

## Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL

### Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST

#### Módulo 7– Cálculo de Perdas na Distribuição

Revisão	Motivo da Revisão	Instrumento de aprovação pela ANEEL	Data de vigência
0	Primeira versão aprovada (após realização da AP 014/2008)	Resolução Normativa nº 345/2008	De 31/12/2008 a 31/12/2009
1	Revisão 1 (após realização da AP 033/2009)	Resolução Normativa nº 395/2009	De 01/01/2010 a 30/11/2011
2	Revisão 2 (após realização da AP 025/2011)	Resolução Normativa nº 465/2011	01/12/2011

---

## MÓDULO 7 – CÁLCULO DE PERDAS NA DISTRIBUIÇÃO

### ÍNDICE

<b>SEÇÃO 7.0 – INTRODUÇÃO</b> .....	<b>3</b>
<b>1 OBJETIVO</b> .....	<b>3</b>
<b>2 ABRANGÊNCIA</b> .....	<b>3</b>
<b>3 CONTEÚDO</b> .....	<b>3</b>
<b>4 DAS ALTERAÇÕES DESTA REVISÃO</b> .....	<b>4</b>
<b>SEÇÃO 7.1 – PREMISSAS DE CÁLCULO E INDICADORES</b> .....	<b>5</b>
<b>1 OBJETIVO</b> .....	<b>5</b>
<b>2 PREMISSAS DE CÁLCULO</b> .....	<b>5</b>
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>6</b>
<b>4 INDICADORES DE PERDAS</b> .....	<b>7</b>
<b>5 DADOS E INFORMAÇÕES A SEREM FORNECIDAS PARA O CÁLCULO DAS PERDAS</b> .....	<b>8</b>
<b>SEÇÃO 7.2 – CÁLCULO DAS PERDAS TÉCNICAS DE POTÊNCIA</b> .....	<b>10</b>
<b>1 OBJETIVO</b> .....	<b>10</b>
<b>2 PERDA DE POTÊNCIA PARA A DEMANDA MÉDIA NO SDMT</b> .....	<b>10</b>
<b>3 PERDA DE POTÊNCIA PARA A DEMANDA MÉDIA NO SDBT</b> .....	<b>11</b>
<b>4 PERDA DE POTÊNCIA PARA A DEMANDA MÉDIA EM UNIDADES TRANSFORMADORAS</b> .....	<b>13</b>
<b>5 PERDA DE POTÊNCIA PARA A DEMANDA MÉDIA EM RAMAIS DE LIGAÇÃO E MEDIDORES</b> <b>13</b>	<b>13</b>
<b>SEÇÃO 7.3 – CÁLCULO DAS PERDAS TÉCNICAS DE ENERGIA</b> .....	<b>16</b>
<b>1 OBJETIVOS</b> .....	<b>16</b>
<b>2 PERDAS DE ENERGIA EM SDAT</b> .....	<b>16</b>
<b>3 PERDAS DE ENERGIA EM SDMT</b> .....	<b>16</b>
<b>4 PERDAS DE ENERGIA EM SDBT</b> .....	<b>17</b>
<b>5 PERDAS DE ENERGIA EM UNIDADES TRANSFORMADORAS</b> .....	<b>17</b>
<b>6 PERDAS DE ENERGIA EM RAMAIS DE LIGAÇÃO E MEDIDORES</b> .....	<b>17</b>
<b>SEÇÃO 7.4 – DISPOSIÇÕES TRANSITÓRIAS</b> .....	<b>18</b>
<b>ANEXO – CÁLCULO DA PERDA DE POTÊNCIA PARA A DEMANDA MÉDIA NO SDBT</b> .....	<b>19</b>

---

Assunto: Introdução	Seção: 7.0	Revisão: 2	Data de Vigência: 01/12/2011	Página: 3 de 22
------------------------	---------------	---------------	---------------------------------	--------------------

## **SEÇÃO 7.0 – INTRODUÇÃO**

### **1 OBJETIVO**

- 1.1 Estabelecer a metodologia e os procedimentos para obtenção dos dados necessários para apuração das perdas dos sistemas de distribuição de energia elétrica.
- 1.2 Definir indicadores para avaliação das perdas nos segmentos de distribuição de energia elétrica.
- 1.3 Estabelecer a metodologia e os procedimentos para apuração das perdas dos sistemas de distribuição de energia elétrica.

### **2 ABRANGÊNCIA**

- 2.1 Os procedimentos de cálculo das perdas na distribuição definidos neste módulo devem ser observados por:
  - a) Distribuidoras de energia elétrica, de acordo com os regulamentos específicos relacionados à revisão tarifária; e
  - b) Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE, no que diz respeito à apuração das perdas de energia nas Demais Instalações de Transmissão – DIT.
- 2.2 São consideradas somente as perdas técnicas de responsabilidade da distribuidora, incluindo seu sistema de distribuição e as DIT, quando couber.

### **3 CONTEÚDO**

- 3.1 O módulo é composto das seguintes seções, a saber:
  - a) Seção 7.0 – **INTRODUÇÃO**;
  - b) Seção 7.1 – **PREMISSAS DE CÁLCULO E INDICADORES** - define os indicadores de perdas e estabelece as disposições gerais sobre os dados necessários para os cálculos das perdas por segmento de distribuição;
  - c) Seção 7.2 – **CÁLCULO DAS PERDAS TÉCNICAS DE POTÊNCIA** - estabelece os procedimentos para o cálculo das perdas técnicas de potência dos sistemas de distribuição de energia elétrica;
  - d) Seção 7.3 – **CÁLCULO DAS PERDAS TÉCNICAS DE ENERGIA** - estabelece os procedimentos para o cálculo das perdas técnicas de energia dos sistemas de distribuição de energia elétrica;

Assunto: Introdução	Seção: 7.0	Revisão: 2	Data de Vigência: 01/12/2011	Página: 4 de 22
------------------------	---------------	---------------	---------------------------------	--------------------

- e) Seção 7.4 – **DISPOSICOES TRANSITÓRIAS** – estabelece as disposições transitórias relacionadas ao cálculo de perdas na distribuição.

#### **4 DAS ALTERAÇÕES DESTA REVISÃO**

- 4.1 Na Seção 7.0 foram alterados os itens 2.1 e 2.2 e foi inserida a alínea “e” no item 3.1. Na Seção 7.1, com exceção dos itens 1 (e respectivos subitens), 2.4, 2.6, 2.8, 3, 3.1, 3.1.1, 3.2, 3.2.1, 3.2.6, 4 e 4.1, todos os demais foram alterados. Todos os itens das Seções 7.2 e 7.3 foram alterados. Foi criada a Seção 7.4. Os dois anexos da versão anterior foram retirados e um novo anexo foi criado.

Assunto: Premissas de Cálculo e Indicadores	Seção: 7.1	Revisão: 2	Data de Vigência: 01/12/2011	Página: 5 de 22
--	---------------	---------------	---------------------------------	--------------------

## **SEÇÃO 7.1 – PREMISSAS DE CÁLCULO E INDICADORES**

### **1 OBJETIVO**

- 1.1 Definir os indicadores de perdas e estabelecer as disposições gerais sobre os dados necessários para o cálculo das perdas por segmento de distribuição.

### **2 PREMISSAS DE CÁLCULO**

- 2.1 É adotado o valor de referência de 0,92 para o fator de potência utilizado nos cálculos das perdas nos segmentos.
- 2.2 As cargas são consideradas distribuídas de forma equilibrada nas fases das redes do Sistema de Distribuição em Média Tensão (SDMT).
- 2.3 São consideradas perdas adicionais de 15% sobre o montante de perdas técnicas calculadas para as redes dos Sistemas de Distribuição em Baixa Tensão (SDBT), devido ao desequilíbrio da carga e o posicionamento assimétrico do transformador em relação às tipologias de rede.
- 2.4 São considerados os níveis de tensão nominal de operação de cada distribuidora.
- 2.5 As perdas nos transformadores são baseadas nos valores normatizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, para avaliação das perdas totais à carga nominal e a vazio. Na ausência destes, serão adotados valores de projeto dos equipamentos informados pela distribuidora ou utilizados valores típicos.
- 2.6 Para determinação da resistência ôhmica, a temperatura de operação dos condutores elétricos é considerada constante e igual a 55 ° C.
- 2.7 São consideradas perdas adicionais de 5% sobre o montante de perdas técnicas totais, excluindo-se as perdas apuradas por medição, devido às perdas técnicas produzidas por efeito corona em conexões, sistemas supervisórios, relés fotoelétricos, capacitores, transformadores de corrente e de potencial, e por fugas de correntes em isoladores e pára-raios.
- 2.8 Os dados necessários para a apuração das perdas no sistema de distribuição e nas DIT de uso exclusivo devem ser fornecidos pela distribuidora, conforme estabelecido no Módulo 6 – Informações Requeridas e Obrigações. Para apuração das perdas podem ainda ser utilizadas demais informações disponíveis na ANEEL.
- 2.9 A distribuidora deve apresentar avaliação das perdas por segmento, detalhando a metodologia utilizada no estudo.

Assunto: Premissas de Cálculo e Indicadores	Seção: 7.1	Revisão: 2	Data de Vigência: 01/12/2011	Página: 6 de 22
--	---------------	---------------	---------------------------------	--------------------

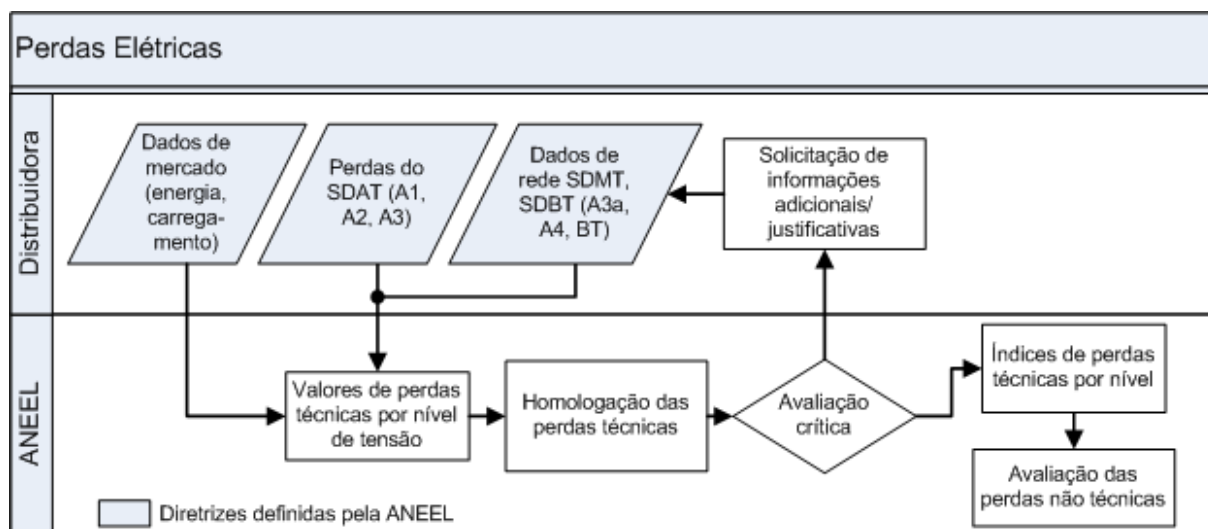
2.10 As perdas nas DIT compartilhadas serão apuradas pela CCEE, que deverá informar os valores de cada distribuidora à ANEEL, de acordo com o estabelecido no Módulo 6.

### 3 METODOLOGIA

3.1 Procedimento de avaliação.

3.1.1 O fluxograma da Figura 1 descreve o procedimento para o cálculo das perdas na distribuição. Consiste na definição das diretrizes a serem obedecidas na apuração dos dados e no estabelecimento da metodologia de cálculo das perdas.

3.1.2 Na avaliação das perdas técnicas a ANEEL poderá considerar especificidades regionais, assim como informações constantes de outros cálculos de perdas já efetuados para a distribuidora.



**Figura 1** – Fluxograma simplificado do procedimento de avaliação das perdas.

3.2 Procedimento de cálculo.

3.2.1 O cálculo das perdas técnicas é realizado para os segmentos de rede, transformação, ramal de ligação e medidor, conforme o seguinte procedimento:

- As redes dos sistemas de distribuição são segmentadas segundo os níveis de tensão dos grupos SDAT (A1, A2 e A3), SDMT (A3a e A4) e SDBT;
- As transformações são segmentadas conforme a relação de transformação (SDAT/SDAT, SDAT/SDMT, SDMT/SDMT e SDMT/SDBT);
- Finalmente, são apuradas as perdas nos segmentos ramal de ligação e medidor.

Assunto: Premissas de Cálculo e Indicadores	Seção: 7.1	Revisão: 2	Data de Vigência: 01/12/2011	Página: 7 de 22
--	---------------	---------------	---------------------------------	--------------------

- 3.2.2 As perdas de energia das redes do SDAT são apuradas por dados dos sistemas de medição.
- 3.2.3 Excetuando-se o SDAT, a metodologia consiste na obtenção das perdas de potência e o posterior cálculo das perdas de energia para cada segmento, mediante a aplicação do Coeficiente de Perdas – CP.
- 3.2.4 As perdas de potência nos transformadores são calculadas a partir dos valores estabelecidos de perdas a vazio e totais, considerando-se a potência nominal de cada equipamento informado pela distribuidora.
- 3.2.5 As perdas de potência das redes do SDMT são apuradas com base em um modelo de regressão linear múltipla. São considerados estudos de perdas específicos para casos em que as características das redes diferem dos padrões de rede típicos considerados no desenvolvimento do referido modelo.
- 3.2.6 As perdas de potência das redes do SDBT são apuradas com base em redes típicas.
- 3.2.7 O período de apuração das perdas será preferencialmente anual.
- 3.2.8 Os procedimentos a serem aplicados para a avaliação das perdas técnicas de potência e energia são apresentados nas Seções 7.2 e 7.3, respectivamente.

#### **4 INDICADORES DE PERDAS**

- 4.1 A ANEEL apurará os valores de perdas técnicas em megawatt-hora (MWh) estratificando os valores para cada segmento, conforme os indicadores a seguir definidos:

Energia Fornecida - EF: energia ativa efetivamente entregue e medida, ou estimada, nos casos previstos pela legislação, às unidades consumidoras, outras distribuidoras e consumidores livres, mais o consumo próprio, em megawatt-hora (MWh);

Energia Injetada - EI: energia ativa efetivamente recebida e medida de um agente, em megawatt-hora (MWh);

Energia Passante - EP (i): total de energia ativa que transita no segmento (i), em megawatt-hora (MWh);

Perdas Técnicas do Segmento - PTS (i): perdas técnicas para cada segmento, em megawatt-hora (MWh);

Perdas Técnicas - PT: corresponde à soma das perdas técnicas de todos os segmentos, em megawatt-hora (MWh);

Perdas na Distribuição - PD: corresponde à diferença entre a Energia Injetada – EI e a Energia Fornecida – EF, em megawatt-hora (MWh);

Assunto: Premissas de Cálculo e Indicadores	Seção: 7.1	Revisão: 2	Data de Vigência: 01/12/2011	Página: 8 de 22
--	---------------	---------------	---------------------------------	--------------------

Perdas Não Técnicas - PNT: corresponde à diferença entre as Perdas na Distribuição – PD e as Perdas Técnicas – PT, em megawatt-hora (MWh);

- 4.2 Além dos montantes em energia elétrica, deverão ser apuradas as relações percentuais, conforme os seguintes indicadores:

Índice de Perdas Técnicas nos Segmentos – IPTS (i): percentual de perdas técnicas em relação à energia que transita em cada segmento:

$$IPTS_{(i)} = \frac{PTS_{(i)}}{EP_{(i)}} * 100 [\%]. \quad (1)$$

Percentagem de Perdas Técnicas – PPT: percentual de perdas técnicas em relação à energia injetada:

$$PPT = \frac{PT}{EI} * 100 [\%]. \quad (2)$$

Percentagem de Perdas na Distribuição – PPD: perdas totais representadas percentualmente em relação à energia injetada:

$$PPD = \left(1 - \frac{EF}{EI}\right) * 100 [\%]. \quad (3)$$

Percentagem de Perdas Não Técnicas – PPNT: percentual de perdas não técnicas em relação à energia injetada:

$$PPNT = PPD - PPT [\%] \quad (4)$$

## **5 DADOS E INFORMAÇÕES A SEREM FORNECIDAS PARA O CÁLCULO DAS PERDAS**

- 5.1 A distribuidora deve utilizar técnicas de medição e de tratamento dos dados necessários para o cálculo das perdas.
- 5.2 A distribuidora deve encaminhar à ANEEL as informações para o cálculo das perdas de acordo com o estabelecido no Módulo 6.
- 5.3 A ANEEL pode solicitar informações adicionais às listadas no Módulo 6, que sejam necessárias para o cálculo das perdas técnicas, quando da existência de particularidades no sistema de distribuição.
- 5.4 Os estudos realizados pela distribuidora e o detalhamento das informações fornecidas devem estar disponíveis para fiscalização da ANEEL, por um período de cinco anos.



Assunto: Premissas de Cálculo e Indicadores	Seção: 7.1	Revisão: 2	Data de Vigência: 01/12/2011	Página: 9 de 22
--	---------------	---------------	---------------------------------	--------------------

- 5.5 As curvas de carga são obtidas de dados do sistema de medição da distribuidora e da campanha de medição definida no Módulo 2 – Planejamento da Expansão do Sistema de Distribuição.
- 5.5.1 Para as distribuidoras que se enquadrem no disposto na Seção 2.1 do Módulo 2 do PRODIST, e optarem por não realizar a campanha de medição, terão sua carga caracterizada para fins de cálculo das perdas técnicas através das medições realizadas pela(s) distribuidora(s) supridora(s).

Assunto: Cálculo das Perdas Técnicas de Potência	Seção: 7.2	Revisão: 2	Data de Vigência: 01/12/2011	Página: 10 de 22
---	---------------	---------------	---------------------------------	---------------------

## SEÇÃO 7.2 – CÁLCULO DAS PERDAS TÉCNICAS DE POTÊNCIA

### 1 OBJETIVO

- 1.1 Apresentar a metodologia para a avaliação das perdas técnicas de potência dos sistemas de distribuição de energia elétrica, tendo como referência a demanda média.
- 1.2 Os valores das perdas técnicas de potência são utilizados na Seção 7.3 para definição das perdas técnicas de energia.

### 2 PERDA DE POTÊNCIA PARA A DEMANDA MÉDIA NO SDMT

- 2.1 A perda de potência para a demanda média das redes do SDMT é calculada pelo modelo de regressão linear múltipla. Nesta modelagem, é necessária a definição do comprimento do condutor tronco e ramal, da resistência do condutor tronco e da corrente média no alimentador.
- 2.2 Cálculo do Comprimento do Condutor Tronco e Ramal.
  - 2.2.1 O condutor tronco é definido com o trecho de alimentador que parte da subestação até o ponto mais próximo desta onde a maior corrente a jusante é menor ou igual à maior corrente de qualquer ramal a montante.
  - 2.2.2 Complementarmente, o condutor ramal é definido como os trechos que não foram classificados como tronco.
    - 2.2.2.1 Adota-se como comprimento mínimo do ramal o valor referente a 10% do comprimento total do alimentador, e, complementarmente, o comprimento do tronco será 90%, no máximo, do comprimento total.
- 2.3 A resistência do condutor tronco, em ohm/km, é obtida pela média ponderada da resistência dos condutores classificados como tronco, conforme equação a seguir:

$$R_{TSDMT} = \frac{\sum_{i=1}^N CT_i^{TRECHO} \times R_i^{TRECHO}}{CT^{SDMT}} \text{ [ohm/km]}. \quad (1)$$

Onde:

$R_{TSDMT}$ : resistência do condutor tronco [ohm/km];

$N$ : número de trechos com seção constante classificado como tronco;

$CT^{TRECHO}$ : comprimento do trecho com seção constante classificado como tronco [km];

$R^{TRECHO}$ : resistência do trecho do condutor que apresenta seção constante classificado como tronco [ohm/km];

$CT^{SDMT}$ : comprimento total dos trechos classificados como tronco [km].

- 2.4 A corrente média ( $I^{SDMT}$ ) é obtida considerando a energia fornecida pelo alimentador, em MWh, e a tensão nominal de linha do alimentador, conforme equação seguir:

Assunto: Cálculo das Perdas Técnicas de Potência	Seção: 7.2	Revisão: 2	Data de Vigência: 01/12/2011	Página: 11 de 22
---	---------------	---------------	---------------------------------	---------------------

$$I^{SDMT} = \frac{E^{SDMT}}{\sqrt{3} \times V_L \times \cos\varphi \times 8,76} [A]. \quad (2)$$

Onde:

$I^{SDMT}$ : corrente média no alimentador [A];

$E^{SDMT}$ : energia fornecida [MWh/ano];

$V_L$ : tensão nominal de linha do alimentador [kV];

$\cos\varphi$ : fator de potência, estabelecido em 0,92.

2.5 A perda de potência para a demanda média de cada alimentador do SDMT é obtida por meio da expressão a seguir:

$$\Delta p^{SDMT} = 0,95 * \exp(-6,34 + 1,82 * \ln(I^{SDMT}) + 0,77 * \ln(CT^{SDMT}) + 0,39 * \ln(RT^{SDMT}) + 0,16 * \ln(CR^{SDMT})). 10^{-3} [MW]. \quad (3)$$

Onde:

$\Delta p^{SDMT}$ : perda de potência para a demanda média de cada alimentador do SDMT [MW];

$I^{SDMT}$ : corrente média no alimentador do SDMT [A];

$CT^{SDMT}$ : comprimento do condutor tronco do alimentador [km];

$CR^{SDMT}$ : comprimento do condutor ramal do alimentador [km];

$RT^{SDMT}$ : resistência do condutor tronco do alimentador [ohm/km].

### 3 PERDA DE POTÊNCIA PARA A DEMANDA MÉDIA NO SDBT

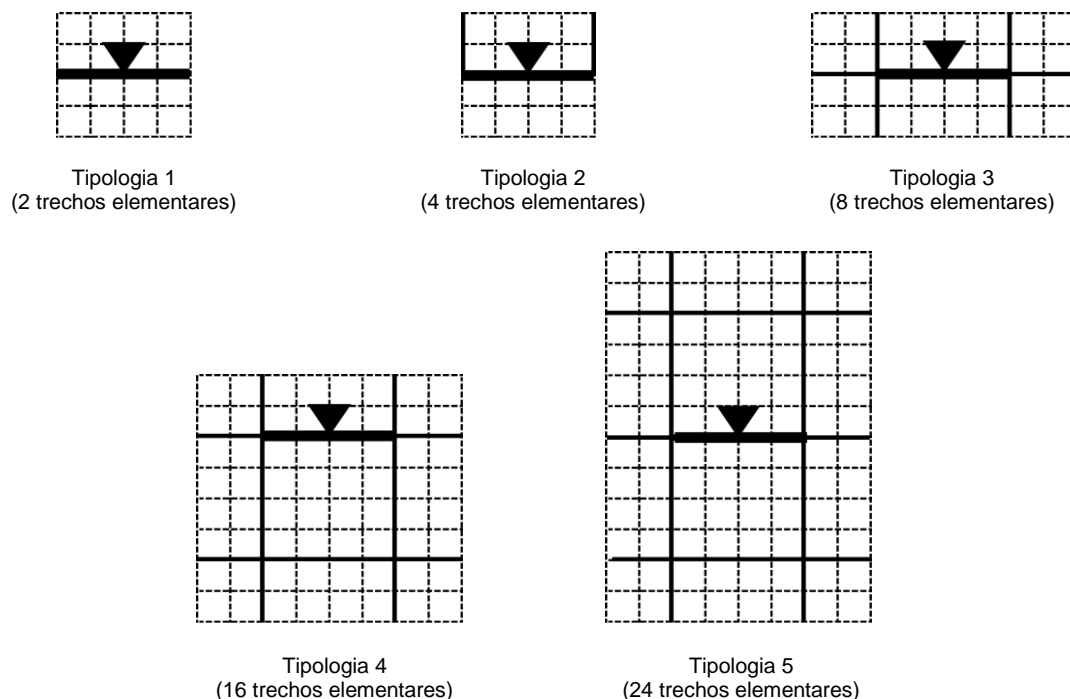
3.1 Cada circuito do SDBT é classificado de acordo com 5 tipologias de rede, conforme regra definida na Tabela 1 desta seção, onde  $L_{circ}$  é o comprimento total do circuito do SDBT, em metros, com distribuição de carga uniforme e modelo de carga constante com relação à tensão.

**Tabela 1** - Tipologias de redes de baixa tensão.

	Tipologia 1	Tipologia 2	Tipologia 3	Tipologia 4	Tipologia 5
Regra	$L_{circ} \leq 100$	$100 < L_{circ} \leq 200$	$200 < L_{circ} \leq 350$	$350 < L_{circ} \leq 500$	$L_{circ} > 500$

3.1.1 Alternativamente, a distribuidora poderá informar as tipologias das redes do SDBT considerando as 5 tipologias de rede, conforme Figura 1 desta seção.

Assunto: Cálculo das Perdas Técnicas de Potência	Seção: 7.2	Revisão: 2	Data de Vigência: 01/12/2011	Página: 12 de 22
---	---------------	---------------	---------------------------------	---------------------

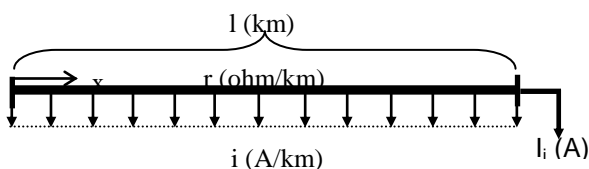


**Figura 1** – Tipologias de redes de baixa tensão

- 3.2 Cada circuito deve estar vinculado a um transformador de distribuição.
- 3.3 A resistência tronco é definida como a menor resistência em ohm/km dentre os condutores do circuito em análise.
- 3.4 A resistência ramal é definida como a segunda menor resistência em ohm/km dentre os condutores do circuito em análise.
- 3.5 Para um trecho elementar, a perda de potência para a demanda média corresponde à seguinte expressão:

$$\Delta p_{SDBT} = f(r, l, i, I_j) = \int_{x=0}^l r(ix + I_j)^2 dx = r * l \left( \frac{i^2 * l^2}{3} + i * I_j * l + I_j^2 \right) * 10^{-6} [MW]. \quad (4)$$

Os parâmetros são apresentados no modelo de trecho de rede elementar da Figura 2:



**Figura 2** – Trecho de rede elementar.

Assunto: Cálculo das Perdas Técnicas de Potência	Seção: 7.2	Revisão: 2	Data de Vigência: 01/12/2011	Página: 13 de 22
---	---------------	---------------	---------------------------------	---------------------

Onde:

$\Delta p_{SDBT}$ : perda de potência para a demanda média no trecho elementar do circuito SDBT [MW];

$l$ : comprimento do trecho elementar, dado pelo comprimento total do circuito dividido pelo número de trechos elementares referente à respectiva tipologia [km];

$r$ : resistência por unidade de comprimento [ohm/km];

$I_j$ : corrente total a jusante do trecho elementar [A];

$i$ : densidade de corrente, dado pela corrente máxima do circuito dividido por seu comprimento total [A/km];

- 3.6 O detalhamento do cálculo de perdas de potência para a demanda média para os circuitos do SDBT consta do Anexo deste módulo.

#### 4 PERDA DE POTÊNCIA PARA A DEMANDA MÉDIA EM UNIDADES TRANSFORMADORAS

- 4.1 A perda de potência para a demanda média no transformador é calculada de acordo com a expressão a seguir:

$$\Delta p_{TR} = (\Delta p_{fe}^t + \Delta p_{cu}^t) \cdot 10^{-3} [MW]. \quad (5)$$

Onde:

$\Delta p_{TR}$ : perda de potência para a demanda média do transformador de potência [MW];

$\Delta p_{fe}^t$ : perda no ferro ou a vazio do transformador  $t$  [kW];

$\Delta p_{cu}^t$ : perda de potência para a demanda média no cobre do transformador  $t$  [kW];

- 4.4.1 A perda de potência para a demanda média no cobre do transformador é calculada pela equação:

$$\Delta P_{cu} = \left( \frac{P_{med}}{P_{nom} \cdot \cos\varphi} \right)^2 \cdot P_{Ncu} [kW]. \quad (6)$$

Onde:

$\Delta P_{cu}$ : perda de potência para a demanda média no cobre do transformador em [kW];

$P_{Ncu}$ : perdas no cobre do transformador na condição nominal de carga, sendo obtida pela diferença entre as perdas totais e a perda a vazio do transformador em [kW];

$P_{med}$ : potência média no transformador, obtida pela energia consumida pelos consumidores ligados ao transformador dividida pelo tempo em [kW];

$P_{nom}$ : potência nominal do transformador em [kVA];

$\cos\varphi$ : fator de potência, estabelecido em 0,92.

#### 5 PERDA DE POTÊNCIA PARA A DEMANDA MÉDIA EM RAMAIS DE LIGAÇÃO E MEDIDORES

- 5.1 Perda de potência para a demanda média nos ramais de ligação.

Assunto: Cálculo das Perdas Técnicas de Potência	Seção: 7.2	Revisão: 2	Data de Vigência: 01/12/2011	Página: 14 de 22
---	---------------	---------------	---------------------------------	---------------------

5.1.1 Considerando a resistência média  $R$  do condutor do ramal de ligação, a perda total de potência para a demanda média é dada pela expressão a seguir:

$$\Delta p_R = R \cdot \left( \frac{\bar{I}_f}{F_d} \right)^2 \cdot (3 \cdot NUC_3 + 3 \cdot NUC_2 + 2 \cdot NUC_2' + 2 \cdot NUC_1) \cdot 10^{-6} [MW]. \quad (7)$$

Onde:

$\Delta p_R$ : perda de potência para a demanda média nos ramos [MW];

$R$ : resistência média dos condutores dos ramos de ligação [ohm];

$F_d$ : fator de diversidade, cujo valor será fixado em 0,7;

$\bar{I}_f$ : corrente média de fase, dado por:

$$\bar{I}_f = \frac{E_{forn}^B \cdot 10^6}{\cos\varphi \cdot (3 \cdot N_{UC}^3 \cdot V_F^{3f} + 2 \cdot N_{UC}^2 \cdot V_F^{2f} + 2 \cdot N_{UC}^{2'} \cdot V_F^{2f1} + N_{UC}^1 \cdot V_F^{1f}) \cdot \Delta T} [A]. \quad (8)$$

Onde:

$E_{forn}^B$ : total de energia consumida pelas unidades consumidoras do grupo B (MWh/ano);

$\cos\varphi$ : fator de potência de referência, estabelecido em 0,92;

$N_{UC}^3$ : número de unidades consumidoras alimentadas em 3 fases e 4 fios;

$N_{UC}^2$ : número de unidades consumidoras alimentadas em 2 fases e 3 fios;

$N_{UC}^{2'}$ : número de unidades consumidoras alimentadas em 1 fase e 3 fios;

$N_{UC}^1$ : número de unidades consumidoras alimentadas em 1 fase e 2 fios;

$V_F^{3f}$ : tensão de fase das unidades consumidoras alimentadas em 3 fases e 4 fios;

$V_F^{2f}$ : tensão de fase das unidades consumidoras alimentadas em 2 fases e 3 fios;

$V_F^{2f1}$ : tensão de fase das unidades consumidoras alimentadas em 1 fase e 3 fios;

$V_F^{1f}$ : tensão de fase das unidades consumidoras alimentadas em 1 fase e 2 fios;

$\Delta T$ : período de tempo, em horas.

5.2 Perda de potência nos medidores.

5.2.1 Para os medidores são computadas as perdas nas bobinas de tensão localizadas nas unidades consumidoras do grupo B. São considerados 1 W (watt), de perda por circuito de tensão para medidores eletromecânicos e 0,5 W para medidores eletrônicos, que deve ser multiplicada pelo número de medidores do parque de medição da distribuidora para unidades consumidoras do grupo B, conforme expressão a seguir:

$$\Delta p_M = P_C \cdot (3 \cdot NUC_3 + 2 \cdot NUC_2 + 2 \cdot NUC_2' + NUC_1) \cdot 10^{-6} [MW]. \quad (9)$$

Onde:

Assunto: Cálculo das Perdas Técnicas de Potência	Seção: 7.2	Revisão: 2	Data de Vigência: 01/12/2011	Página: 15 de 22
---	---------------	---------------	---------------------------------	---------------------

$\Delta p_M$ : perda de potência nos medidores [MW];

$P_C$ : perda por circuito de tensão do medidor [W];

$N_{UC3}$ : número de unidades consumidoras alimentadas em 3 fases e 4 fios;

$N_{UC2}$ : número de unidades consumidoras alimentadas em 2 fases e 3 fios;

$N_{UC2}$ : número de unidades consumidoras alimentadas em 1 fase e 3 fios;

$N_{UC1}$ : número de unidades consumidoras alimentadas em 1 fase e 2 fios;

Assunto: Cálculo das Perdas Técnicas de Energia	Seção: 7.3	Revisão: 2	Data de Vigência: 01/12/2011	Página: 16 de 22
--	---------------	---------------	---------------------------------	---------------------

## SEÇÃO 7.3 – CÁLCULO DAS PERDAS TÉCNICAS DE ENERGIA

### 1 OBJETIVOS

- 1.1 Estabelecer a metodologia para a apuração das perdas técnicas de energia dos sistemas de distribuição de energia elétrica.

### 2 PERDAS DE ENERGIA EM SDAT

- 2.1 As perdas de energia do SDAT são apuradas pela distribuidora a partir dos dados dos sistemas de medição, devendo ser discriminadas entre os níveis de tensão dos subgrupos do SDAT (A1, A2 e A3).
  - 2.1.1 As perdas nas transformações das subestações do SDAT e das SEDs devem ser computadas preferencialmente no nível de tensão correspondente à sua tensão primária.
  - 2.1.2 Na ausência de medição nas subestações do SDAT que não são de fronteira, a discriminação das perdas entre os níveis de tensão dos subgrupos do SDAT deverá ser estimada.
- 2.2 A apuração das perdas deverá considerar a energia medida no SDAT da distribuidora através dos pontos de fronteira com agentes de transmissão, geração, consumidores e outras distribuidoras, além da energia medida nas SEDs.
- 2.3 As perdas nos níveis de tensão dos grupos do SDAT serão abatidas das perdas calculadas pela ANEEL para os transformadores com primário no nível correspondente, conforme metodologia de cálculo apresentada no Item 5 desta seção.
- 2.4 O adicional de perdas técnicas de que trata o Item 2.7 da Seção 7.1 não será aplicado às perdas apuradas no SDAT.

### 3 PERDAS DE ENERGIA EM SDMT

- 3.1 As perdas de energia estão relacionadas à variação do carregamento (curva de carga) da rede ou equipamento. Assim, conforme Seção 7.2 deste módulo, o cálculo das perdas técnicas de potência é realizado para a condição de carga média. Para o cálculo das perdas de energia é necessário utilizar o CP, que representa a perda média de potência sobre a perda de potência para a demanda média.
- 3.2 As perdas técnicas de energia das N redes do SDMT -  $\Delta E_{SDMT}$  são obtidas pelo somatório da multiplicação entre as perdas de potência para a demanda média -  $\Delta P_{SDMT}$ , Coeficiente de Perdas -  $CP_{SDMT}$  e período de tempo analisado -  $\Delta T$ , conforme expressão a seguir:

$$\Delta E_{SDMT} = \sum_{i=1}^N \Delta P_{SDMT_i} \cdot CP_{SDMT} \cdot \Delta T \quad [MWh]. \quad (1)$$



Assunto: Cálculo das Perdas Técnicas de Energia	Seção: 7.3	Revisão: 2	Data de Vigência: 01/12/2011	Página: 17 de 22
--	---------------	---------------	---------------------------------	---------------------

#### 4 PERDAS DE ENERGIA EM SDBT

- 4.1 As perdas técnicas de energia das N redes do SDBT –  $\Delta E_{SDBT}$  são obtidas pelo somatório da multiplicação entre as perdas de potência para a demanda média –  $\Delta P_{SDBT}$ , Coeficiente de Perdas -  $CP_{SDBT}$  e período de tempo analisado –  $\Delta T$ , conforme expressão a seguir:

$$\Delta E_{SDBT} = \sum_{i=1}^N \Delta P_{SDBT_i} \cdot CP_{SDBT} \cdot \Delta T \text{ [MWh]}. \quad (2)$$

#### 5 PERDAS DE ENERGIA EM UNIDADES TRANSFORMADORAS

- 5.1 As perdas de energia para as NT unidades transformadoras são obtidas pela soma das perdas de energia a vazio pelo período de tempo analisado –  $\Delta T$  com as perdas de energia ocorridas no cobre, calculadas pela multiplicação das perdas de potência para a demanda média no cobre pelo Coeficiente de Perdas –  $CP_T$  e pelo período de tempo analisado –  $\Delta T$ , conforme definido na expressão a seguir:

$$\Delta E_T = \Delta T \cdot \sum_{t=1}^{NT} (\Delta p_{fe}^t + \Delta p_{cu}^t \cdot CP_T) \text{ [MWh]}. \quad (3)$$

#### 6 PERDAS DE ENERGIA EM RAMAIS DE LIGAÇÃO E MEDIDORES

- 6.1 As perdas de energia para os ramais de ligação e medidores –  $\Delta E_{RM}$  são obtidas pela multiplicação entre as respectivas perdas de potência para a demanda média do ramal –  $\Delta P_R$ , Coeficiente de Perdas –  $CP_R$  e período de tempo analisado –  $\Delta T$ , somado as perdas de potência nos medidores –  $\Delta P_M$  multiplicadas pelo período de tempo analisado –  $\Delta T$ , conforme definido na expressão a seguir:

$$\Delta E_R = (\Delta P_R \cdot CP_R + \Delta P_M) \cdot \Delta T \text{ [MWh]}. \quad (4)$$

Assunto: Disposições Transitórias	Seção: 7.4	Revisão: 2	Data de Vigência: 01/12/2011	Página: 18 de 22
--------------------------------------	---------------	---------------	---------------------------------	---------------------

**SEÇÃO 7.4 – DISPOSIÇÕES TRANSITÓRIAS**

1. Na impossibilidade do uso exclusivo da medição para o cálculo de perdas de energia das redes do SDAT, a distribuidora deverá segmentá-lo em subsistemas de forma a maximizar a apuração das perdas de energia por medição. Nos demais subsistemas das perdas poderão ser apuradas por estudos de fluxo de carga.
  - 1.1 As cargas deverão ser consideradas distribuídas de forma equilibrada nas fases das redes trifásicas dos Sistemas de Distribuição em Alta Tensão (SDAT), na quando da realização do estudo de fluxo de carga.
  - 1.2 É aplicado o adicional de perdas técnicas de que trata o Item 2.7 da Seção 7.1.
2. Serão reconhecidas como perdas das distribuidoras aquelas que ocorrem nas redes particulares constantes de seu Plano de Incorporação de Redes Particulares, de acordo com regulamentação pertinente.

Assunto: Cálculo da Perda de Potência Média do SDBT	Seção: Anexo	Revisão: 2	Data de Vigência: 01/12/2011	Página: 19 de 22
--	-----------------	---------------	---------------------------------	---------------------

## ANEXO – CÁLCULO DA PERDA DE POTÊNCIA PARA A DEMANDA MÉDIA NO SDBT

Neste anexo é apresentada a metodologia detalhada do cálculo da perda de potência para a demanda média em cada tipologia de rede do SDBT.

Para cada circuito do SDBT da Tipologia 1, as perdas de potência para a demanda média são calculadas a partir de 2 trechos elementares:

$$\Delta P^{T1} = nf \cdot 2 \cdot \Delta p_e(r_0, l_0, i_0, I_{j0}) [MW]. \quad (1)$$

Onde:

$nf$ : número de fases;

$\Delta p_e$ : perda de potência para a demanda média por elemento, conforme Equação (4) da Seção 7.2;

$r_0$ : resistência do condutor tronco [ohm/km];

$l_0$ : comprimento do trecho elementar [km];

$i_0$ : corrente média de linha [A/km];

$I_{j0}$ : 0 [A].

O comprimento elementar é obtido pela equação:

$$l_0 = \frac{L_{circ}}{2} [km]. \quad (2)$$

Onde:

$L_{circ}$ : comprimento total do circuito em [km].

A corrente média de linha para circuitos trifásicos a quatro fios e bifásicos a três fios é obtida da equação:

$$i_0 = \frac{10^3 \cdot S_{Méd}}{\sqrt{3} \cdot V_{nom} \cdot L_{circ}} [A/km]. \quad (3)$$

Para circuitos monofásicos a três fios a corrente média é obtida da equação:

$$i_0 = \frac{10^3 \cdot S_{Méd}}{0,5 \cdot V_{nom} \cdot L_{circ}} [A/km]. \quad (4)$$

Para circuitos monofásicos a dois fios a corrente média é obtida da equação:

$$i_0 = \frac{10^3 \cdot S_{Méd}}{V_{nom} \cdot L_{circ}} [A/km]. \quad (5)$$

Onde:

$S_{Méd}$ : potência média do circuito [kVA];

$V_{nom}$ : tensão nominal de linha do circuito [V].

A potência média do circuito é obtida pela equação:

Assunto: Cálculo da Perda de Potência Média do SDBT	Seção: Anexo	Revisão: 2	Data de Vigência: 01/12/2011	Página: 20 de 22
--	-----------------	---------------	---------------------------------	---------------------

$$S_{méd} = \frac{E_{SDBT}}{\Delta T \cdot \cos\varphi} [kVA]. \quad (6)$$

Onde:

$E_{SDBT}$ : energia anual consumida, obtida pelo somatório da energia medida nas unidades consumidoras no circuito [kWh];

$\Delta T$ : período de tempo analisado;

$\cos\varphi$ : fator de potência de referência, estabelecido em 0,92.

O índice 0 nos parâmetros  $r_0$ ,  $l_0$ ,  $i_0$  e  $I_{j0}$  indica a presença de 0 trechos elementares a montante.

Para cada circuito do SDBT da Tipologia 2, as perdas de potência para a demanda média são calculadas a partir de 4 trechos elementares:

$$\Delta P^{T2} = nf \cdot [2 \cdot \Delta p_e(r_0, l_0, i_0, I_{j0}) + 2 \cdot \Delta p_e(r_1, l_1, i_1, I_{j1})] [MW]. \quad (7)$$

Onde:

$nf$ : número de fases;

$\Delta p_e$ : perda de potência para a demanda média por elemento, conforme Equação (4) da Seção 7.2;

$r_0$ : resistência do cabo ramal [ohm/km];

$r_1$ : resistência do cabo tronco [ohm/km];

$l_0$  e  $l_1$ : comprimento do trecho elementar [km];

$i_0$  e  $i_1$ : corrente média de linha [A/km];

$I_{j0} = 0 [A]$ ;

$I_{j1} = i_0 \cdot l_0 [A]$ .

O comprimento elementar é obtido pela equação:

$$l_0 = l_1 = \frac{L_{circ}}{4} [km]. \quad (8)$$

Onde:

$L_{circ}$ : comprimento total do circuito em [km].

As correntes médias de linha  $i_0$  e  $i_1$  são iguais, e computadas de acordo com as Equações (3) a (5) deste Anexo.

O índice 1 nos parâmetros  $r_1$ ,  $l_1$ ,  $i_1$  e  $I_{j1}$  indica a presença de 1 trecho elementar a montante.

Para cada circuito do SDBT da Tipologia 3, as perdas de potência para a demanda média são calculadas a partir de 8 trechos elementares:

$$\Delta P^{T3} = nf \cdot [6 \cdot \Delta p_e(r_0, l_0, i_0, I_{j0}) + 2 \cdot \Delta p_e(r_3, l_3, i_3, I_{j3})] [MW]. \quad (9)$$

Assunto: Cálculo da Perda de Potência Média do SDBT	Seção: Anexo	Revisão: 2	Data de Vigência: 01/12/2011	Página: 21 de 22
--	-----------------	---------------	---------------------------------	---------------------

Onde:

$nf$ : número de fases;

$\Delta p_e$ : perda de potência para a demanda média por elemento, conforme Equação (4) da Seção 7.2;

$r_0$ : resistência do cabo ramal [ohm/km];

$r_3$ : resistência do cabo tronco [ohm/km];

$l_0$  e  $l_3$ : comprimento do trecho elementar [km];

$i_0$  e  $i_3$ : corrente média de linha [A/km];

$I_{j0} = 0$  [A];

$I_{j3} = 3 \cdot i_0 \cdot l_0$  [A].

O comprimento elementar é obtido pela equação:

$$l_0 = l_3 = \frac{L_{circ}}{8} [km]. \quad (10)$$

Onde:

$L_{circ}$ : comprimento total do circuito em [km].

As correntes médias de linha  $i_0$  e  $i_3$  são iguais, e computadas de acordo com as Equações (3) a (5) deste Anexo.

O índice 3 nos parâmetros  $r_3$ ,  $l_3$ ,  $i_3$  e  $I_{j3}$  indica a presença de 3 trechos elementares a montante.

Para cada circuito do SDBT da Tipologia 4, as perdas de potência para a demanda média são calculadas a partir de 16 trechos elementares:

$$\Delta P^{T4} = nf \cdot [10 \cdot \Delta p_e(r_0, l_0, i_0, I_{j0}) + 2 \cdot \Delta p_e(r_3, l_3, i_3, I_{j3}) + 2 \cdot \Delta p_e(r_4, l_4, i_4, I_{j4}) + 2 \cdot \Delta p_e(r_7, l_7, i_7, I_{j7})] [MW]. \quad (11)$$

Onde:

$nf$ : número de fases;

$\Delta p_e$ : perda de potência para a demanda média por elemento, conforme Equação (4) da Seção 7.2;

$r_0$ ,  $r_3$  e  $r_4$ : resistência do cabo ramal [ohm/km];

$r_7$ : resistência do cabo tronco [ohm/km];

$l_0$ ,  $l_3$ ,  $l_4$  e  $l_7$ : comprimento do trecho elementar [km];

$i_0$ ,  $i_3$ ,  $i_4$  e  $i_7$ : corrente média de linha [A/km];

$I_{j0} = 0$  [A];

$I_{j3} = 3 \cdot i_0 \cdot l_0$  [A];

$I_{j4} = 4 \cdot i_0 \cdot l_0$  [A];

$I_{j7} = 7 \cdot i_0 \cdot l_0$  [A].

O comprimento elementar é obtido pela equação:

$$l_0 = l_3 = l_4 = l_7 = \frac{L_{circ}}{16} [km]. \quad (12)$$

Assunto: Cálculo da Perda de Potência Média do SDBT	Seção: Anexo	Revisão: 2	Data de Vigência: 01/12/2011	Página: 22 de 22
--	-----------------	---------------	---------------------------------	---------------------

Onde:

$L_{circ}$ : comprimento total do circuito em [km].

As correntes médias de linha  $i_0$ ,  $i_3$ ,  $i_4$  e  $i_7$ , são iguais, e computadas de acordo com as Equações (3) a (5) deste Anexo.

O índice 4 nos parâmetros  $r_4$ ,  $l_4$ ,  $i_4$  e  $l_{j4}$  indica a presença de 4 trechos elementares a montante, e o índice 7 nos parâmetros  $r_7$ ,  $l_7$ ,  $i_7$  e  $l_{j7}$  indica a presença de 7 trechos elementares a montante.

Para cada circuito do SDBT da Tipologia 5, as perdas de potência para a demanda média são calculadas a partir de 24 trechos elementares:

$$\Delta P^{T5} = nf \cdot [14 \cdot \Delta p_e(r_0, l_0, i_0, l_{j0}) + 4 \cdot \Delta p_e(r_3, l_3, i_3, l_{j3}) + 4 \cdot \Delta p_e(r_4, l_4, i_4, l_{j4}) + 2 \cdot \Delta p_e(r_{11}, l_{11}, i_{11}, l_{j11})] [MW]. \quad (13)$$

Onde:

$nf$ : número de fases;

$\Delta p_e$ : perda de potência para a demanda média por elemento, conforme Equação (4) da Seção 7.2;

$r_0$ ,  $r_3$  e  $r_4$ : resistência do cabo ramal [ohm/km];

$r_{11}$ : resistência do cabo tronco [ohm/km];

$l_0$ ,  $l_3$ ,  $l_4$  e  $l_{11}$ : comprimento do trecho elementar [km];

$i_0$ ,  $i_3$ ,  $i_4$  e  $i_{11}$ : corrente média de linha [A/km];

$l_{j0} = 0$  [A];

$l_{j3} = 3 \cdot i_0 \cdot l_0$  [A];

$l_{j4} = 4 \cdot i_0 \cdot l_0$  [A];

$l_{j11} = 11 \cdot i_0 \cdot l_0$  [A].

O comprimento elementar é obtido pela equação:

$$l_0 = l_3 = l_4 = l_{11} = \frac{L_{circ}}{24} [km]. \quad (14)$$

Onde:

$L_{circ}$ : comprimento total do circuito em [km].

As correntes médias de linha  $i_0$ ,  $i_3$ ,  $i_4$  e  $i_{11}$ , são iguais, e computadas de acordo com as Equações (3) a (5) deste Anexo.

O índice 11 nos parâmetros  $r_{11}$ ,  $l_{11}$ ,  $i_{11}$  e  $l_{j11}$  indica a presença de 11 trechos elementares a montante.