


 Ministério da Saúde <b>FIOCRUZ</b> Fundação Oswaldo Cruz					
CLIENTE: <b>FIOCRUZ</b>	Nº <b>2018-27</b>	META: <b>E041Y05A</b>	REV: <b>00</b>	FOLHA: <b>1 de 10</b>	



# MEMORIAL DE CÁLCULOS DO SISTEMA DE ATERRAMENTO

00	EMISSÃO INICIAL	20/08/18	E. Pasquoto	L. Felipe	Márcio Moeller
Rev.	Descrição	Data	Elaboração	Verificação	Aprovação

 Ministério da Saúde <b>FIOCRUZ</b> Fundação Oswaldo Cruz				
CLIENTE: <b>FIOCRUZ</b>	Nº META: <b>2018-27</b>	<b>E041Y05A</b>	REV: 00	FOLHA: 2 de 10

## ÍNDICE

<b>1.</b>	<b>OBJETIVO.....</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>NORMAS DE REFERÊNCIA.....</b>	<b>3</b>
<b>3.</b>	<b>CRITÉRIOS ADOTADOS.....</b>	<b>3</b>
<b>4.</b>	<b>CALCULO DAS PROPRIEDADES, TERRENO E MALHA.....</b>	<b>3</b>
<b>4.1.</b>	<b>DETERMINAÇÃO DOS VALORES DE RESISTIVIDADE.....</b>	<b>3</b>
<b>4.2.</b>	<b>DETERMINAÇÃO DA CURVA DE RESISTIVIDADE MÉDIA .....</b>	<b>5</b>
<b>4.3.</b>	<b>MALHA DE ATERRAMENTO DO PRÉDIO ICTB.....</b>	<b>6</b>
<b>5.</b>	<b>RESISTÊNCIA DA MALHA .....</b>	<b>6</b>
<b>5.1.</b>	<b>MÉTODO TRADICIONAL.....</b>	<b>6</b>
<b>5.2.</b>	<b>MÉTODO COMPUTACIONAL.....</b>	<b>7</b>
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>8</b>
<b>7.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>8</b>
<b>8.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>10</b>

 Ministério da Saúde <b>FIOCRUZ</b> Fundação Oswaldo Cruz					
CLIENTE: <b>FIOCRUZ</b>	Nº META: <b>2018-27</b>	<b>E041Y05A</b>	REV: <b>00</b>	FOLHA: <b>3 de 10</b>	

## 1. OBJETIVO.

O objetivo desta memória de cálculo é o dimensionamento do sistema de aterramento a ser implantada no Prédio ICTB - INSTITUTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM BIOMODELOS da Fiocruz, localizado na cidade do Rio de Janeiro - R.J, para escoamento das correntes de falta ou descarga atmosférica, sem que estas gerem gradientes de tensão de passo e/ou toque acima daqueles toleráveis pelo ser humano.

## 2. NORMAS DE REFERÊNCIA.

NBR-5410 - Instalações Elétricas de Baixa Tensão  
 NBR-5419:2015 - Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas.

## 3. CRITÉRIOS ADOTADOS.

Nos cálculos a seguir, será utilizada a metodologia das imagens complexas, proposta pela referência bibliográfica nº 1 e implementada pela ferramenta computacional Tecat-plus 5.2, que propiciará uma análise mais rigorosa da forma como a corrente de curto se dispersa por cada elemento da malha (mesh), considerando-se que os eletrodos horizontais apresentam espaçamentos não uniformes.

### ➤ ATERRAMENTO DO PRÉDIO – SISTEMA SPDA:

Será adotada a utilização de condutor enterrado (malha Principal) a 0,5 m de profundidade. Além disso, serão instaladas hastes *copperweld* no perímetro da malha, bem como arredondadas as quinas das meshes dos cantos.

### ➤ ESTRATIFICAÇÃO DO TERRENO

Será realizada via software, em duas camadas.

### ➤ TEMPO DE DURAÇÃO DE FALTAS

O tempo para eliminação de um curto monofásico será considerado como sendo igual a 0,5 s.

### ➤ PROFUNDIDADE DA MALHA



A malha de aterramento será instalada a uma profundidade de 0,5 m.

## 4. CALCULO DAS PROPRIEDADES, TERRENO E MALHA.

### 4.1. DETERMINAÇÃO DOS VALORES DE RESISTIVIDADE

A medição dos valores de resistividade do solo foi adotada a realizada no dia 19/07/2018.

Os valores serão determinados, utilizando-se a seguinte expressão (fórmula de Palmer), pelo Tecat Plus 5.2 e indicados na tabela a seguir, que mostra uma estratificação do solo em duas camadas, devido à sua não homogeneidade.

 Ministério da Saúde <b>FIOCRUZ</b> Fundação Oswaldo Cruz				
CLIENTE: <b>FIOCRUZ</b>	Nº META: <b>2018-27</b>	<b>E041Y05A</b>	REV: <b>00</b>	FOLHA: <b>4 de 10</b>

$$\rho(a) = \frac{4\pi a R}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4h^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + h^2}}}$$

E.q.1

Sendo:

$\rho$	=	Resistividade do solo	( $\Omega \cdot m$ )
$R$	=	Resistência medida	( $\Omega$ )
$a$	=	Distância entre eletrodos	(m)
$h$	=	Profundidade do eletrodo	(m)

Para um afastamento entre eletrodos relativamente grande ( $a \geq 20 h$ ), a fórmula acima se reduz para:

E.q.2

$$\rho(a) = 2\pi a R$$

Configuração da medição:

Modelo: Wenner

Fórmula: Completa

Profundidade média: 0,4 m

Espaço mínimo: 0,55 m

Aparelho: TERRÔMETRO DIGITAL MTD 20 kW - MEGABRAS

**Medições:**

Espaçamento	Linhas de medições
a (m)	R( $\Omega$ )
2	0,16
4	0,13
8	0,13
16	0,13



Tabela 1

Resultado computacional:

Nº de camadas: 2

Camada #1: 0,36 [ $\Omega \cdot m$ ] x 0,55 [m]

Camada #2: 0,13 [ $\Omega \cdot m$ ] x  $\infty$

 Ministério da Saúde <b>FIOCRUZ</b> Fundação Oswaldo Cruz			
CLIENTE: <b>FIOCRUZ</b>	Nº META: <b>2018-27</b>	<b>E041Y05A</b>	REV: 00 FOLHA: 5 de 10

Ajuste da Estratificação da Resistividade do Solo:

Espaçamento	Resistividade medida	Resistividade calculada	Desvio
a(m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	D(%)
2	0,16	0,15	- 4,93
4	0,13	0,13	- 2,81
8	0,13	0,13	- 0,31
16	0,13	0,13	- 0,25
Erro RMS	3%		

Tabela 2

Diagrama:

R1 = 0,36	H1 = 0,55	
R2 = 0,13		H2 = $\infty$

Os valores H1 e H2 acima indicam os limites das respectivas camadas em relação à superfície do solo.

## 4.2. DETERMINAÇÃO DA CURVA DE RESISTIVIDADE MÉDIA

Com o auxílio do software TecAt Plus 5.2, obteve-se a curva de Resistividade Média do Terreno onde foram feitas as medidas de Resistência , conforme valores acima descritos.

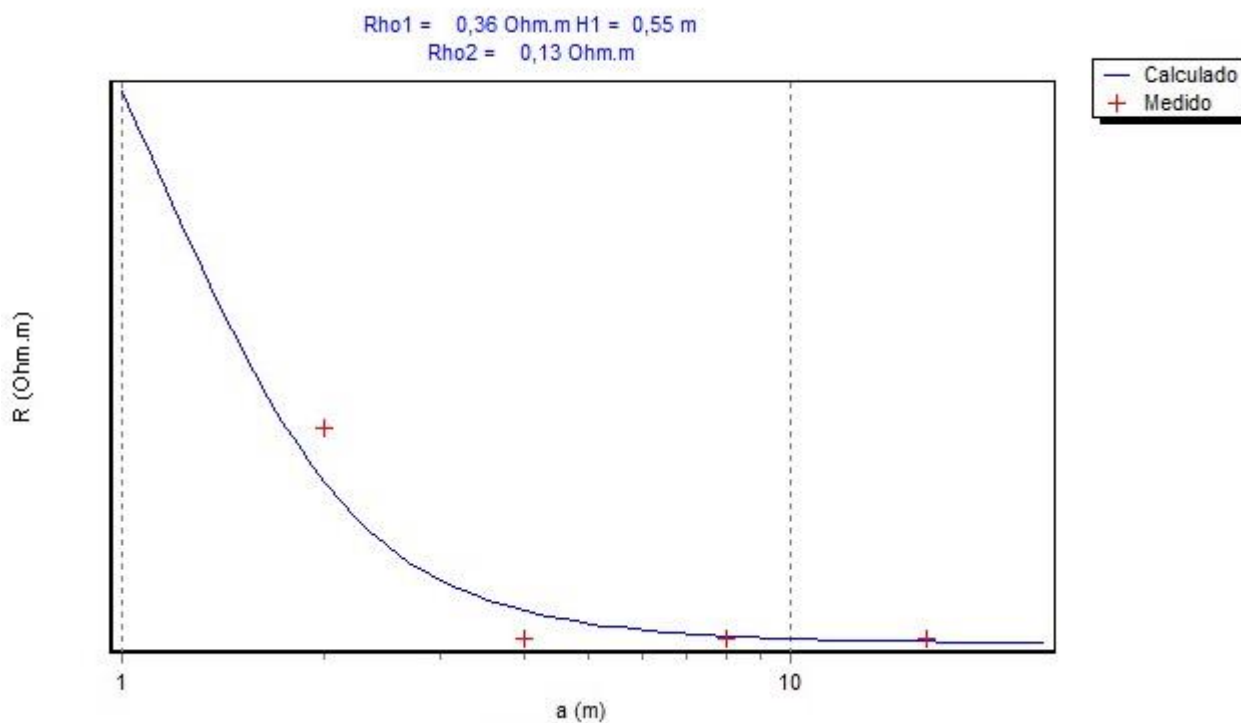




Figura 1

 Ministério da Saúde FIOCRUZ Fundação Oswaldo Cruz					
CLIENTE:	Nº	META:	REV:	FOLHA:	
FIOCRUZ		2018-27	00	6 de 10	
E041Y05A					

### 4.3. MALHA DE ATERRAMENTO DO PRÉDIO ICTB

#### DIMENSÕES

Largura (X) = 136 m

Comprimento (Y) = 40 m

Profundidade = 0,50 m

Área:  $A = 136 \times 40 = 5440 \text{ m}^2$

#### NÚMERO DE CONDUTORES

Horizontais:

$$N_x = 2$$

$$N_y = 2$$

Verticais:

4 hastes com 2,4 m x 5/8"

Total dos condutores enterrados:

$$L_{\text{cabos}} = 136 \times 2 + 40 \times 2 = 352 \text{ m}$$

$$L_{\text{hastes}} = 4 \times 2,4 = 9,6 \text{ m}$$

$$L_{\text{total}} = 361,60 \text{ m}$$

#### SEÇÕES

Aterramento: 50mm<sup>2</sup>

## 5. RESISTÊNCIA DA MALHA

### 5.1. MÉTODO TRADICIONAL:

#### RESISTIVIDADE APARENTE

De modo a comparar os valores da resistência de malha encontradas por meio de métodos tradicional e computacional, deve-se encontrar o valor da resistividade aparente.



Número de camadas: 2

$$\rho_2/\rho_1 = 0,13/0,16 = 0,8125$$

$$A = \pi \cdot r^2 = 5440 \text{ m}^2$$

$$r = \sqrt{(5440/\pi)} \rightarrow r = 41,612 \text{ m}$$

$$\alpha = r/d = 40,12/0,55 = 72,94$$

 Ministério da Saúde <b>FIOCRUZ</b> Fundação Oswaldo Cruz					
CLIENTE:	Nº	META:	REV:	FOLHA:	
<b>FIOCRUZ</b>		<b>2018-27</b>	<b>00</b>	<b>7 de 10</b>	
		<b>E041Y05A</b>			

Com os valores no Anexo I, teremos:

$$N = \rho_a / \rho_1 = 0,9$$

$$\rho_a = 0,36 \times 1 = 0,324 \, \Omega \cdot m$$

A resistência de aterramento da malha pode, aproximadamente, ser calculada pela fórmula de Sverak abaixo, que é uma correção feita da fórmula de Laurent, está fórmula leva em conta a profundidade (h) em que a malha é constituída.

$$R_m = \rho_a \left[ \frac{1}{L_{total}} + \frac{1}{\sqrt{20 \cdot A_{malha}}} \cdot \left( 1 + \frac{1}{1 + h \cdot \sqrt{\frac{20}{A_{malha}}}} \right) \right]$$

E.q.4

Onde:

$A_{malha} \Rightarrow$  Área ocupada pela malha [m²]

$h \Rightarrow$  Profundidade da malha [m]

$L_{total} \Rightarrow$  Comprimento total dos cabos e hastes que formam a malha [m]



$$R_m = 0,00283 \, \Omega$$

## 5.2. MÉTODO COMPUTACIONAL:

CABOS									
Nr.	X1(m)	Y1(m)	Z1(m)	X2(m)	Y2(m)	Z2(m)	Raio(mm)	NSub	Tipo
1	0,0	0,0	0,5	0,0	40,0	0,5	4,0	2	A
2	0,0	0,0	0,5	136,0	0,0	0,5	4,0	2	A
3	0,0	40,0	0,5	136,0	40,0	0,5	4,0	2	A
4	136	40,0	0,5	136,0	0,0	0,5	4,0	2	A

HASTES									
Nr.	X1(m)	Y1(m)	Z1(m)	X2(m)	Y2(m)	Z2(m)	Raio(mm)	NSub	Tipo
1	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	2,9	8,0	4	A
2	136,0	0,0	0,5	136,0	0,0	2,9	8,0	4	A
3	0,0	40,0	0,5	0,0	40,0	2,9	8,0	4	A
4	136,0	40,0	0,5	136,0	40,0	2,9	8,0	4	A

$$R_m = 0,001 \, \Omega$$

 Ministério da Saúde <b>FIOCRUZ</b> Fundação Oswaldo Cruz				
CLIENTE: <b>FIOCRUZ</b>	Nº META: <b>2018-27</b>	<b>E041Y05A</b>	REV: 00	FOLHA: <b>8 de 10</b>

## 6. CONCLUSÕES

Deverá ser realizada a medição da resistência da malha de terra após a sua instalação, devido à dificuldade na obtenção dos valores de resistência no ato da medição, visando analisar as possíveis providências caso o valor encontrado esteja em desacordo com aquele de projeto.

Deverão ser tomados cuidados necessários para evitar a transferência de potenciais por meio de condutores ou estruturas metálicas ligadas à malha que possam criar diferenças de potencial perigosas quando da proximidade com estruturas interligadas a outros sistemas de aterramento, como por exemplo, a blindagem dos cabos de média tensão, que deverão ser aterradas em um único ponto.

Observou-se, para este caso, a imprecisão do método tradicional, através do uso de relações gráficas entre os valores em questão.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### **APLICAÇÃO DO MÉTODO DE IMAGENS COMPLEXAS AO CÁLCULO DE MALHAS DE ATERRAMENTO EM SOLOS COM ESTRATIFICAÇÃO HORIZONTAL**

Mário Leite Pereira Filho  
USP – 1999

### **AVALIAÇÃO DE MALHAS DE TERRA USANDO IMAGENS COMPLEXAS: UMA NOVA ABORDAGEM**

Mário Leite Pereira Filho e José Roberto Cardoso  
SBA Controle e Automação, vol. 12, nº 3, set-dez, 2001, pgs. 215 a 223

### **ATERRAMENTO ELÉTRICO**

Geraldo Kindermann e Jorge Mário Campagnolo  
LABPLAN – UFSC

### **MALHAS DE TERRA – TÉCNICAS DE ATERRAMENTOS ELÉTRICOS**

Carlos M. Leite e Mário L. Pereira Filho  
Oficina de Mydia

### **REDUÇÃO DE POTENCIAIS DE TERRA PELA UTILIZAÇÃO DE CABOS PÁRA-RAIOS CAANOS TRECHOS DE LINHAS DE TRANSMISSÃO PRÓXIMOS A SUBESTAÇÕES E USINAS**

Sérgio Sobral, Murilo Serra e outros  
XIV SNPTEE – Belém – 1997

### **MÉTODOS SIMPLIFICADOS PARA CÁLCULO DE MALHAS DE ATERRAMENTO**

P.S. Rocha, L.B. Moraes e R.M. Coutinho  
IX SNPTEE – Belo Horizonte – 1987

### **METODOLOGIA PARA CÁLCULO DA DISTRIBUIÇÃO DE CORRENTE EM SISTEMAS DE ATERRAMENTO MULTICONECTADO**

Eduardo C. Senger (USP) e outros  
XIV SNPTEE – Belém – 1997



### **TRAJETOS PREFERENCIAIS DA CORRENTE DE RETORNO – CONSEQUÊNCIAS PRÁTICAS E REDUÇÃO DO CUSTO DAS INSTALAÇÕES**

S. Sobral, F. Nascimento e R. Cunha  
XIV SNPTEE – Belém – 1997

### **DIMENSIONAMENTO DE MALHA DE TERRA EM SUBESTAÇÕES**

Cecilia Markovitz e Antonio Faria (CESP)



 Ministério da Saúde <b>FIOCRUZ</b> Fundação Oswaldo Cruz					
CLIENTE: <b>FIOCRUZ</b>	Nº <b>2018-27</b>	META: <b>E041Y05A</b>	REV: <b>00</b>	FOLHA: <b>9 de 10</b>	

III SNPTTE – Curitiba – 1975

## RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO E DIFERENÇAS DE POTENCIAL DE PASSO E DE TOQUE PARA SISTEMAS DE ATERRAMENTO

João Clavio Salari Filho  
 CEPEL – rel. tec. ADG-A/PER N.899/2000

GUIDE FOR SAFETY IN AC SUBSTATION GROUNDING - IEEE-80std 2000

SOFTWARE “TECAT-PLUS” V. 5.2

## 8. ANEXOS

### ANEXO I - RESISTIVIDADE APARENTE PARA UM SOLO COM DUAS CAMADAS ESTRATIFICADAS

