARIS

COORDENADAS CARTESIANAS DA TORRE

PONTO	ABCISSA	ORDENADA	FATOR DE GAP
1	0.0	-0.20	1.50
2	5.45	-0.20	1.35
3	8.80	8.20	1.30
4	7.50	16.75	

RISCO TOTAL DA FASE C = 0.0

R E S U L T A D O F I N A L

RISCO DE FALHA TOTAL PARA ISOLAMENTO DE 100 TORRES

RISCO TOTAL DA FASE A = 0.4980595E-08

RISCO TOTAL DA FASE B = 0.1045125E-04

RISCO TOTAL DA FASE C = 0.0

RISCO TOTAL DA LINHA = 0.1043081E-04 CU 95969.7 SURTCS/FLASHOVER

PRONUNCIAMENTO DA COMISSÃO EXAMINADORA

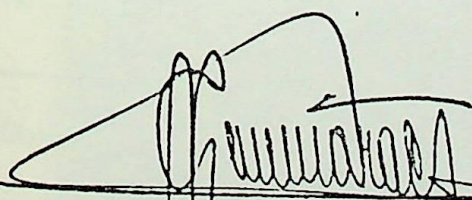
A Comissão Examinadora, abaixo assinada, nomeada por Portaria nº 156 de 11 / 06 / 76, considerando o resultado do Julgamento da Prova de Defesa pública da Tese de Mestrado intitulada:

"Influência dos Parâmetros Meteorológicos no Desempenho Elétrico de Linhas de Transmissão quanto a Surtos de Manobra: um Programa Digital"

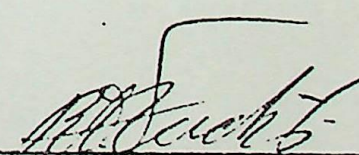
apresenta pronunciamento no sentido de que a Comissão de Pós-Graduação da Escola Federal de Engenharia de Itajubá solicite à DDD (Divisão de Divulgação e Documentação) a expedição do título de Mestre em Ciências, na Área de Concentração de Engenharia Elétrica
Sistemas de Potência

satisfeitas as demais exigências regimentais à PAULO CESAR VAZ
ESMERALDO

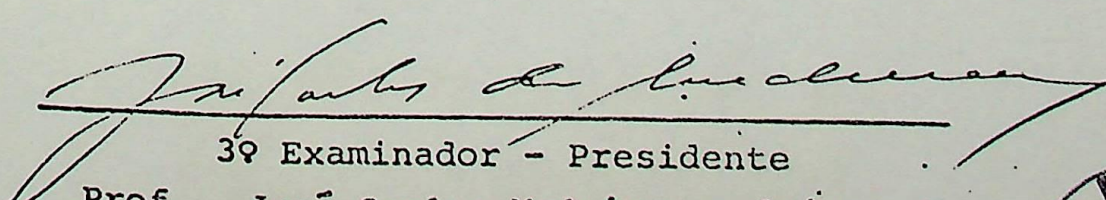
Itajubá, 22 de Junho de 1976


1º Examinador

Prof. Ademir Carnevalli Buimarães


2º Examinador

Prof. Rubens Dario Fuchs


3º Examinador - Presidente

Prof. José Carlos Medeiros - Orientador



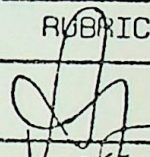
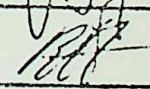
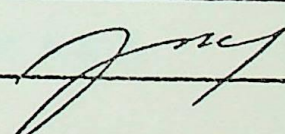
ANEXO II

FOLHA DE JULGAMENTO DA COMISSÃO EXAMINADORA

Título da Dissertação: "Influência dos Parâmetros Meteorológicos no Desempenho Elétrico de Linhas de Transmissão quanto a Surtos de Manobra: um Programa Digital"

Autor: PAULO CESAR VAZ ESMERALDO

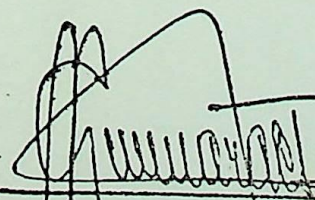
JULGAMENTO

EXAMINADORES	CONCEITO	RUBRICA
1º	A	
2º	A	
3º	A	

Resultado médio: Conceito A, ou seja aprovado

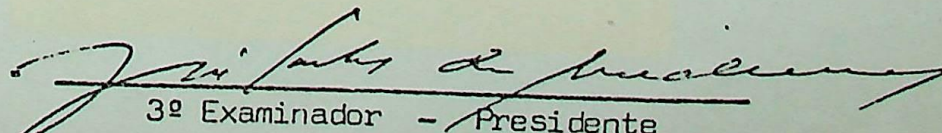
Observações: _____

Itajubá, 22 de Junho de 19 76


1º Examinador


2º Examinador

Prof.: Ademir Carnevalli Guimarães Prof.: Rubens Darío Fuchs


3º Examinador - Presidente

Prof.: José Carlos Medeiros

[illegible]

NÃO DANIFIQUE ESTA ETIQUETA