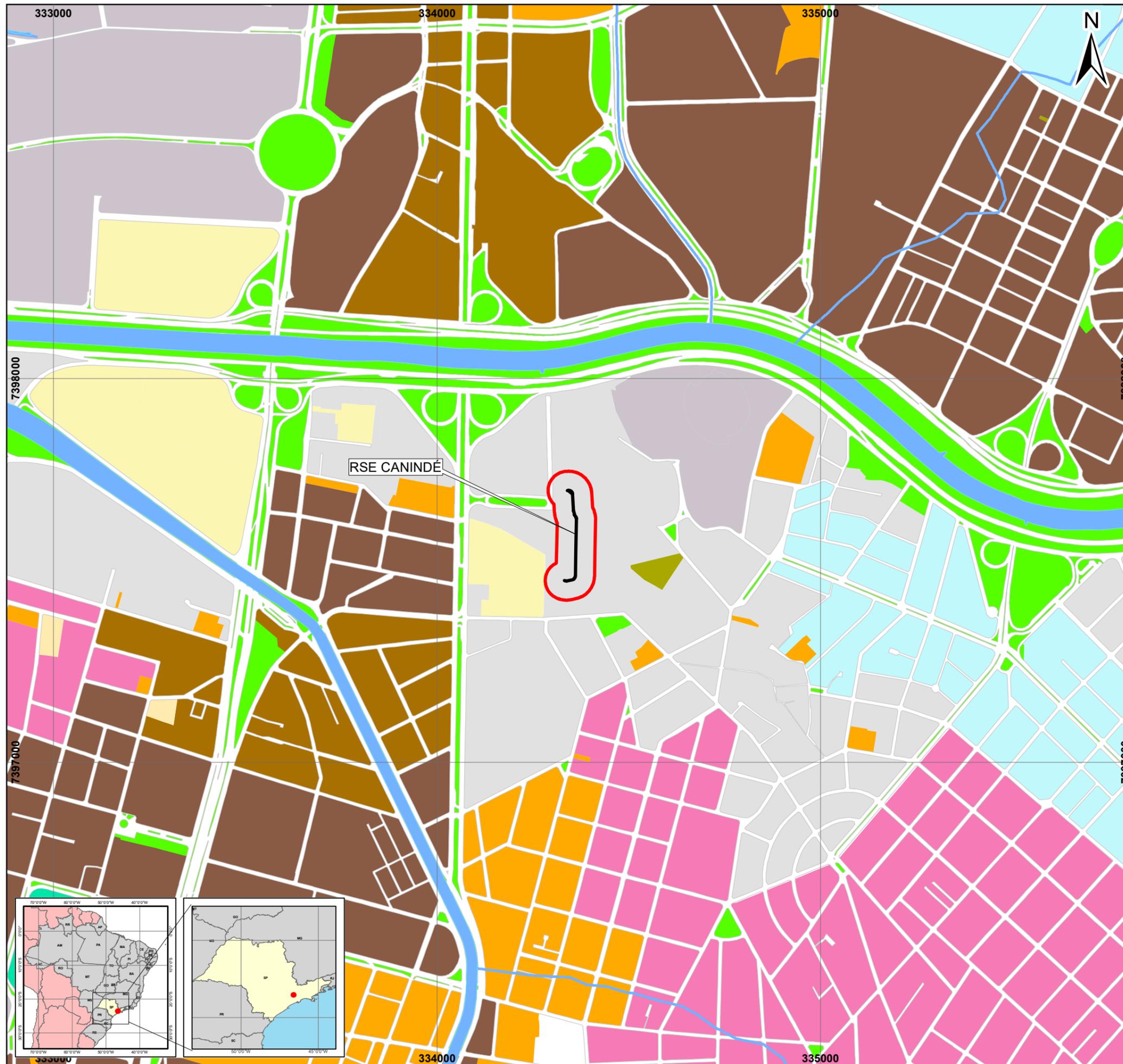


---

**Anexo 11 – Mapa de Zoneamento**

---



**LEGENDA:**

- RSE Canindé
- Hidrografia
- Hidrografia
- ▭ Área de Influência Direta (AID)
- ▭ Viário
- ▭ Praças e Canteiros

**ZONAS**

- ▭ AC-1 - Clubes Esportivo Social
- ▭ ZC - Zona de Centralidade
- ▭ ZDE-1 - Zona de Desenvolvimento Econômico1
- ▭ ZEIS-1 - Zona Especial de Interesse Social 1
- ▭ ZEIS-3 - Zona Especial de Interesse Social 3
- ▭ ZEIS-5 - Zona Especial de Interesse Social 5
- ▭ ZEM □ - Zona Eixo de Estruturação e Transformação Metropolitana
- ▭ ZEMP - Zona Eixo de Estruturação e Transformação Metropolitana Previsto
- ▭ ZEPAM - Zona Especial de Preservação Ambiental
- ▭ ZM - Zona Mista
- ▭ ZOE - Zona de Ocupação Especial

ESCALA: 1:10.000

0 0,05 0,1 0,2 0,3 0,4 0,5 Km  
Universal Transversa de Mercator - SIRGAS 2000 23S

**FIGURA:**  
**EMPREENHIMENTO EM RELAÇÃO AO ZONEAMENTO URBANO DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO**



CLIENTE:



PROJETO:

**RSE CANINDÉ**  
**Estudo de Viabilidade Ambiental – EVA**

Nº JGP:5.1.1.b

DATA: 08/01/2021      REVISÃO:

RESPONSÁVEL:

**FONTE:**  
 Zoneamento: Prefeitura do Município de São Paulo - Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano.  
**BASE:**  
 Hidrografia simples: GEOSAMPA/EMPLASA.  
 Demais elementos: Mapa Digital da Cidade de São Paulo (MDC).

---

**Anexo 12 – Mapa de Classe de Uso do Solo**

---



**LEGENDA:**

- RSE Canindé
- Área de Influência Direta (AID)

**Uso do Solo**

- AI - Acesso Interno
- E - Estacionamento
- Ede - Estação de Distribuição de Energia Elétrica
- Ee - Equipamento Esportivo
- I - Indústrias
- PA - Pátio de Estacionamento e Acessos Internos
- SV - Sistema Viário
- Va - Vegetação Arbórea




**ESCALA: 1:1.500**

0 0,01 0,02 0,04 0,06 0,08 0,1 Km  
Universal Transversa de Mercator - SIRGAS 2000 23S

**FIGURA:**

**MAPA DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO**



**CLIENTE:**



**PROJETO:**

**RSE CANINDÉ**  
**Estudo de Viabilidade Ambiental – EVA**

Nº JGP: 5.1.1.b

DATA: 08/01/2021	REVISÃO:
------------------	----------

**RESPONSÁVEL:**

**FONTE:**  
Interpretação de Imagem e levantamento direto em campo

**BASE:**  
Imagem Geoeye obtida através do Basemap do Arcgis.

---

**Anexo 13 – Memória de Cálculo – Condutor – Campo Magnético**

---

0	EMISSÃO INICIAL	-	VSL	EKF	30/11/20					
Nº	DESCRIÇÃO	FEITO	VISTO	APROV.	DATA	APROV.	DATA			
		PROJETISTA				CLIENTE				
REVISÕES										
										
PROJ.	RSE CANINDE 1-2 (88/138kV)						VERIF.			
DES.							VISTO			
VERIF.	AMPACIDADE						APROV.			
VISTO							DATA 30/11/20			
APROV.	ESC.	Nº CLIENTE	SEL/20.00043-004				FL.	REV.		
DATA	-	Nº PROJETISTA	EDS-606/004				1/7	0		

## ÍNDICE

1.	<b>OBJETIVO .....</b>	<b>3</b>
2.	<b>DADOS ELÉTRICOS DO SISTEMA.....</b>	<b>3</b>
3.	<b>DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA .....</b>	<b>3</b>
4.	<b>CARACTERÍSTICAS DOS CABOS CONDUTORES .....</b>	<b>3</b>
5.	<b>CAMPO ELÉTRICO.....</b>	<b>3</b>
6.	<b>PREMISSAS DE CÁLCULO .....</b>	<b>3</b>
7.	<b>CASOS EM ESTUDO .....</b>	<b>4</b>
7.1	Vala comum com um circuito operando 100%-0%.....	4
8.	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>4</b>
	<b>ANEXO 1 – Vala comum com UM circuito operando 100%-0%.....</b>	<b>5</b>

## 1. OBJETIVO

Apresentar os resultados dos cálculos de ampacidade para determinar as seções do condutor de fase dos cabos isolados que serão instalados na RSE Canindé 1-2, de forma que atendam as solicitações do sistema elétrico da concessionária.

## 2. DADOS ELÉTRICOS DO SISTEMA

- Tensão nominal do sistema: 145 kV
- Tensão de operação: 138 kV
- Nível básico de isolamento: 650 kV
- Potencia nominal em regime permanente por circuito: 120MVA em 88kV | 188MVA em 138kV
- Corrente de curto circuito trifásica: 40 kA
- Corrente de curto circuito fase-terra: 21 kA
- Tempo de duração do curto circuito para dimensionamento do cabo: 60 ciclos (1s)
- Frequência do sistema: 60 Hz
- Fator de carga: 0,61

## 3. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

- IEC 60287-1-1 – Electric cables – Calculation of the current rating – Part 1-1: Current rating equations (100% load factor) and calculation of losses – General.
- Dados técnicos LTS RRF-ADE.

## 4. CARACTERÍSTICAS DOS CABOS CONDUTORES

Todos os cálculos foram feitos considerando o uso do cabo extrudado com condutor de fase de alumínio de seção  $1200\text{mm}^2$ , isolação a base de XLPE, blindagem metálica a fios de cobre e cobertura HDPE. A distância entre fases do mesmo circuito é 190mm, e a distância entre o centro dos circuitos diferentes é de 400mm, na formação triangular.

## 5. CAMPO ELÉTRICO

Os cabos isolados a serem utilizados possuem blindagem metálica a fios de cobre que será diretamente aterrada em um ponto para formar o sistema de aterramento “single point bonding”. De acordo com as leis da eletrostática (Faraday) o campo elétrico gerado pelo condutor de fase é nulo a partir da blindagem metálica do cabo. Portanto não existe a possibilidade de emissão de campo elétrico ao meio externo do RSE Canindé.

## 6. PREMISSAS DE CÁLCULO

Os cabos isolados de alta tensão serão instalados em banco de dutos em backfill de pó de pedra compactado.

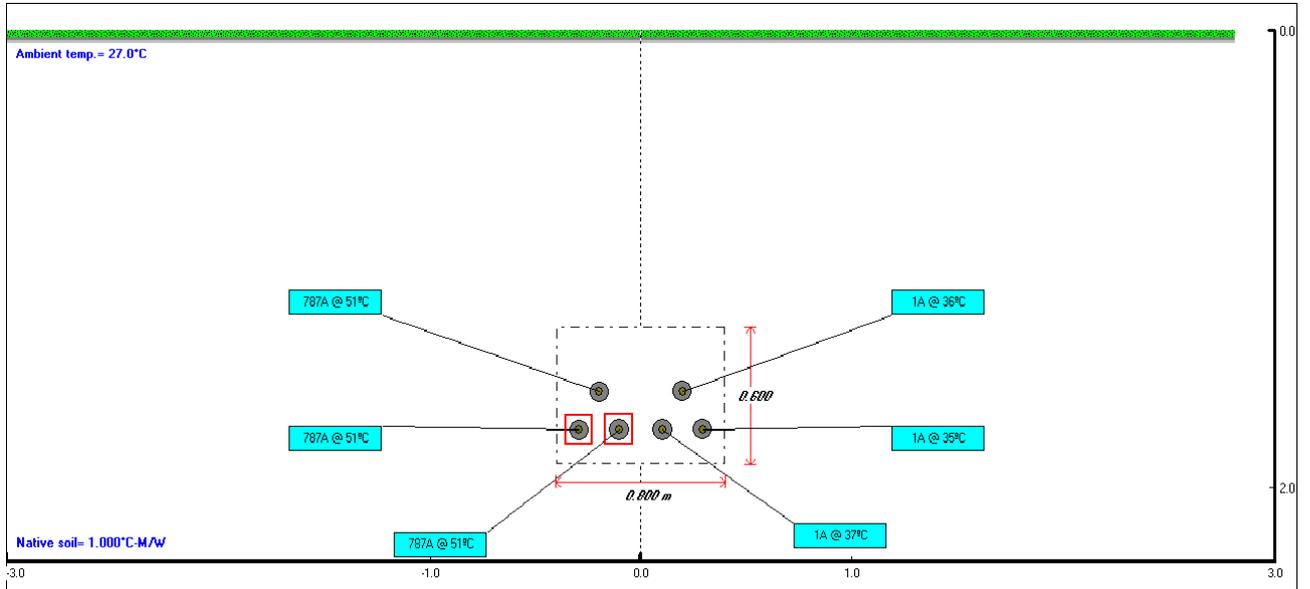
A configuração prevista para a instalação dos cabos isolados do RSE Canindé é a triangular.

A temperatura do solo considerada foi de  $27^{\circ}\text{C}$ .

A resistividade térmica do solo considerada  $1\text{ K.m/W}$ .

## 7. CASOS EM ESTUDO

### 7.1 Vala comum com um circuito operando 100%-0%



**Figura 1:** Vala comum com um circuito operando.

Nesse caso o cabo mais quente irá operar a 51°C.  
A planilha de cálculo está no anexo 1.

## 8. CONCLUSÕES

Em relação a ampacidade, o cabo previsto atende plenamente as condições operativas do sistema, com o cabo mais quente operando na temperatura de 51°C.



### ANEXO 1 – Vala comum com UM circuito operando 100%-0%

Report created on 11/12/20 22:04:24

RSE Canindé  
Triangular

#### GENERAL INPUT DATA

#### SELF CONTAINED CABLES IN THERMAL BACKFILL

NUMBER OF CABLES	6
NUMBER OF DIFFERENT CABLE TYPES.....	1
REFERENCE CABLE FOR CALCULATING AMPACITY OF UNEQUALLY LOADED CABLES	1

FUNDAMENTAL OPERATING FREQUENCY .....	(HERTZ)	60.0
CONDUCTOR RESISTANCES CALCULATED PER IEC-228		

AMBIENT TEMPERATURE.....	(DEG C)	27.0
NATIVE SOIL THERMAL RESISTIVITY.....	(C.M/W),	1.00

#### BACKFILL/DUCT BANK DATA

BACKFILL/DUCTBANK WIDTH.....	(M)	,XB	=	0.800
BACKFILL/DUCTBANK HEIGTH.....	(M)	,YB	=	0.600
X LOCATION OF CENTRE OF BACKFILL/DUCTBANK,	(M)	,AXB	=	0.000
DEPTH OF CENTRE OF BACKFILL/DUCT BANK,	(M)	,ALB	=	1.60
BACKFILL/DUCTBANK THERMAL RESISTIVITY, (C.M/W)		,RHOB	=	1.00
FRACTION OF THE RETURN CURRENT IN THE CONCENTRIC NEUTRAL OF A SINGLE PHASE CABLE				0.000

CABLE NO	CCT NO	PHASE ID	CABLE TYPE INDEX	CABLE LOCATION (M)		CONDUCTOR CURRENT (A)	DAILY LOAD FACTOR	DUCT NUMBER	LOAD CURVE INDEX
--	--	--	-----	---	---	---	-----	-----	-----
1	1	A	1	-0.29	1.75	787.00	0.61	1	
2	1	B	1	-0.10	1.75	787.00	0.61	2	
3	1	C	1	-0.20	1.58	787.00	0.61	3	
4	2	A	1	0.10	1.75	1.00	0.61	4	
5	2	B	1	0.29	1.75	1.00	0.61	5	
6	2	C	1	0.20	1.58	1.00	0.61	6	

1

#### CABLE DESCRIPTION \*\*\*\*\*

CABLE TYPE No. : 1  
=====

#### SINGLE CORE SELF CONTAINED CABLE

#### COMPOSITION =====

ELEMENT	MATERIAL	DESCRIPTION	THICKNESS (m)	EXTERNAL DIAMETER (m)
-----	-----	-----	-----	-----
CONDUCTOR	ALUMINUM	STRANDED		0.04160
SCREEN	CUSTOM		0.00140	0.04440
INSULATION	XLPE-UNF RHI=3.5	TAND=0.0010 EPS=2.5	0.01600	0.07640



JACKET POLYETHYLENE 0.00500 0.09176  
 SKID WIRE/CONCENTRIC NEUTRAL ASSEMBLY (COPPER)  
 93 WIRES, L= 0.5600 0.00143 0.08176

CABLES IN THERMAL BACKFILL  
 -----

CABLES IN THERMAL BACKFILL  
 CABLES IN THERMAL BACKFILL

BONDING ARRANGEMENT  
 -----

- \* SINGLE CONDUCTOR CABLES
- \* SHEATH SINGLE POINT BONDED
- \* TRIANGULAR CONFIGURATION

1

SOLUTION CONVERGED AFTER 5 ITERATIONS

GEOMETRIC FACTOR: 2.15

RSE Canindé  
 Triangular

CABLE NO	CONDUCTOR TEMPERATURE (DEG C)	CONDUCTOR AMPACITY (A)	DC RESISTANCE (OHMS/M)	YCS	YCP	AC/DC RATIO	YS	YA	PHASE ID
1	51.0	787.	0.2779E-04	0.137	0.019	1.156	0.000	0.000	A
2	51.0	787.	0.2779E-04	0.137	0.019	1.156	0.000	0.000	B
3	50.8	787.	0.2777E-04	0.137	0.019	1.156	0.000	0.000	C
4	37.2	1.	0.2641E-04	0.149	0.020	1.170	0.000	0.000	A
5	35.2	1.	0.2621E-04	0.151	0.020	1.172	0.000	0.000	B
6	35.7	1.	0.2626E-04	0.151	0.020	1.171	0.000	0.000	C

CABLE NO	CONDUCTOR SKIN EFFECT ONLY	AC RESISTANCE (OHMS/M) AT ATTAINED TEMPERATURE	TOTAL AC RESISTANCE
1	0.3158E-04		0.3211E-04
2	0.3158E-04		0.3211E-04
3	0.3157E-04		0.3209E-04
4	0.3036E-04		0.3089E-04
5	0.3018E-04		0.3072E-04
6	0.3023E-04		0.3076E-04

CABLE NO	CURRENT DEPENDENT CONDUCTOR LOSSES (W/M)	SHEATH/ SHIELD	ARMOUR/ PIPE	DIELECTRIC LOSS (W/M)	TOTAL LOSSES IN CABLE (W/M)
1	19.89	0.00	0.00	0.00	19.89
2	19.89	0.00	0.00	0.00	19.89
3	19.88	0.00	0.00	0.00	19.88
4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

1

CABLE RESISTANCES IN THE THERMAL CIRCUIT ((C/W)/M)

T1 = INSULATION THERMAL RESISTANCE

T2 = JACKET THERMAL RESISTANCE  
INCLUDING ARMOUR BEDDING THERMAL RESISTANCE  
OR THERMAL RESISTANCE OF PIPE FILLING MEDIUM  
IN PIPE TYPE CABLES  
OR THERMAL RESISTANCE OF FILLERS AND ARMOUR BEDDING  
IN TYPE SL CABLES

T3 = ARMOUR SERVING THERMAL RESISTANCE  
OR PIPE COATING THERMAL RESISTANCE  
IN PIPE TYPE CABLES

T4 = EXTERNAL THERMAL RESISTANCE  
AT UNITY DAILY LOAD FACTOR

T4P= EXTERNAL THERMAL RESISTANCE  
AT SPECIFIED DAILY LOAD FACTOR

FOR CABLES IN AIR, T4P = T4  
FOR CABLES IN DUCTS, T4 AND T4P INCLUDE  
THE THERMAL RESISTANCES OF THE DUCT WALL  
AND THE DUCT FILLING MEDIUM

CABLE NO	T1	T2	T3	T4	T4P
1	0.357	0.064	0.000	0.690	0.380
2	0.357	0.064	0.000	0.690	0.380
3	0.357	0.064	0.000	0.674	0.373
4	0.357	0.064	0.000	0.690	0.380
5	0.357	0.064	0.000	0.690	0.380
6	0.357	0.064	0.000	0.674	0.373

1

CABLE NO	CALCULATED TEMPERATURES (DEG C)			
	CONDUCTOR	SHEATH/ SHIELD	ARMOUR/ PIPE OR JACKET	EXTERIOR/ DUCT
1	51.0	43.9	42.7	42.7
2	51.0	43.9	42.7	42.7
3	50.8	43.7	42.4	42.4
4	37.2	37.2	37.2	37.2
5	35.2	35.2	35.2	35.2
6	35.7	35.7	35.7	35.7

STANDING VOLTAGES FOR SINGLE-CORE  
SINGLE-POINT BONDED SHEATHS/CONCENTRIC NEUTRALS

CABLE NO	SHEATH/CON.NEUTRAL VOLTS/M	VOLTAGE ANGLE
1	0.09	89.94
2	0.09	-29.91
3	0.09	-150.02
4	0.03	-42.04
5	0.02	-47.92
6	0.02	-70.17

0	EMISSÃO INICIAL	-	VSL	EKF	30/11/20					
Nº	DESCRIÇÃO	FEITO	VISTO	APROV.	DATA	APROV.	DATA			
		PROJETISTA				CLIENTE				
REVISÕES										
										
PROJ.	RSE CANINDE 1-2 (88/138kV)						VERIF.			
DES.							VISTO			
VERIF.	CAMPO MAGNÉTICO						APROV.			
VISTO							DATA 30/11/20			
APROV.	ESC.	Nº CLIENTE	SEL/20.00043-005				FL.	REV.		
DATA	-	Nº PROJETISTA	EDS-606/005				1/12	0		

## ÍNDICE

<b>1.</b>	<b>OBJETIVO .....</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>DADOS ELÉTRICOS DO SISTEMA.....</b>	<b>3</b>
<b>3.</b>	<b>DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA .....</b>	<b>3</b>
<b>4.</b>	<b>CARACTERÍSTICAS DOS CABOS CONDUTORES .....</b>	<b>3</b>
<b>5.</b>	<b>CAMPO ELÉTRICO.....</b>	<b>3</b>
<b>6.</b>	<b>CARREGAMENTOS DOS CIRCUITOS .....</b>	<b>4</b>
<b>7.</b>	<b>METODOLOGIA APLICADA .....</b>	<b>4</b>
7.1	PREMISSAS DE CÁLCULO .....	4
<b>8.</b>	<b>LIMITES DE EXPOSIÇÃO HUMANA A CAMPOS ELÉTRICOS E MAGNÉTICOS.....</b>	<b>4</b>
<b>9.</b>	<b>SIMULAÇÕES DE EMISSÃO DE CAMPO MAGNÉTICO .....</b>	<b>4</b>
9.1	CASO 1 .....	5
9.2	CASO 2 .....	6
<b>10.</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>6</b>
	<b>ANEXO 1 – CALCULO CASO 1 .....</b>	<b>7</b>
	<b>ANEXO 2 – CALCULO CASO 2 .....</b>	<b>10</b>

## 1. OBJETIVO

Apresentar os cálculos realizados para determinar os níveis de emissão de campo magnético do RSE Canindé 1-2.

## 2. DADOS ELÉTRICOS DO SISTEMA

- Tensão nominal do sistema: 145 kV
- Tensão de operação: 138 kV
- Nível básico de isolamento: 650 kV
- Potencia nominal em regime permanente por circuito: 120MVA em 88kV | 188MVA em 138kV
- Corrente de curto circuito trifásica: 40 kA
- Corrente de curto circuito fase-terra: 21 kA
- Tempo de duração do curto circuito para dimensionamento do cabo: 60 ciclos (1s)
- Frequência do sistema: 60 Hz
- Fator de carga: 0,61

## 3. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

- Dissertação: Estudo de instalações de linhas subterrâneas de alta tensão com relação a campos magnéticos – Fábio Gabriel de Oliveira – São Paulo, 2010 – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
- ANEEL – Resolução normativa Nº 616 de 01/07/2014.
- “Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 to 100 kHz)”, ICNIRP, HEALTH PHYSICS 99(6):818-836; 2010;
- The design of specially bonded cable circuits”, by Working Group 07 of Study Committee Nº 21, Electra Nº 28, May 1973, pp. 55-81;
- The design of specially bonded cable circuits (Part II)”, by Working Group 07 of Study Committee Nº 21, Electra Nº 47, June-July 1976, pp. 61-86;
- Magnetic field in HV cable systems 1: Systems without ferromagnetic component”, Cigré guide 104 SC 21 Doc 95/16 – JTF 36-01/21 – June 1996.
- Portaria 80/05 – SVMA – Prefeitura Municipal de São Paulo – Ano 2005
- NBR 15415 – Métodos de medição e níveis de referência para exposição a campos elétricos e magnéticos na frequência de 50Hz e 60Hz.

## 4. CARACTERÍSTICAS DOS CABOS CONDUTORES

Todos os cálculos foram feitos considerando o uso do cabo extrudado com condutor de fase de alumínio de seção 1200mm<sup>2</sup>, isolação a base de XLPE, blindagem metálica a fios de cobre e cobertura HDPE. A distância entre fases do mesmo circuito é 190mm, e a distância entre o centro dos circuitos diferentes é de 400mm, na formação triangular.

## 5. CAMPO ELÉTRICO

Os cabos isolados a serem utilizados possuem blindagem metálica a fios de cobre que será diretamente aterrada em um ponto para formar o sistema de aterramento “single point bonded”.

De acordo com as leis da eletrostática (Faraday) o campo elétrico gerado pelo condutor de fase é nulo a partir da blindagem metálica do cabo. Portanto não existe a possibilidade de emissão de campo elétrico ao meio externo do RSE Canindé.

## 6. CARREGAMENTOS DOS CIRCUITOS

As simulações de emissão de campo magnético foram realizadas levando em consideração os carregamentos para os circuitos conforme tabela abaixo.

Caso	Tipo de Instalação	Carregamento Circuito 1	Carregamento Circuito 2
01	Banco de dutos	50%	50%
02	Banco de dutos	100%	0%

**Tabela 1:** Carregamento dos circuitos da linha de transmissão subterrânea

## 7. METODOLOGIA APLICADA

O cálculo da resultante de  $B$  é baseado na Lei de Biot-Savart e no princípio da superposição da densidade de fluxo magnético gerado pelos cabos da linha.

### 7.1 PREMISSAS DE CÁLCULO

- O comprimento do circuito é longo e retilíneo, onde os cabos estão sempre paralelos entre si.
- O plano XY, onde  $B$  é calculado, é suficientemente distante das extremidades da linha, de forma a desprezar qualquer efeito externo existentes nestas extremidades.
- Não existem materiais ferromagnéticos presentes nos cabos ou próximos da linha, ou seja, a permeabilidade magnética relativa de todo o sistema é considerada unitária.
- As correntes circulantes nos condutores dos cabos são balanceadas, ou seja, são defasadas de  $120^\circ$  e possuem mesma magnitude.
- Em sistemas de aterramento especiais das linhas de transmissão subterrâneas, como aterramento tipo "single point bonded", as correntes induzidas nas blindagens/capas metálicas dos cabos são consideradas nulas.

## 8. LIMITES DE EXPOSIÇÃO HUMANA A CAMPOS ELÉTRICOS E MAGNÉTICOS

Os limites de exposição humana a campos elétricos e magnéticos, previstos na Resolução Normativa da ANEEL Nº 616 de 1 de julho de 2014, são mostrados na tabela abaixo:

	Campo elétrico (kV/m)	Campo magnético ( $\mu$ T)
Público em geral	4.17	200
Público ocupacional	8.33	1000

**Tabela 2:** Limites de exposição humana a campos elétricos e magnéticos a frequência de 60 Hz.

A portaria nº 80/SVMA/2005 da Prefeitura da Cidade de São Paulo, item 8.2, define que o limite de densidade de fluxo magnético em instalações novas deve ser de 3 micro tesla calculados como valor médio de 24 horas em locais de permanência prolongado.

## 9. SIMULAÇÕES DE EMISSÃO DE CAMPO MAGNÉTICO

Com base nos estudos apresentados nos documentos de referência (Ítem 3), foram calculados os comportamentos do campo magnético para duas configurações de funcionamento da linha subterrânea apresentadas na Tabela 1, Item 5. Nos subitens a seguir serão apresentados os resultados dos cálculos de emissão de campo magnético.

Os cálculos foram realizados considerando a altura de 1,5m sobre a superfície, num raio de 5 metros do centro entre os circuitos.

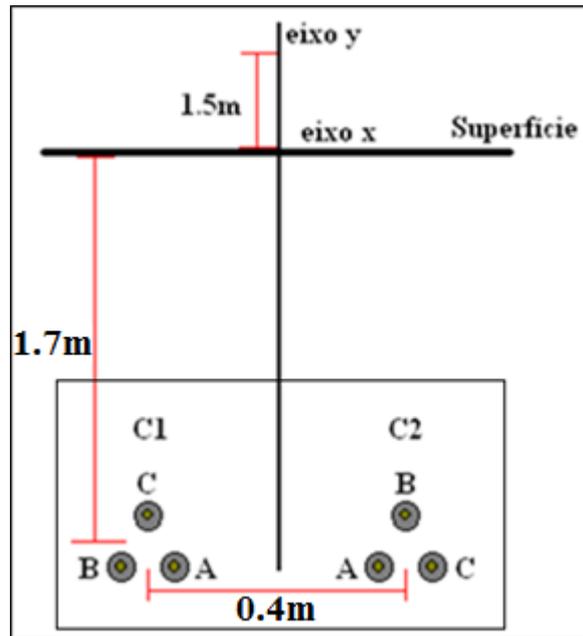


Figura 1: Banco de dutos.

### 9.1 CASO 1

Banco de dutos com 02 (dois) circuitos operando em plena carga. Nesta condição, a máxima densidade de fluxo de campo magnético resultante é de  $0,842\mu\text{T}$ . O comportamento do campo magnético para esta configuração é demonstrado a seguir no Gráfico A.

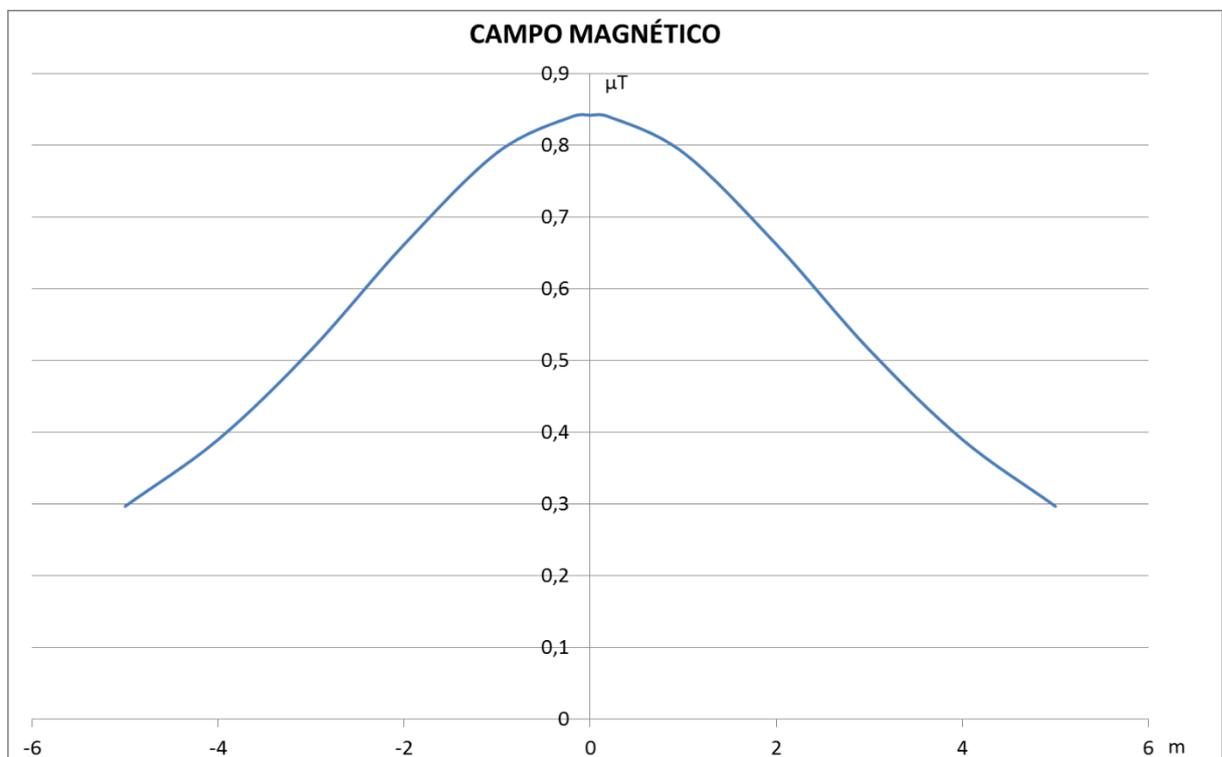
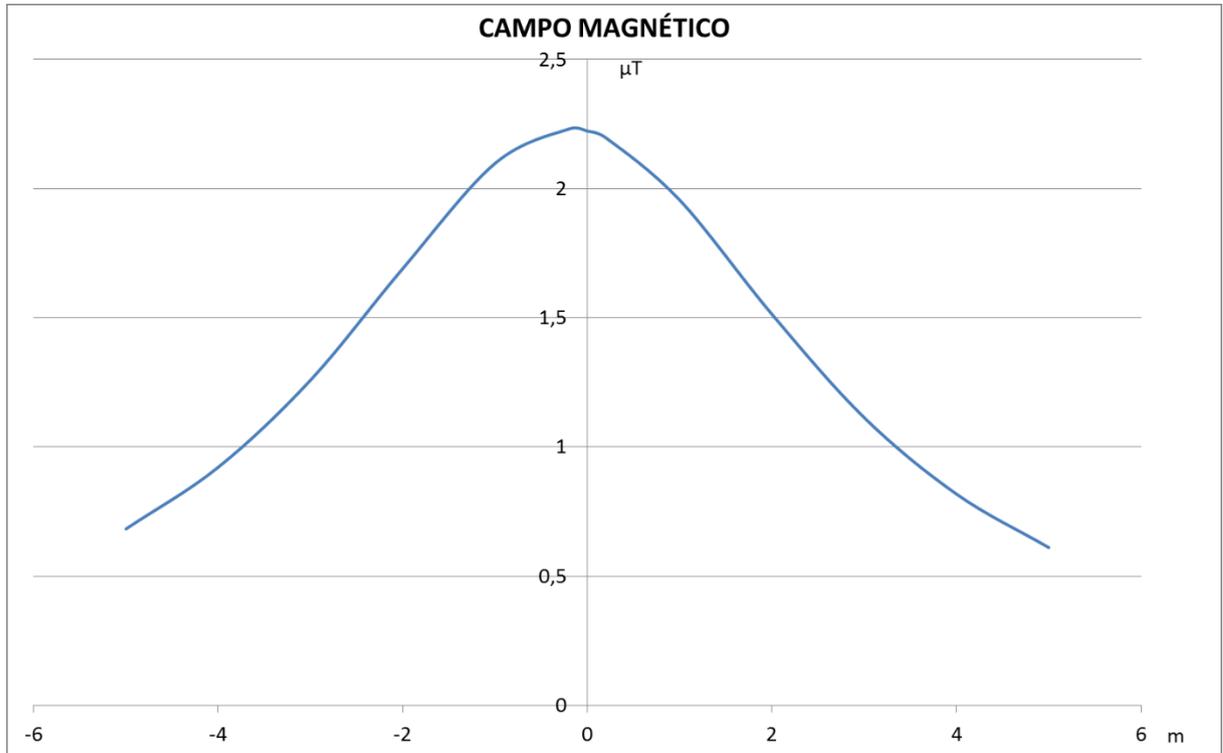


Gráfico A: Comportamento do Campo Magnético para o Caso 1.

## 9.2 CASO 2

Banco de dutos com apenas 1 circuito operando com 100% da carga nominal. A máxima densidade de fluxo de campo magnético resultante é de 2,231  $\mu\text{T}$ . O comportamento do campo magnético para esta configuração é demonstrado a seguir no Gráfico B.



**Gráfico B:** Comportamento do Campo Magnético para o Caso 2.

## 10. CONCLUSÕES

Observando os gráficos de “A” e “B” e a tabela 2 apresentados acima fica explícito que atende os níveis máximos de exposição apresentados na Resolução normativa N° 616 de 01/07/2014 da ANEEL e da norma ABNT NBR 15415.

A máxima emissão de campo magnético será de 2,231  $\mu\text{T}$ , que corresponde a 1,12% do limite estabelecido pela ANEEL, valor que somente será alcançado durante os períodos de pico de carga (valor momentâneo) quando estiver operando com apenas um circuito em plena carga.

A máxima emissão de campo magnético atende os requisitos do item 8.2 da portaria n° 80/SVMA/2005 da Prefeitura da Cidade de São Paulo.

## ANEXO 1 – CALCULO CASO 1

### Dados:

Corrente nominal de operação:

Circuito 1: **Ic1 = 394 A**

Circuito 2: **Ic2 = 394 A**

Corrente nominal na Fase A1: **IcA1 = Ic1 = 394 A**

Corrente nominal na Fase B1:

$$IcB1 = -0.5 * Ic1 + \frac{\sqrt{3} * Ic1i}{2} = -197 + 341.214i \text{ A}$$

Corrente nominal na Fase C1:

$$IcC1 = -0.5 * Ic1 - \frac{\sqrt{3} * Ic1i}{2} = -197 - 341.214i \text{ A}$$

Corrente nominal na Fase A2: **IcA2 = Ic2 = 394 A**

Corrente nominal na Fase B2:

$$IcB2 = -0.5 * Ic2 + \frac{\sqrt{3} * Ic2i}{2} = -197 + 341.214i \text{ A}$$

Corrente nominal na Fase C2:

$$IcC2 = -0.5 * Ic2 - \frac{\sqrt{3} * Ic2i}{2} = -197 - 341.214i \text{ A}$$

Coordenada horizontal do cabo A1: **XA1 = -0.29 m**

Coordenada horizontal do cabo B1: **XB1 = -0.10 m**

Coordenada horizontal do cabo C1: **XC1 = -0.20 m**

Coordenada horizontal do cabo A2: **XA2 = 0.20 m**

Coordenada horizontal do cabo B2: **XB2 = 0.10 m**

Coordenada horizontal do cabo C2: **XC2 = 0.29 m**

Coordenada vertical do cabo A1: **YA1 = 1.75 m**

Coordenada vertical do cabo B1: **YB1 = 1.75 m**

Coordenada vertical do cabo C1: **YC1 = 1.58 m**

Coordenada vertical do cabo A2: **YA2 = 1.58 m**

Coordenada vertical do cabo B2: **YB2 = 1.75 m**

Coordenada vertical do cabo C2: **YC2 = 1.75 m**

Distância do ponto de interesse em relação à superfície: **y = 1.50 m**

Distância do ponto de interesse em relação ao eixo y: **x = 0 m**

Cálculo dos vetores complexos associados ao campo magnético nos eixos “x” e “y”:

Cabo A1:

$$BA1x = \frac{-[0.2 * IcA1 * (y + YA1)]}{(y + YA1)^2 + (x - XA1)^2} = -24.055 \mu T$$

$$BA1y = \frac{[0.2 * IcA1 * (x - XA1)]}{(y + YA1)^2 + (x - XA1)^2} = 2.146 \mu T$$

Cabo B1:

$$BB1x = \frac{-[0.2 * IcB1 * (y + YB1)]}{(y + YB1)^2 + (x - XB1)^2} = 12.112 - 20.978i \mu T$$

$$BB1y = \frac{[0.2 * IcB1 * (x - XB1)]}{(y + YB1)^2 + (x - XB1)^2} = -0.373 + 0.645i \mu T$$

Cabo C1:

$$BC1x = \frac{-[0.2 * IcC1 * (y + YC1)]}{(y + YC1)^2 + (x - XC1)^2} = 12.738 + 22.064i \mu T$$

$$BC1y = \frac{[0.2 * IcC1 * (x - XC1)]}{(y + YC1)^2 + (x - XC1)^2} = -0.827 - 1.433i \mu T$$

Cabo A2:

$$BA2x = \frac{-[0.2 * IcA2 * (y + YA2)]}{(y + YA2)^2 + (x - XA2)^2} = -25.477 \mu T$$

$$BA2y = \frac{[0.2 * IcA2 * (x - XA2)]}{(y + YA2)^2 + (x - XA2)^2} = -1.654 \mu T$$

Cabo B2:

$$BB2x = \frac{-[0.2 * IcB2 * (y + YB2)]}{(y + YB2)^2 + (x - XB2)^2} = 12.112 - 20.978i \mu T$$

$$BB2y = \frac{[0.2 * IcB2 * (x - XB2)]}{(y + YB2)^2 + (x - XB2)^2} = 0.373 - 0.645i \mu T$$

Cabo C2:

$$BC2x = \frac{-[0.2 * IcC2 * (y + YC2)]}{(y + YC2)^2 + (x - XC2)^2} = 12.027 + 20.832i \mu T$$

$$BC2y = \frac{[0.2 * IcC2 * (x - XC2)]}{(y + YC2)^2 + (x - XC2)^2} = 1.073 + 1.859i \mu T$$

Cálculo dos vetores complexos associados à resultante do campo magnético nos eixos "x" e "y":

$$B_x = BA1x + BB1x + BC1x + BA2x + BB2x + BC2x = -0.543 + 0.94i \mu T$$

$$B_y = BA1y + BB1y + BC1y + BA2y + BB2y + BC2y = 0.738 + 0.426i \mu T$$

Valores das componentes reais de B<sub>x</sub> e B<sub>y</sub>:

$$B_{xr} = -0.543 \mu T$$

$$B_{yr} = 0.738 \mu T$$

Valores das componentes imaginárias de B<sub>x</sub> e B<sub>y</sub>:

$$\mathbf{B}_{xi} = 0.94 \mu\text{T}$$
$$\mathbf{B}_{yi} = 0.426 \mu\text{T}$$

Coeficiente para cálculo de  $\omega t$ :

$$\mathbf{M} = \frac{(\mathbf{B}_{xr})^2 - (\mathbf{B}_{xi})^2 + (\mathbf{B}_{yr})^2 - (\mathbf{B}_{yi})^2}{\mathbf{B}_{xr} * \mathbf{B}_{xi} + \mathbf{B}_{yr} * \mathbf{B}_{yi}} = 1.155$$

Velocidade angular máxima:

$$\omega t_{\max} = \text{atan} \left[ \frac{\mathbf{M}}{2} + \sqrt{\left(\frac{\mathbf{M}}{2}\right)^2 + 1} \right] = 1.047 \text{ Rad/s}$$

Velocidade angular mínima:

$$\omega t_{\min} = \text{atan} \left[ \frac{\mathbf{M}}{2} - \sqrt{\left(\frac{\mathbf{M}}{2}\right)^2 + 1} \right] = -0.524 \text{ Rad/s}$$

Valor mínimo do campo magnético:

$$\mathbf{B}_{\min} = \sqrt{(\mathbf{B}_{xr} * \cos(\omega t_{\max}) - \mathbf{B}_{xi} * \sin(\omega t_{\max}))^2 + (\mathbf{B}_{yr} * \cos(\omega t_{\max}) - \mathbf{B}_{yi} * \sin(\omega t_{\max}))^2} = 1.085 \mu\text{T}$$

Valor máximo do campo magnético:

$$\mathbf{B}_{\max} = \sqrt{(\mathbf{B}_{xr} * \cos(\omega t_{\min}) - \mathbf{B}_{xi} * \sin(\omega t_{\min}))^2 + (\mathbf{B}_{yr} * \cos(\omega t_{\min}) - \mathbf{B}_{yi} * \sin(\omega t_{\min}))^2} = 0.852 \mu\text{T}$$

Valor do campo magnético eficaz:

$$\mathbf{B}_{\text{ef}} = \sqrt{\mathbf{B}_{\max}^2 + \mathbf{B}_{\min}^2} = 1.38 \mu\text{T}$$

Valor do campo magnético eficaz considerando fator de carga de 61%:

$$\mathbf{B}_{\text{ef}61\%} = \mathbf{B}_{\text{ef}} * 0.61 = 0.842 \mu\text{T}$$

## ANEXO 2 – CALCULO CASO 2

Corrente nominal de operação:

Circuito 1: **Ic1 = 787 A**

Circuito 2: **Ic2 = 0 A**

Corrente nominal na Fase A1: **IcA1 = Ic1 = 787 A**

Corrente nominal na Fase B1:

$$IcB1 = -0.5 * Ic1 + \frac{\sqrt{3} * Ic1i}{2} = -393.5 + 681.562i \text{ A}$$

Corrente nominal na Fase C1:

$$IcC1 = -0.5 * Ic1 - \frac{\sqrt{3} * Ic1i}{2} = -393.5 - 681.562i \text{ A}$$

Corrente nominal na Fase A2: **IcA2 = Ic2 = 0 A**

Corrente nominal na Fase B2:

$$IcB2 = -0.5 * Ic2 + \frac{\sqrt{3} * Ic2i}{2} = 0 \text{ A}$$

Corrente nominal na Fase C2:

$$IcC2 = -0.5 * Ic2 - \frac{\sqrt{3} * Ic2i}{2} = 0 \text{ A}$$

Coordenada horizontal do cabo A1: **XA1 = -0.29 m**

Coordenada horizontal do cabo B1: **XB1 = -0.10 m**

Coordenada horizontal do cabo C1: **XC1 = -0.20 m**

Coordenada horizontal do cabo A2: **XA2 = 0.20 m**

Coordenada horizontal do cabo B2: **XB2 = 0.10 m**

Coordenada horizontal do cabo C2: **XC2 = 0.29 m**

Coordenada vertical do cabo A1: **YA1 = 1.75 m**

Coordenada vertical do cabo B1: **YB1 = 1.75 m**

Coordenada vertical do cabo C1: **YC1 = 1.58 m**

Coordenada vertical do cabo A2: **YA2 = 1.58 m**

Coordenada vertical do cabo B2: **YB2 = 1.75 m**

Coordenada vertical do cabo C2: **YC2 = 1.75 m**

Distância do ponto de interesse em relação à superfície: **y = 1.50 m**

Distância do ponto de interesse em relação ao eixo y: **x = -0.20 m**

Cálculo dos vetores complexos associados ao campo magnético nos eixos “x” e “y”:

Cabo A1:

$$BA1x = \frac{-[0.2 * IcA1 * (y + YA1)]}{(y + YA1)^2 + (x - XA1)^2} = -48.394 \mu T$$

$$BA1y = \frac{[0.2 * IcA1 * (x - XA1)]}{(y + YA1)^2 + (x - XA1)^2} = 1.34 \mu T$$

Cabo B1:

$$BB1x = \frac{-[0.2 * IcB1 * (y + YB1)]}{(y + YB1)^2 + (x - XB1)^2} = 24.192 - 41.903i \mu T$$

$$BB1y = \frac{[0.2 * IcB1 * (x - XB1)]}{(y + YB1)^2 + (x - XB1)^2} = 0.744 - 1.289i \mu T$$

Cabo C1:

$$BC1x = \frac{-[0.2 * IcC1 * (y + YC1)]}{(y + YC1)^2 + (x - XC1)^2} = 25.552 + 44.257i \mu T$$

$$BC1y = \frac{[0.2 * IcC1 * (x - XC1)]}{(y + YC1)^2 + (x - XC1)^2} = 0 \mu T$$

Cabo A2:

$$BA2x = \frac{-[0.2 * IcA2 * (y + YA2)]}{(y + YA2)^2 + (x - XA2)^2} = 0 \mu T$$

$$BA2y = \frac{[0.2 * IcA2 * (x - XA2)]}{(y + YA2)^2 + (x - XA2)^2} = 0 \mu T$$

Cabo B2:

$$BB2x = \frac{-[0.2 * IcB2 * (y + YB2)]}{(y + YB2)^2 + (x - XB2)^2} = 0 \mu T$$

$$BB2y = \frac{[0.2 * IcB2 * (x - XB2)]}{(y + YB2)^2 + (x - XB2)^2} = 0 \mu T$$

Cabo C2:

$$BC2x = \frac{-[0.2 * IcC2 * (y + YC2)]}{(y + YC2)^2 + (x - XC2)^2} = 0 \mu T$$

$$BC2y = \frac{[0.2 * IcC2 * (x - XC2)]}{(y + YC2)^2 + (x - XC2)^2} = 0 \mu T$$

Cálculo dos vetores complexos associados à resultante do campo magnético nos eixos "x" e "y":

$$B_x = BA1x + BB1x + BC1x + BA2x + BB2x + BC2x = 1.351 + 2.355i \mu T$$

$$B_y = BA1y + BB1y + BC1y + BA2y + BB2y + BC2y = 2.085 - 1.289 \mu T$$

Valores das componentes reais de Bx e BY:

$$B_{xr} = 1.351 \mu T$$

$$B_{yr} = 2.085 \mu T$$

Valores das componentes imaginárias de Bx e BY:

$$\mathbf{B}_{xi} = 2.355 \mu\text{T}$$
$$\mathbf{B}_{yi} = -1.289 \mu\text{T}$$

Coeficiente para cálculo de  $\omega t$ :

$$\mathbf{M} = \frac{(\mathbf{B}_{xr})^2 - (\mathbf{B}_{xi})^2 + (\mathbf{B}_{yr})^2 - (\mathbf{B}_{yi})^2}{\mathbf{B}_{xr} * \mathbf{B}_{xi} + \mathbf{B}_{yr} * \mathbf{B}_{yi}} = -2.103$$

Velocidade angular máxima:

$$\omega t_{\max} = \text{atan} \left[ \frac{\mathbf{M}}{2} + \sqrt{\left(\frac{\mathbf{M}}{2}\right)^2 + 1} \right] = 0.38 \text{ Rad/s}$$

Velocidade angular mínima:

$$\omega t_{\min} = \text{atan} \left[ \frac{\mathbf{M}}{2} - \sqrt{\left(\frac{\mathbf{M}}{2}\right)^2 + 1} \right] = -1.191 \text{ Rad/s}$$

Valor mínimo do campo magnético:

$$\mathbf{B}_{\min} = \sqrt{(\mathbf{B}_{xr} * \cos(\omega t_{\max}) - \mathbf{B}_{xi} * \sin(\omega t_{\max}))^2 + (\mathbf{B}_{yr} * \cos(\omega t_{\max}) - \mathbf{B}_{yi} * \sin(\omega t_{\max}))^2} = 2.444 \mu\text{T}$$

Valor máximo do campo magnético:

$$\mathbf{B}_{\max} = \sqrt{(\mathbf{B}_{xr} * \cos(\omega t_{\min}) - \mathbf{B}_{xi} * \sin(\omega t_{\min}))^2 + (\mathbf{B}_{yr} * \cos(\omega t_{\min}) - \mathbf{B}_{yi} * \sin(\omega t_{\min}))^2} = 2.721 \mu\text{T}$$

Valor do campo magnético eficaz:

$$\mathbf{B}_{\text{ef}} = \sqrt{\mathbf{B}_{\max}^2 + \mathbf{B}_{\min}^2} = 3.657 \mu\text{T}$$

Valor do campo magnético eficaz considerando fator de carga de 61%:

$$\mathbf{B}_{\text{ef}61\%} = \mathbf{B}_{\text{ef}} * 0.61 = 2.231 \mu\text{T}$$

0	EMISSÃO INICIAL	-	VSL	EKF	30/11/20					
Nº	DESCRIÇÃO	FEITO	VISTO	APROV.	DATA	APROV.	DATA			
		PROJETISTA				CLIENTE				
REVISÕES										
										
PROJ.	RSE CANINDE 1-2 (88/138kV)						VERIF.			
DES.							VISTO			
VERIF.	IMPEDÂNCIAS SEQUENCIAIS E IMPEDÂNCIAS DE SURTO						APROV.			
VISTO							DATA 30/11/20			
APROV.	ESC.	Nº CLIENTE	SEL/20.00043-006			FL.	REV.			
DATA	-	Nº PROJETISTA	EDS-606/006			1/5	0			

## ÍNDICE

1.	OBJETIVO .....	3
2.	DADOS ELÉTRICOS DO SISTEMA.....	3
3.	DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA .....	3
4.	CARACTERÍSTICAS DOS CABOS CONDUTORES .....	3
5.	METODOLOGIA APLICADA .....	3
6.	RESULTADOS .....	3
	ANEXO I – CÁLCULO DAS IMPEDÂNCIAS SEQUENCIAIS .....	4

## 1. OBJETIVO

Apresentar os cálculos realizados para as impedâncias sequenciais e de surto dos cabos condutores que serão instalados no futuro RSE Canindé 1-2.

## 2. DADOS ELÉTRICOS DO SISTEMA

- Tensão nominal do sistema: 145 kV
- Tensão de operação: 138 kV
- Nível básico de isolamento: 650 kV
- Potencia nominal em regime permanente por circuito: 120MVA em 88kV | 188MVA em 138kV
- Corrente de curto circuito trifásica: 40 kA
- Corrente de curto circuito fase-terra: 21 kA
- Tempo de duração do curto circuito para dimensionamento do cabo: 60 ciclos (1s)
- Frequência do sistema: 60 Hz
- Fator de carga: 0,61

## 3. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

- W. D. Stevenson – Elements of Power Systems Analysis
- Westinghouse – Electrical Transmission and Distribution Reference Book
- IEC 60287-1-1 – Calculation of the Current Rating – Current Rating Equations (100% Load Factor) and Calculation of Losses – General
- Relatório sobre os cálculos de ampacidade do RSE Canindé.

## 4. CARACTERÍSTICAS DOS CABOS CONDUTORES

Todos os cálculos foram feitos considerando o uso do cabo extrudado com condutor de fase de alumínio de seção 1200mm<sup>2</sup>, isolação a base de XLPE, blindagem metálica a fios de cobre e cobertura HDPE.

A distância entre fases do mesmo circuito é 190mm, e a distância entre o centro dos circuitos diferentes é de 400mm, na formação triangular.

## 5. METODOLOGIA APLICADA

A metodologia de cálculo é apresentada nos dois primeiros documentos de referência acima citados.

Como os circuitos serão instalados no sistema de aterramento tipo “single point bonding”, a circulação de corrente na blindagem metálica é nula, portanto, no caso das impedâncias de sequência positiva e negativa não existe impedância mútua entre o condutor de fase e a blindagem metálica.

A impedância de sequência zero foi calculada considerando que o caminho de retorno de corrente em caso de falhas aconteça tanto pela blindagem metálica quanto pelo solo.

## 6. RESULTADOS

Abaixo os resultados dos cálculos apresentados no Anexo I.

Impedância de Sequência Positiva/Negativa  
 **$Z_{pos} = Z_{neg} = 0,0327 + j0,1856 \Omega/km$**

Impedância de Sequência Zero  
 **$Z_0 = 0,1465 + j0,0752 \Omega/km$**

Impedância de Surto  
 **$Z_s = 20,5957 \Omega/km$**

## ANEXO I – CÁLCULO DAS IMPEDÂNCIAS SEQUENCIAIS

Entrada de dados:

Diâmetro externo do condutor

$$dc = 41.6 \text{ mm}$$

Diâmetro externo do cabo

$$Dext = 91.9 \text{ mm}$$

Diâmetro médio da blindagem metálica

$$d = 80.33 \text{ mm}$$

Diâmetro sobre blindagem do condutor

$$ds = 44.4 \text{ mm}$$

Diâmetro sobre isolação

$$di = 76.4 \text{ mm}$$

Capacitância nominal do cabo

$$C = 0.2559 * 10^{-6}$$

Resistência AC do condutor à temperatura de 90°C

$$Rac = 0.03209 \text{ } \Omega/\text{km}$$

Resistência CC da blindagem à temperatura de operação

$$Rs = 0.1154 \text{ } \Omega/\text{km}$$

Fator de impedância própria

$$K = 0.05$$

Frequência do sistema

$$f = 60\text{Hz}$$

Frequência angular do sistema

$$w = 377 \text{ rad/s}$$

Fator de perdas

$$\lambda = 0.02$$

Distância média geométrica dos espaços entre os cabos

$$Sf = \sqrt[3]{190^3} = 190 \text{ mm}$$

Resistividade elétrica do solo

$$\rho = 50 \text{ } \Omega * m$$

Fator para converter raio à distância média geométrica própria

$$\psi = e^{-\frac{1}{4}}$$

**Cálculo das Impedâncias Sequenciais**

**Impedância de Sequência Positiva / Negativa**

$$Z = Rac * (1 + \lambda) + i * \left[ w * \left( K + 0.2 * \ln \left( \frac{2 * Sf}{dc} \right) \right) * 10^{-3} \right] = 0.0327 + 0.1856i \text{ } \Omega/\text{km}$$

### Impedância de Sequência Zero considerando retorno pelas blindagens e pelo solo

#### Distância equivalente de retorno pelo solo

$$De = 660 * \sqrt{\frac{\rho}{f}} * 10^3 = 6.0249 * 10^5 \text{ mm}$$

#### Impedância do condutor

$$Zc = Rac + \left[ 3 * \pi^2 * f + i * 12 * \pi * f * \ln \left[ \frac{De}{\left[ \frac{dc * \psi}{2} * (190^3)^{\frac{2}{3}} \right]^{\frac{1}{3}}} \right] \right] * 10^{-4}$$

$$Zc = 0.2097 + 2.0092i \text{ } \Omega/km$$

#### Impedância mútua entre condutor e blindagem do cabo:

$$Zm = Rac + \left[ 3 * \pi^2 * f + i * 12 * \pi * f * \ln \left[ \frac{De}{\left[ \frac{d}{2} * (190^3)^{\frac{2}{3}} \right]^{\frac{1}{3}}} \right] \right] * 10^{-4}$$

$$Zm = 0.1777 + 1.9407i \text{ } \Omega/km$$

$$Zs = Zm + Rs$$

$$Z0 = Zc - \frac{Zm^2}{Zs} = 0.1465 + 0.0752i \text{ } \Omega/km$$

#### Cálculo da Impedância de Surto:

$$L = 2 * 10^{-4} * \ln \left( \frac{di}{ds} \right)$$

$$L = 1.0855 * 10^{-4} \text{ H/km}$$

$$Zs = \sqrt{\frac{L}{C}} = 20.5957 \text{ } \Omega/km$$

0	EMISSÃO INICIAL	-	VSL	EKF	30/11/20					
Nº	DESCRIÇÃO	FEITO	VISTO	APROV.	DATA	APROV.	DATA			
		PROJETISTA				CLIENTE				
REVISÕES										
										
PROJ.	RSE CANINDE 1-2 (88/138kV)						VERIF.			
DES.							VISTO			
VERIF.	TENSÕES INDUZIDAS						APROV.			
VISTO							DATA 30/11/20			
APROV.	ESC.	Nº CLIENTE	SEL/20.00043-007				FL.	REV.		
DATA	-	Nº PROJETISTA	EDS-606/007				1/10	0		

## ÍNDICE

1.	OBJETIVO .....	3
2.	DADOS ELÉTRICOS DO SISTEMA.....	3
3.	DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA .....	3
4.	CARACTERÍSTICAS DOS CABOS CONDUTORES .....	3
5.	METODOLOGIA APLICADA .....	3
6.	CARREGAMENTO NOS CIRCUITOS DO RSE CANINDÉ .....	3
7.	PROTEÇÃO DAS BLINDAGENS METÁLICAS.....	4
8.	RESULTADOS .....	4
9.	CONCLUSÕES.....	4
	ANEXO I – TENSÃO INDUZIDA NA BLINDAGEM - OPERAÇÃO NORMAL 100% DE CARGA EM APENAS UM CIRCUITO .....	5
	ANEXO II – TENSÃO INDUZIDA NA BLINDAGEM DURANTE CURTO CIRCUITO TRIFÁSICO NO CIRCUITO 1 E OUTRO CIRCUITO DESLIGADO.....	8

## 1. OBJETIVO

Apresentar os cálculos realizados para determinar os valores das tensões induzidas nas blindagens metálicas aterradas dos cabos condutores do futuro RSE Canindé 1-2.

## 2. DADOS ELÉTRICOS DO SISTEMA

- Tensão nominal do sistema: 145 kV
- Tensão de operação: 138 kV
- Nível básico de isolamento: 650 kV
- Potência nominal em regime permanente por circuito: 120MVA em 88kV | 188MVA em 138kV
- Corrente de curto circuito trifásica: 40 kA
- Corrente de curto circuito fase-terra: 21 kA
- Tempo de duração do curto circuito para dimensionamento do cabo: 60 ciclos (1s)
- Frequência do sistema: 60 Hz
- Fator de carga: 0,61

## 3. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

- “The design of specially bonded cable circuits”, by Working Group 07 of Study Committee N.21, Electra N.28, May 1973, pp. 55-81.
- “The design of specially bonded cable circuits (Part II)”, by Working Group 07 of Study Committee N.21, Electra N.47, June-July 1976, pp. 61-86.

## 4. CARACTERÍSTICAS DOS CABOS CONDUTORES

Todos os cálculos foram feitos considerando o uso do cabo extrudado com condutor de fase de alumínio de seção 1200mm<sup>2</sup>, isolação a base de XLPE, blindagem metálica a fios de cobre e cobertura HDPE. A distância entre fases do mesmo circuito é 190mm, e a distância entre o centro dos circuitos diferentes é de 400mm, na formação triangular.

## 5. METODOLOGIA APLICADA

A metodologia de cálculo aplicada é a definida nos documentos de referência citados no Item 3, para o caso do sistema de aterramento single point bonding. De acordo com as máximas correntes de curto circuito do sistema, durante a ocorrência de curto circuito trifásico, as tensões induzidas nas blindagens metálicas serão consideravelmente maiores, e esta é a situação mais crítica.

## 6. CARREGAMENTO NOS CIRCUITOS DO RSE CANINDÉ

Foram simuladas 02 condições de operação para os circuitos do RSE Canindé, conforme tabela mostrada abaixo.

Tensões induzidas nas Blindagens metálicas RSE Canindé			
Operação e Carregamento		Tensão induzida por metro (V/m)	Máxima tensão induzida (V)
Circuito 1	Circuito 2		
Normal 100%	Normal 0%	0,124	43,524
CC trifásico	Normal 0%	6,32	2212

**Tabela 1:** Condições de operação e resultados dos valores de tensões induzidas

## **7. PROTEÇÃO DAS BLINDAGENS METÁLICAS**

Para garantir que as blindagens metálicas dos cabos não sofram danos, devido a sobretensões ocorridas no sistema, devem ser instalados dispositivos de proteção nos pontos de transposição dos cabos.

Esses dispositivos são conhecidos como SVL ("Sheath Voltage Limiters"), ou descarregadores, e atuam como limitadores de tensão da capa metálica.

Caso a capa metálica receba uma sobretensão acima do limite da SVL instalada, esta irá atuar de modo que essa sobretensão seja descarregada a terra.

Todavia, devido a tensão que é induzida nas blindagens, e a duração da corrente durante o curto circuito, a tensão induzida nas blindagens deverá ter um valor abaixo do limite de alta impedância do descarregador, ou seja, a SVL não irá descarregar para a terra a corrente induzida pelo curto circuito.

Por exemplo: Para um descarregador de 9kV a tensão induzida nas blindagens deverá ficar abaixo desse valor. A SVL descarregará apenas as tensões induzidas de alta frequência e curta duração, como aquelas induzidas por descargas atmosféricas.

A SVL deverá ter um limite de tensão superior ao maior valor de tensão induzida calculado, que nesse caso é apresentado durante o curto circuito trifásico.

## **8. RESULTADOS**

Ver Tabela 1 – Item 6.

Planilhas de cálculo – anexos I e II.

## **9. CONCLUSÕES**

Tendo em vista os valores de tensão induzida nas blindagens metálicas dos cabos fica evidente que a SVL a ser usada deve suportar tensões superiores a 2212 V.

## ANEXO I – TENSÃO INDUZIDA NA BLINDAGEM - OPERAÇÃO NORMAL 100% DE CARGA EM APENAS UM CIRCUITO

### DADOS:

Frequência angular:	<b>w = 377 rad/s</b>
Corrente do Circuito 01:	<b>I1 = 787 A</b>
Corrente do Circuito 02:	<b>I2 = 0 A</b>
Raio médio da blindagem metálica:	<b>rm = 40.16 mm</b>

### SEÇÃO 01

Distância entre centros, Cabos 1 e 2:	S12 = 190 mm
Distância entre centros, Cabos 1 e 3:	S13 = 190 mm
Distância entre centros, Cabos 1 e 4:	S14 = $\sqrt{495^2 + 164,5^2}$ mm
Distância entre centros, Cabos 1 e 5:	S15 = 400 mm
Distância entre centros, Cabos 1 e 6:	S16 = 590 mm
Distância entre centros, Cabos 2 e 3:	S23 = 190 mm
Distância entre centros, Cabos 2 e 4:	S24 = $\sqrt{305^2 + 164,5^2}$ mm
Distância entre centros, Cabos 2 e 5:	S25 = 210 mm
Distância entre centros, Cabos 2 e 6:	S26 = 400 mm
Distância entre centros, Cabos 3 e 4:	S34 = 400 mm
Distância entre centros, Cabos 3 e 5:	S35 = $\sqrt{305^2 + 164,5^2}$ mm
Distância entre centros, Cabos 3 e 6:	S36 = $\sqrt{495^2 + 164,5^2}$ mm
Distância entre centros, Cabos 4 e 5:	S45 = 190 mm
Distância entre centros, Cabos 4 e 6:	S46 = 190 mm
Distância entre centros, Cabos 5 e 6:	S56 = 190 mm

### TENSÃO INDUZIDA POR METRO – FASE 1

$$E1 = i * w * 2 * 10^{-7} * \left[ \begin{array}{l} I1 * \left( \frac{-1}{2} * \ln \left( \frac{S12^2}{rm * S13} \right) + i * \frac{\sqrt{3}}{2} * \ln \left( \frac{2 * S13}{rm} \right) \right) + \\ I2 * \left( \frac{-1}{2} * \ln \left( \frac{S15^2}{S16 * S14} \right) + i * \frac{\sqrt{3}}{2} * \ln \left( \frac{S14}{S16} \right) \right) \end{array} \right] = -0.115 - 0.046i$$

$$|E1| = 0.124 \text{ V/m}$$

## SEÇÃO 02

Distância entre centros, Cabos 1 e 2:	S12 = 190 mm
Distância entre centros, Cabos 1 e 3:	S13 = 190 mm
Distância entre centros, Cabos 1 e 4:	S14 = $\sqrt{495^2 + 164,5^2}$ mm
Distância entre centros, Cabos 1 e 5:	S15 = 400 mm
Distância entre centros, Cabos 1 e 6:	S16 = $\sqrt{305^2 + 164,5^2}$ mm
Distância entre centros, Cabos 2 e 3:	S23 = 190 mm
Distância entre centros, Cabos 2 e 4:	S24 = 590 mm
Distância entre centros, Cabos 2 e 5:	S25 = $\sqrt{495^2 + 164,5^2}$ mm
Distância entre centros, Cabos 2 e 6:	S26 = 400 mm
Distância entre centros, Cabos 3 e 4:	S34 = 400 mm
Distância entre centros, Cabos 3 e 5:	S35 = $\sqrt{305^2 + 164,5^2}$ mm
Distância entre centros, Cabos 3 e 6:	S36 = 210 mm
Distância entre centros, Cabos 4 e 5:	S45 = 190 mm
Distância entre centros, Cabos 4 e 6:	S46 = 190 mm
Distância entre centros, Cabos 5 e 6:	S56 = 190 mm

## TENSÃO INDUZIDA POR METRO – FASE 3

$$E3 = i * w * 2 * 10^{-7} * \left[ \begin{array}{l} I1 * \left( \frac{-1}{2} * \ln \left( \frac{S23^2}{rm * S13} \right) - i * \frac{\sqrt{3}}{2} * \ln \left( \frac{2 * S13}{rm} \right) \right) + \\ I2 * \left( \frac{-1}{2} * \ln \left( \frac{S35^2}{S34 * S36} \right) - i * \frac{\sqrt{3}}{2} * \ln \left( \frac{S36}{S34} \right) \right) \end{array} \right] = 0.115 - 0.046i$$

$$|E3| = 0.124 \text{ V/m}$$

### SEÇÃO 03

Distância entre centros, Cabos 1 e 2:	S12 = 190 mm
Distância entre centros, Cabos 1 e 3:	S13 = 190 mm
Distância entre centros, Cabos 1 e 4:	S14 = 210 mm
Distância entre centros, Cabos 1 e 5:	S15 = 400 mm
Distância entre centros, Cabos 1 e 6:	S16 = $\sqrt{305^2 + 164,5^2}$ mm
Distância entre centros, Cabos 2 e 3:	S23 = 190 mm
Distância entre centros, Cabos 2 e 4:	S24 = $\sqrt{305^2 + 164,5^2}$ mm
Distância entre centros, Cabos 2 e 5:	S25 = $\sqrt{495^2 + 164,5^2}$ mm
Distância entre centros, Cabos 2 e 6:	S26 = 400 mm
Distância entre centros, Cabos 3 e 4:	S34 = 400 mm
Distância entre centros, Cabos 3 e 5:	S35 = 590 mm
Distância entre centros, Cabos 3 e 6:	S36 = $\sqrt{495^2 + 164,5^2}$ mm
Distância entre centros, Cabos 4 e 5:	S45 = 190 mm
Distância entre centros, Cabos 4 e 6:	S46 = 190 mm
Distância entre centros, Cabos 5 e 6:	S56 = 190 mm

### TENSÃO INDUZIDA POR METRO – FASE 2

$$E2 = i * w * 2 * 10^{-7} * \left[ I1 * \left( \frac{-1}{2} * \ln \left( \frac{S12 * S23}{rm^2} \right) + i * \frac{\sqrt{3}}{2} * \ln \left( \frac{S23}{S12} \right) \right) + I2 * \left( \frac{1}{2} * \ln \left( \frac{S26 * S24}{S25^2} \right) + i * \frac{\sqrt{3}}{2} * \ln \left( \frac{S24}{S26} \right) \right) \right] = 0.092i$$

$$|E2| = 0.092 \text{ V/m}$$

$$E1 + E2 + E3 = 0$$

### MÁXIMA TENSÃO INDUZIDA

$$350 * |E1| = 43.524 \text{ V}$$

$$350 * |E2| = 32.278 \text{ V}$$

$$350 * |E3| = 43.524 \text{ V}$$

## ANEXO II – TENSÃO INDUZIDA NA BLINDAGEM DURANTE CURTO CIRCUITO TRIFÁSICO NO CIRCUITO 1 E OUTRO CIRCUITO DESLIGADO

Frequência angular:	$\omega = 377 \text{ rad/s}$
Corrente do Circuito 01:	$I1 = 40000 \text{ A}$
Corrente do Circuito 02:	$I2 = 0 \text{ A}$
Raio médio da blindagem metálica:	$r_m = 40.16 \text{ mm}$

### SEÇÃO 01

Distância entre centros, Cabos 1 e 2:	$S12 = 190 \text{ mm}$
Distância entre centros, Cabos 1 e 3:	$S13 = 190 \text{ mm}$
Distância entre centros, Cabos 1 e 4:	$S14 = \sqrt{495^2 + 164,5^2} \text{ mm}$
Distância entre centros, Cabos 1 e 5:	$S15 = 400 \text{ mm}$
Distância entre centros, Cabos 1 e 6:	$S16 = 590 \text{ mm}$
Distância entre centros, Cabos 2 e 3:	$S23 = 190 \text{ mm}$
Distância entre centros, Cabos 2 e 4:	$S24 = \sqrt{305^2 + 164,5^2} \text{ mm}$
Distância entre centros, Cabos 2 e 5:	$S25 = 210 \text{ mm}$
Distância entre centros, Cabos 2 e 6:	$S26 = 400 \text{ mm}$
Distância entre centros, Cabos 3 e 4:	$S34 = 400 \text{ mm}$
Distância entre centros, Cabos 3 e 5:	$S35 = \sqrt{305^2 + 164,5^2} \text{ mm}$
Distância entre centros, Cabos 3 e 6:	$S36 = \sqrt{495^2 + 164,5^2} \text{ mm}$
Distância entre centros, Cabos 4 e 5:	$S45 = 190 \text{ mm}$
Distância entre centros, Cabos 4 e 6:	$S46 = 190 \text{ mm}$
Distância entre centros, Cabos 5 e 6:	$S56 = 190 \text{ mm}$

### TENSÃO INDUZIDA POR METRO – FASE 1

$$E1 = i * \omega * 2 * 10^{-7} * \left[ \begin{array}{l} I1 * \left( \frac{-1}{2} * \ln \left( \frac{S12^2}{r_m * S13} \right) + i * \frac{\sqrt{3}}{2} * \ln \left( \frac{2 * S13}{r_m} \right) \right) + \\ I2 * \left( \frac{-1}{2} * \ln \left( \frac{S15^2}{S16 * S14} \right) + i * \frac{\sqrt{3}}{2} * \ln \left( \frac{S14}{S16} \right) \right) \end{array} \right] = -5.87 - 2.344i$$

$$|E1| = 6.32 \text{ V/m}$$

## SEÇÃO 02

Distância entre centros, Cabos 1 e 2:	S12 = 190 mm
Distância entre centros, Cabos 1 e 3:	S13 = 190 mm
Distância entre centros, Cabos 1 e 4:	S14 = $\sqrt{495^2 + 164,5^2}$ mm
Distância entre centros, Cabos 1 e 5:	S15 = 400 mm
Distância entre centros, Cabos 1 e 6:	S16 = $\sqrt{305^2 + 164,5^2}$ mm
Distância entre centros, Cabos 2 e 3:	S23 = 190 mm
Distância entre centros, Cabos 2 e 4:	S24 = 590 mm
Distância entre centros, Cabos 2 e 5:	S25 = $\sqrt{495^2 + 164,5^2}$ mm
Distância entre centros, Cabos 2 e 6:	S26 = 400 mm
Distância entre centros, Cabos 3 e 4:	S34 = 400 mm
Distância entre centros, Cabos 3 e 5:	S35 = $\sqrt{305^2 + 164,5^2}$ mm
Distância entre centros, Cabos 3 e 6:	S36 = 210 mm
Distância entre centros, Cabos 4 e 5:	S45 = 190 mm
Distância entre centros, Cabos 4 e 6:	S46 = 190 mm
Distância entre centros, Cabos 5 e 6:	S56 = 190 mm

## TENSÃO INDUZIDA POR METRO – FASE 3

$$E3 = i * w * 2 * 10^{-7} * \left[ \begin{array}{l} I1 * \left( \frac{-1}{2} * \ln \left( \frac{S23^2}{rm * S13} \right) - i * \frac{\sqrt{3}}{2} * \ln \left( \frac{2 * S13}{rm} \right) \right) + \\ I2 * \left( \frac{-1}{2} * \ln \left( \frac{S35^2}{S34 * S36} \right) - i * \frac{\sqrt{3}}{2} * \ln \left( \frac{S36}{S34} \right) \right) \end{array} \right] = 5.87 - 2.344i$$

$$|E3| = 6.32 \text{ V/m}$$

### SEÇÃO 03

Distância entre centros, Cabos 1 e 2:	S12 = 190 mm
Distância entre centros, Cabos 1 e 3:	S13 = 190 mm
Distância entre centros, Cabos 1 e 4:	S14 = 210 mm
Distância entre centros, Cabos 1 e 5:	S15 = 400 mm
Distância entre centros, Cabos 1 e 6:	S16 = $\sqrt{305^2 + 164,5^2}$ mm
Distância entre centros, Cabos 2 e 3:	S23 = 190 mm
Distância entre centros, Cabos 2 e 4:	S24 = $\sqrt{305^2 + 164,5^2}$ mm
Distância entre centros, Cabos 2 e 5:	S25 = $\sqrt{495^2 + 164,5^2}$ mm
Distância entre centros, Cabos 2 e 6:	S26 = 400 mm
Distância entre centros, Cabos 3 e 4:	S34 = 400 mm
Distância entre centros, Cabos 3 e 5:	S35 = 590 mm
Distância entre centros, Cabos 3 e 6:	S36 = $\sqrt{495^2 + 164,5^2}$ mm
Distância entre centros, Cabos 4 e 5:	S45 = 190 mm
Distância entre centros, Cabos 4 e 6:	S46 = 190 mm
Distância entre centros, Cabos 5 e 6:	S56 = 190 mm

### TENSÃO INDUZIDA POR METRO – FASE 2

$$E2 = i * w * 2 * 10^{-7} * \left[ I1 * \left( \frac{-1}{2} * \ln \left( \frac{S12 * S23}{rm^2} \right) + i * \frac{\sqrt{3}}{2} * \ln \left( \frac{S23}{S12} \right) \right) + I2 * \left( \frac{1}{2} * \ln \left( \frac{S26 * S24}{S25^2} \right) + i * \frac{\sqrt{3}}{2} * \ln \left( \frac{S24}{S26} \right) \right) \right] = 4.687i$$

$$|E2| = 4.687 \text{ V/m}$$

$$E1 + E2 + E3 = 0$$

### MÁXIMA TENSÃO INDUZIDA

$$350 * |E1| = 2212 \text{ V}$$

$$350 * |E2| = 1641 \text{ V}$$

$$350 * |E3| = 2212 \text{ V}$$

0	EMISSÃO INICIAL	-	VSL	EKF	30/11/20					
Nº	DESCRIÇÃO	FEITO	VISTO	APROV.	DATA	APROV.	DATA			
		PROJETISTA				CLIENTE				
REVISÕES										
										
PROJ.	RSE CANINDE 1-2 (88/138kV)						VERIF.			
DES.							VISTO			
VERIF.	CURTO CIRCUITO						APROV.			
VISTO							DATA 30/11/20			
APROV.	ESC.	Nº CLIENTE	SEL/20.00043-008				FL.	REV.		
DATA	-	Nº PROJETISTA	EDS-606/008				1/6	0		

## ÍNDICE

1.	OBJETIVO .....	3
2.	DADOS ELÉTRICOS DO SISTEMA.....	3
3.	DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA .....	3
4.	CARACTERÍSTICAS DOS CABOS CONDUTORES .....	3
5.	CORRENTE DE CURTO CIRCUITO .....	3
6.	CONCLUSÕES.....	3
	ANEXO 1 – Cálculo das correntes de curto circuito.....	4

## 1. OBJETIVO

Apresentar os resultados dos cálculos de corrente de curto circuito realizados para as seções do condutor de fase e blindagens metálicas dos cabos isolados que serão instalados no RSE Canindé 1-2, de forma que atendam as solicitações do sistema elétrico da concessionária.

## 2. DADOS ELÉTRICOS DO SISTEMA

- Tensão nominal do sistema: 145 kV
- Tensão de operação: 138 kV
- Nível básico de isolamento: 650 kV
- Potência nominal em regime permanente por circuito: 120MVA em 88kV | 188MVA em 138kV
- Corrente de curto circuito trifásica: 40 kA
- Corrente de curto circuito fase-terra: 21 kA
- Tempo de duração do curto circuito para dimensionamento do cabo: 60 ciclos (1s)
- Frequência do sistema: 60 Hz
- Fator de carga: 0,61

## 3. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

- IEC 60949 – Calculation of thermally permissible short-circuit currents, taking into account non-adiabatic heating effects
- IEC 60287-1-1 – Electric cables – Calculation of the current rating – Part 1-1: Current rating equations (100% load factor) and calculation of losses – General
- Dados técnicos RSE Canindé

## 4. CARACTERÍSTICAS DOS CABOS CONDUTORES

Todos os cálculos foram feitos considerando o uso do cabo extrudado com condutor de fase de alumínio de seção 1200mm<sup>2</sup>, isolação a base de XLPE, blindagem metálica a fios de cobre e cobertura HDPE.

## 5. CORRENTE DE CURTO CIRCUITO

A corrente de curto circuito informada pela concessionária que os cabos devem suportar é de 40kA para curto circuito trifásico e 21KA para curto circuito monofásico, com duração de 60 ciclos (1 segundo).

O condutor de fase em alumínio com seção de 1200mm<sup>2</sup> suporta um valor de 113kA por um segundo.

A blindagem metálica é composta de fios de cobre e uma capa de alumínio APL.

A capa de alumínio APL tem 0,2mm de espessura, o que resulta numa seção de 51,94mm<sup>2</sup>.

Já os fios de cobre, possuem diâmetro de 1,43mm, o que resulta numa seção de 1,606mm<sup>2</sup> por cada fio.

Como o mesmo possui 93 fios, resulta numa seção de 149,36mm<sup>2</sup>.

A blindagem metálica suporta um valor de 29kA por um segundo.

As planilhas de cálculos estão no anexo 1.

## 6. CONCLUSÕES

Em relação às correntes de curto circuito, com base nos resultados foi visto que o condutor de fase e a blindagem metálica atendem plenamente as correntes de curto circuito solicitadas.

## ANEXO 1 - Cálculo das correntes de curto circuito

### DADOS DE ENTRADA

#### Dados elétricos do sistema:

Corrente de curto circuito monofásica

$$I_{ccm} = 21 \text{ kA}$$

Corrente de curto circuito trifásica

$$I_{cct} = 40 \text{ kA}$$

Tempo de duração do curto circuito

$$t = 1 \text{ s (60 ciclos)}$$

#### Condutor de alumínio:

Seção do condutor

$$S_c = 1200 \text{ mm}^2$$

Calor específico volumétrico do condutor, IEC 949, Tabela 1

$$\sigma_c = 2.5 * 10^6 \text{ J/m}^3 * K$$

Resistividade elétrica a 20°C do condutor, IEC 287-1-1, Tabela 1

$$\rho_c = 2.8264 * 10^{-8} \Omega * m$$

Temperatura inicial do condutor no curto circuito

$$\theta_{ic} = 90 \text{ }^\circ C$$

Temperatura final do condutor no curto circuito

$$\theta_{fc} = 250 \text{ }^\circ C$$

Coefficiente de temperatura de resistência do condutor a 0°C, IEC 949, Tabela 1

$$\beta_c = 228 \text{ K}$$

Constante do material do condutor

$$K_c = 148 \text{ As}^{\frac{1}{2}}/\text{mm}^2$$

#### Blindagem metálica a fios de cobre:

Seção de cada fio de cobre da blindagem

$$S_{bl} = 1.606 \text{ mm}^2$$

Número de fios da blindagem

$$n = 93$$

Temperatura inicial da blindagem no curto circuito

$$\theta_{ibl} = 80 \text{ }^\circ C$$

Temperatura final da blindagem no curto circuito

$$\theta_{fbl} = 218.09 \text{ }^\circ C$$

Coefficiente de temperatura de resistência da blindagem a fios a 0°C, IEC 949, Tabela 1

$$\beta_{bl} = 234.5 \text{ K}$$

Constante do material da blindagem a fios, IEC 949, Tabela 1

$$K_{bl} = 226 \text{ As}^{\frac{1}{2}}/\text{mm}^2$$

Calor específico volumétrico da capa metálica, IEC 949, Tabela 1

$$\sigma_{bl} = 3.45 * 10^6 \text{ J/m}^3 * K$$

Resistividade elétrica da capa metálica a 20°C

$$\rho_{bl} = 1.7241 * 10^{-8} \Omega * m$$

#### Capa metálica de alumínio laminada APL:

Seção da capa metálica

$$S_{cm} = 51.94 \text{ mm}^2$$

Temperatura inicial da capa metálica no curto circuito

$$\theta_{icm} = 80 \text{ }^\circ C$$

Temperatura final da capa metálica no curto circuito

$$\theta_{fcm} = 150 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Coefficiente de temperatura de resistência da capa metálica a 0°C, IEC 949, Tabela 1

$$\beta_{cm} = 228 \text{ K}$$

Constante do material da capa metálica, IEC 949, Tabela 1

$$K_{cm} = 148 \text{ As}^{\frac{1}{2}}/\text{mm}^2$$

Calor específico volumétrico da capa metálica, IEC 949, Tabela 1

$$\sigma_s = 2.5 * 10^6 \text{ J/m}^3 * \text{K}$$

Espessura da capa metálica

$$\delta = 0.2 \text{ mm}$$

Resistividade elétrica da capa metálica a 20°C

$$\rho_{cm} = 2.8264 * 10^{-8} \text{ } \Omega * \text{m}$$

#### **Materiais semicondutores a base de XLPE:**

Estão presentes sobre o condutor, sob a blindagem metálica e entre a blindagem metálica e a capa metálica.

Resistividade térmica do semicondutor, IEC 949, Tabela 2

$$\rho_i = 2.5 \text{ K} * \text{m/W}$$

Calor específico volumétrico do semicondutor, IEC 949, Tabela 2

$$\sigma_i = 2.4 * 10^6 \text{ J/m}^3 * \text{K}$$

#### **Cobertura HDPE:**

Resistividade térmica da cobertura, IEC 949, Tabela 2

$$\rho_h = 3.5 \text{ K} * \text{m/W}$$

Calor específico volumétrico da cobertura, IEC 949, Tabela 2

$$\sigma_h = 2.4 * 10^6 \text{ J/m}^3 * \text{K}$$

#### **Cálculo de corrente de curto circuito adiabática no condutor:**

$$I_{ad} = \sqrt{\frac{Kc^2 * Sc^2 * \ln\left(\frac{\theta_{fc} + \beta_c}{\theta_{ic} + \beta_c}\right)}{t}} = 113381 \text{ A}$$

#### **Cálculo de corrente de curto circuito nas proteções metálicas:**

$$I_{adcm} = \sqrt{\frac{Kcm^2 * Scm^2 * \ln\left(\frac{\theta_{fcm} + \beta_{cm}}{\theta_{icm} + \beta_{cm}}\right)}{t}} = 3479 \text{ A}$$

#### **Fator de contato térmico entre a capa metálica e os materiais ao redor:**

$$F_{cm} = 0.7$$

#### **Fator de corrente não adiabática da capa metálica:**

$$M = \frac{\left(\sqrt{\frac{\sigma_i}{\rho_i}} + \sqrt{\frac{\sigma_h}{\rho_h}}\right) * F_{cm}}{2 * \theta_s * \delta * 10^{-3}} = 1.266$$

$$\epsilon_{cm} = 1 + 0.61 * M * \sqrt{t} - 0.069 * (M * \sqrt{t})^2 + 0.0043 * (M * t)^3 = 1.67$$

#### **Corrente não adiabática na capa metálica:**

Como a capa metálica e a blindagem a fios de cobre são interligados no aterramento, as mesmas estão em paralelo.

$$I_{cm} = \varepsilon_{cm} * I_{adcm} = 5810 A$$

**Resistência elétrica da capa metálica a temperatura final de curto circuito:**

$$R_{cm} = \frac{\rho_{cm}}{S_{cm} * 10^{-6}} * 1.05 * \left( \frac{\beta_{cm} + \theta_{fcm}}{\beta_{cm} + 20} \right) = 8.709 * 10^{-4} \Omega/m$$

Logo:

$$R_{cm} * I_{cm} = 5.06 V$$

**Cálculo pelo método iterativo:**

Devem-se adotar valores para a temperatura final de curto circuito de modo que a relação  $R_{cm} * I_{cm} = R_{bl} * I_{bl}$  seja satisfeita.

$$\text{Resultado: } \theta_{fbl} = 218.09 ^\circ C$$

**Resistência elétrica da blindagem metálica a temperatura final de curto circuito:**

$$R_{bl} = \frac{\rho_{bl}}{S_{bl} * 10^{-6}} * 1.05 * \left( \frac{\beta_{bl} + \theta_{fbl}}{\beta_{bl} + 20} \right) = 2.155 * 10^{-4} \Omega/m$$

**Fator de contato térmico entre a capa metálica e os materiais ao redor:**

$$F_{bl} = 0.5$$

**Constantes empíricas baseadas nas propriedades térmicas dos materiais ao redor:**

$$A_{bl} = \frac{2464}{\sigma_{bl}} * \sqrt{\frac{\sigma_i}{\rho_i}} = 0.7 (mm^2/s)^2$$

$$B_{bl} = \frac{1.22}{\sigma_{bl}} * \frac{\sigma_i}{\rho_i} = 0.339 mm^2/s$$

**Fator de corrente não adiabática da blindagem metálica:**

$$\varepsilon_{bl} = \sqrt{1 + F_{bl} * A_{bl} * \sqrt{\frac{t}{S_{bl}}} + F_{bl}^2 * B_{bl} * \frac{t}{S_{bl}}} = 1.1528$$

**Corrente não adiabática na blindagem metálica:**

$$I_{bl} = \varepsilon_{bl} * n * K_{bl} * S_{bl} * \sqrt{\ln \left( \frac{\theta_{fbl} + \beta_{bl}}{\theta_{ibl} + \beta_{bl}} \right)} = 23477 A$$

$$R_{bl} * I_{bl} = 5.06 V$$

**Corrente de curto circuito total das proteções metálicas:**

$$I_p = I_{bl} + I_{cm} = 29287 A$$



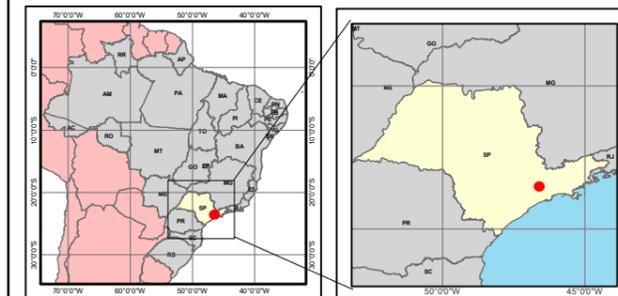
---

## **Anexo 14 – Mapa de Bens Tombados**

---



- LEGENDA:**
- Sítio Arqueológico
  - RSE Canindé
  - Área de Influência Direta (AID - Buffer de 250m)
  - Área de Influência Indireta (AII)
  - - - Limite das Subprefeitura



ESCALA: 1:30.000

0 0,15 0,3 0,6 0,9 1,2 1,5 Km

Universal Transversa de Mercator - SIRGAS 2000 23S

**FIGURA:**  
**MAPA SÍTIOS ARQUEOLÓGICOS NAS ÁREAS DE INFLUÊNCIAS DO RSE CANINDÉ**



CLIENTE:



PROJETO:

**RSE CANINDÉ**  
**Estudo de Viabilidade Ambiental – EVA**

Nº JGP: 5.1.1.b

DATA: 08/01/2021

REVISÃO:

RESPONSÁVEL:

Sítio Arqueológico	Tipologia	Localização	X	Y
Casa do Tatuapé	Sítio Histórico	Subprefeitura da Mooca	338.474	7.396.549

**FONTE:**  
 Sítio arqueológico: Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN).  
**BASE:**  
 Imagem Geoeye obtida através do Basemap do Arogis.

---

**Anexo 15 – IPHAN**

---

# Pesquisa Processual

Autuação	
Processo:	01506.000069/2021-48
Tipo:	LICENCIAMENTO AMBIENTAL – IN nº 001/2015
Data de Registro:	18/01/2021
Interessados:	



---

**Anexo 16 – Anotações de Responsabilidade Técnica – ART's**

---



Anotação de Responsabilidade Técnica - ART  
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977

Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Estado de São Paulo

CREA-SP

ART de Obra ou Serviço  
28027230210030507

Complementar - detalhamento de atividades técnicas à  
28027230201243701

Equipe-vinculada à 28027230201243701

1. Responsável Técnico

**GUILHERME ALBA PEREIRA BARCO**

Título Profissional: Engenheiro Químico

Empresa Contratada: JGP CONSULTORIA E PARTICIPAÇÕES LTDA

RNP: 2601539011

Registro: 5061502386-SP

Registro: 0441515-SP

2. Dados do Contrato

Contratante: ELETROPAULO METROPOLITANA ELETRICIDADE DE SÃO PAULO S.A

CPF/CNPJ: 61.695.227/0001-93

Endereço: Avenida MARCOS PENTEADO DE ULHÔA RODRIGUES

Nº: 939

Complemento: LOJAS 1 E 2 (TÉRREO), 1º AO 7º ANDAR, TORRE II DO  
CONDOMÍNIO CASTELO BRANCO OFFICE PARK

Bairro: TAMBORÉ

Cidade: Barueri

UF: SP

CEP: 06460-040

Contrato: 4600002690

Celebrado em: 13/07/2020

Vinculada à Art nº:

Valor: R\$ 3.322.332,16

Tipo de Contratante: Pessoa Jurídica de Direito Privado

Ação Institucional:

3. Dados da Obra Serviço

Endereço: Avenida MARCOS PENTEADO DE ULHÔA RODRIGUES

Nº: 939

Complemento: LOJAS 1 E 2 (TÉRREO), 1º AO 7º ANDAR, TORRE II DO CONDOMÍNIO  
CASTELO BRANCO OFFICE PARK

Bairro: TAMBORÉ

Cidade: Barueri

UF: SP

CEP: 06460-040

Data de Início: 03/12/2020

Previsão de Término: 31/12/2021

Coordenadas Geográficas:

Finalidade: Ambiental

Código:

Proprietário: ELETROPAULO METROPOLITANA ELETRICIDADE DE SÃO PAULO S.A.,

CPF/CNPJ: 61.695.227/0001-93

4. Atividade Técnica

Coordenação	Quantidade	Unidade
1	300,00000	metro
Coordenação		
Estudo Ambiental		
Após a conclusão das atividades técnicas o profissional deverá proceder a baixa desta ART		

5. Observações

Coordenação das atividades, estudos e equipes envolvidas na elaboração do Estudo de Viabilidade Ambiental (EVA) para o Ramal Subterrâneo de Estação (RSE) Canindé, localizado entre a Rua Pedro Vicente as imediações do Shopping D, município de São Paulo, SP

6. Declarações

Acessibilidade: Declaro que as regras de acessibilidade previstas nas normas técnicas da ABNT, na legislação específica e no Decreto nº 5.296, de 2 de dezembro de 2004, não se aplicam às atividades profissionais acima relacionadas.

7. Entidade de Classe

0-NÃO DESTINADA

8. Assinaturas

Declaro serem verdadeiras as informações acima

\_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_  
Local data

GUILHERME ALBA PEREIRA BARCO - CPF: 279.473.798-82

ELETROPAULO METROPOLITANA ELETRICIDADE DE SÃO PAULO S.A -  
CPF/CNPJ: 61.695.227/0001-93

Valor ART R\$ 88,78

Registrada em: 08/01/2021

Valor Pago R\$ 88,78

Impresso em: 09/01/2021 23:56:27

9. Informações

- A presente ART encontra-se devidamente quitada conforme dados constantes no rodapé-versão do sistema, certificada pelo *Nosso Número*.

- A autenticidade deste documento pode ser verificada no site [www.creasp.org.br](http://www.creasp.org.br) ou [www.confea.org.br](http://www.confea.org.br)

- A guarda da via assinada da ART será de responsabilidade do profissional e do contratante com o objetivo de documentar o vínculo contratual.

[www.creasp.org.br](http://www.creasp.org.br)

Tel: 0800 17 18 11

E-mail: [acessar link](mailto:acessarlink@creasp.org.br) Fale Conosco do site acima



Nosso Numero: 28027230210030507

Versão do sistema

**INSTRUÇÕES:**

**CREASP: 5061502386**

**Imprimir e anexar o respectivo extrato de receita a este boleto.**

**BOLETOS EMITIDOS APOS AS 22H, PAGAR APOS AS 8H DO DIA UTIL SEGUINTE.**

**A quitacao do titulo ocorrera apos a compensacao bancaria.**

**Deposito/transferecia nao serao aceitos para quitacao.**

**Pagamento a menor implica inadimplencia.**

**Nao pagar apos o vencimento.**

**Clique aqui e pague este boleto através do Auto Atendimento Pessoa Física.**

**Clique aqui e pague este boleto através do Auto Atendimento Pessoa Jurídica.**

Recibo do Pagador

**BANCO DO BRASIL** | 001-9 | 00190.00009 02802.718029 10067.169176 9 85030000008878

Nome do Pagador/CPF/CNPJ/Endereço GUILHERME ALBA PEREIRA BARCO CPF/CNPJ: 279.473.798-82 RUA AMERICO BRASILIENSE 00615 CH SANTO, SAO PAULO -SP CEP:04715003 Sacador/Avalista				
Noosso-Número 28027180210067169	Nr. Documento 28027180210067169	Data de Vencimento 17/01/2021	Valor do Documento 88,78	(=) Valor Pago
Nome do Beneficiário/CPF/CNPJ/Endereço CONSELHO REG DE ENGENHARIA E AGRONO DO E CPF/CNPJ: 60.985.017/0001-77 AV BRIGADEIRO FARIA LIMA 1059 , SAO PAULO - SP CEP: 1452002				
Agência/Código do Beneficiário 1897-0 / 70824-0			Autenticação Mecânica	

**BANCO DO BRASIL** | 001-9 | 00190.00009 02802.718029 10067.169176 9 85030000008878

Local de Pagamento <b>PAGÁVEL EM QUALQUER BANCO ATÉ O VENCIMENTO</b>					Data de Vencimento 17/01/2021
Nome do Beneficiário/CPF/CNPJ CONSELHO REG DE ENGENHARIA E AGRONO DO E CPF/CNPJ: 60.985.017/0001-77					Agência/Código do Beneficiário 1897-0 / 70824-0
Data do Documento 08/01/2021	Nr. Documento 28027180210067169	Espécie DOC DS	Aceite N	Data do Processamento 08/01/2021	Nosso-Número 28027180210067169
Uso do Banco 28027180210067169	Carteira 17	Espécie R\$	Quantidade	xValor	(=) Valor do Documento 88,78
Informações de Responsabilidade do Beneficiário CREASP: 5061502386 Imprimir e anexar o respectivo extrato de receita a este boleto. BOLETOS EMITIDOS APOS AS 22H, PAGAR APOS AS 8H DO DIA UTIL SEGUINTE. A quitacao do titulo ocorrera apos a compensacao bancaria. Deposito/transferecia nao serao aceitos para quitacao. Pagamento a menor implica inadimplencia. Nao pagar apos o vencimento.					(-) Desconto/Abatimento
					(+) Juros/Multa
					(=) Valor Cobrado

Nome do Pagador/CPF/CNPJ/Endereço GUILHERME ALBA PEREIRA BARCO CPF/CNPJ: 279.473.798-82 RUA AMERICO BRASILIENSE 00615 CH SANTO, SAO PAULO-SP CEP:04715003					Código de Baixa
Sacador/Avalista					Autenticação Mecânica - Ficha de Compensação



**Recomendamos a impressão desse Comprovante.**  
Para tanto, utilize a opção de impressão de seu browser.



**Comprovante de Pagamento**  
**Boleto de Cobrança**  
**Data: 08/01/2021**

**Nome do Banco Destinatário:** *BANCO DO BRASIL S.A.*  
**Número de Identificação:** *00190.00009 02802.718029 10067.169176 9 85030000008878*  
**Razão Social Beneficiário:** *CONSELHO REG DE ENGENHARIA E AGRONO DO E*  
**Nome Beneficiário:** *CONSELHO REG DE ENGENHARIA E AGRONO DO E*  
**CPF/CNPJ Beneficiário:** *060.985.017/0001-77*  
**Razão Social Sacador Avalista:**  
**CNPJ/CPF Sacador Avalista:**  
**Instituição Receptora:** *237*  
**Nome Pagador:** *GUILHERME ALBA PEREIRA BARCO*  
**CPF/CNPJ Pagador:** *279.473.798-82*  
**Data de Vencimento:** *17/01/2021*  
**Valor:** *88,78* **Multa:** *0,00*  
**Desconto:** *0,00* **Juros:** *0,00*  
**Abatimento:** *0,00* **Valor do Pagamento:** *88,78*  
**Bonificação:** *0,00*  
**Data do Pagamento:** *08/01/2021* **Hora:** *22:48:23*  
**Descrição do Pagamento:** *Art barco rse Canindé*  
**Debitado da:** *Conta Fácil*

**A transação acima foi realizada através do(a) BRADESCO CELULAR, dentro das condições especificadas.**

**O lançamento consta no extrato do(a) cliente ROSENI APARECIDA DE OLIVEIRA CARVALHO, CPF 266.400.518-93, Agência 516 - Conta 83223, da data de pagamento, sob o número de protocolo 0001253.**

**Banco Bradesco S.A.**  
<http://www.bradesco.com.br>

### AUTENTICAÇÃO

g783PG5J u4?YzFfD 2oY55Q@2 gxDtVsVv TMeTiK44 6DEBy2Kq TsxCh#rS 4eigzldh  
Xh@mOWw4 8NQ79Sxv tz7Bi3WF ?lvqTSZc 7hIbQrSN UHTcn#P2 Yd3KXBEI KmsQ#5an  
iG@l7cmf b#S@hq#@ lLKn?foJ @lC5BQ9v e8HQ?YqG 4XMSBv5g 88311201 02750090



Anotação de Responsabilidade Técnica - ART  
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977

Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Estado de São Paulo

CREA-SP

ART de Obra ou Serviço  
28027230210030511

Complementar - detalhamento de atividades técnicas à  
28027230201277924

Equipe-vinculada à 28027230201277924

1. Responsável Técnico

**FERNANDO WILLIAM KA HENG MO**

Título Profissional: Engenheiro Ambiental

RNP: 2611349649

Registro: 5068918349-SP

Empresa Contratada: JGP CONSULTORIA E PARTICIPAÇÕES LTDA

Registro: 0441515-SP

2. Dados do Contrato

Contratante: ELETROPAULO METROPOLITANA ELETRICIDADE DE SÃO PAULO S.A.,

CPF/CNPJ: 61.695.227/0001-93

Endereço: Avenida MARCOS PENTEADO DE ULHÔA RODRIGUES

Nº: 939

Complemento: LOJAS 1 E 2 (TÉRREO), 1º AO 7º ANDAR, TORRE II DO  
CONDOMÍNIO CASTELO BRANCO OFFICE PARK

Bairro: TAMBORÉ

Cidade: Barueri

UF: SP

CEP: 06460-040

Contrato: 4600002690

Celebrado em: 13/07/2020

Vinculada à Art nº:

Valor: R\$ 3.322.332,16

Tipo de Contratante: Pessoa Jurídica de Direito Privado

Ação Institucional:

3. Dados da Obra Serviço

Endereço: Rua AMÉRICO BRASILENSE

Nº: 615

Complemento:

Bairro: CHÁCARA SANTO ANTÔNIO (ZONA SUL)

Cidade: São Paulo

UF: SP

CEP: 04715-003

Data de Início: 03/12/2020

Previsão de Término: 31/12/2021

Coordenadas Geográficas:

Finalidade: Ambiental

Código:

Proprietário: ELETROPAULO METROPOLITANA ELETRICIDADE DE SÃO PAULO S.A

CPF/CNPJ: 61.695.227/0001-93

4. Atividade Técnica

			Quantidade	Unidade
<b>Coordenação</b>				
1	Coordenação	Estudo Ambiental	300,00000	metro
Após a conclusão das atividades técnicas o profissional deverá proceder a baixa desta ART				

5. Observações

Co-Coordenação das atividades, estudos e equipes envolvidas na elaboração do Estudo de Viabilidade Ambiental (EVA) para o Ramal Subterrâneo de Estação (RSE) Canindé, localizado entre a Rua Pedro Vicente as imediações do Shopping D, município de São Paulo, SP

6. Declarações

**Acessibilidade:** Declaro que as regras de acessibilidade previstas nas normas técnicas da ABNT, na legislação específica e no Decreto nº 5.296, de 2 de dezembro de 2004, não se aplicam às atividades profissionais acima relacionadas.

7. Entidade de Classe

0-NÃO DESTINADA

8. Assinaturas

Declaro serem verdadeiras as informações acima

\_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_  
Local data

FERNANDO WILLIAM KÁ HENG MO - CPF: 369.806.718-80

ELETROPAULO METROPOLITANA ELETRICIDADE DE SÃO PAULO S.A., -  
CPF/CNPJ: 61.695.227/0001-93

9. Informações

- A presente ART encontra-se devidamente quitada conforme dados constantes no rodapé-versão do sistema, certificada pelo *Nosso Número*.

- A autenticidade deste documento pode ser verificada no site [www.creasp.org.br](http://www.creasp.org.br) ou [www.confea.org.br](http://www.confea.org.br)

- A guarda da via assinada da ART será de responsabilidade do profissional e do contratante com o objetivo de documentar o vínculo contratual.

[www.creasp.org.br](http://www.creasp.org.br)

Tel: 0800 17 18 11

E-mail: acessar link Fale Conosco do site acima



Valor ART R\$ 88,78

Registrada em: 08/01/2021

Valor Pago R\$ 88,78

Nosso Numero: 28027230210030511

Versão do sistema

Impresso em: 09/01/2021 23:57:21

**INSTRUÇÕES:**

**CREASP: 5068918349**

**Imprimir e anexar o respectivo extrato de receita a este boleto.**

**BOLETOS EMITIDOS APOS AS 22H, PAGAR APOS AS 8H DO DIA UTIL SEGUINTE.**

**A quitacao do titulo ocorrera apos a compensacao bancaria.**

**Deposito/transferecia nao serao aceitos para quitacao.**

**Pagamento a menor implica inadimplencia.**

**Nao pagar apos o vencimento.**

**Clique aqui e pague este boleto através do Auto Atendimento Pessoa Física.**

**Clique aqui e pague este boleto através do Auto Atendimento Pessoa Jurídica.**

Recibo do Pagador

**BANCO DO BRASIL** | 001-9 | 00190.00009 02802.718029 10067.177179 1 85030000008878

Nome do Pagador/CPF/CNPJ/Endereço				
FERNANDO WILLIAM KA HENG MO CPF/CNPJ: 369.806.718-80				
RUA SAO BENEDITO 1325 SANTO AMARO, SAO PAULO -SP CEP:04735003				
Sacador/Avalista				
No. Documento	Nr. Documento	Data de Vencimento	Valor do Documento	(=) Valor Pago
28027180210067177	28027180210067177	17/01/2021	88,78	
Nome do Beneficiário/CPF/CNPJ/Endereço				
CONSELHO REG DE ENGENHARIA E AGRONO DO E CPF/CNPJ: 60.985.017/0001-77				
AV BRIGADEIRO FARIA LIMA 1059 , SAO PAULO - SP CEP: 1452002				
Agência/Código do Beneficiário			Autenticação Mecânica	
1897-0 / 70824-0				

**BANCO DO BRASIL** | 001-9 | 00190.00009 02802.718029 10067.177179 1 85030000008878

Local de Pagamento					Data de Vencimento	
<b>PAGÁVEL EM QUALQUER BANCO ATÉ O VENCIMENTO</b>					17/01/2021	
Nome do Beneficiário/CPF/CNPJ					Agência/Código do Beneficiário	
CONSELHO REG DE ENGENHARIA E AGRONO DO E CPF/CNPJ: 60.985.017/0001-77					1897-0 / 70824-0	
Data do Documento	Nr. Documento	Espécie DOC	Aceite	Data do Processamento	Nosso Número	
08/01/2021	28027180210067177	DS	N	08/01/2021	28027180210067177	
Uso do Banco	Carteira	Espécie	Quantidade	xValor	(=) Valor do Documento	
28027180210067177	17	R\$			88,78	
Informações de Responsabilidade do Beneficiário					(-) Desconto/Abatimento	
CREASP: 5068918349 Imprimir e anexar o respectivo extrato de receita a este boleto. BOLETOS EMITIDOS APOS AS 22H, PAGAR APOS AS 8H DO DIA UTIL SEGUINTE.						
A quitacao do titulo ocorrera apos a compensacao bancaria. Deposito/transferecia nao serao aceitos para quitacao. Pagamento a menor implica inadimplencia. Nao pagar apos o vencimento.					(+ Juros/Multa	
					(-) Valor Cobrado	

Nome do Pagador/CPF/CNPJ/Endereço					Código de Baixa	
FERNANDO WILLIAM KA HENG MO CPF/CNPJ: 369.806.718-80						
RUA SAO BENEDITO 1325 SANTO AMARO, SAO PAULO-SP CEP:04735003					Autenticação Mecânica -	
Sacador/Avalista					Ficha de Compensação	



**Recomendamos a impressão desse Comprovante.**  
Para tanto, utilize a opção de impressão de seu browser.



**Comprovante de Pagamento**  
**Boleto de Cobrança**  
**Data: 08/01/2021**

**Nome do Banco Destinatário:** *BANCO DO BRASIL S.A.*  
**Número de Identificação:** *00190.00009 02802.718029 10067.177179 1 85030000008878*  
**Razão Social Beneficiário:** *CONSELHO REG DE ENGENHARIA E AGRONO DO E*  
**Nome Beneficiário:** *CONSELHO REG DE ENGENHARIA E AGRONO DO E*  
**CPF/CNPJ Beneficiário:** *060.985.017/0001-77*  
**Razão Social Sacador Avalista:**  
**CNPJ/CPF Sacador Avalista:**  
**Instituição Receptora:** *237*  
**Nome Pagador:** *FERNANDO WILLIAM KA HENG MO*  
**CPF/CNPJ Pagador:** *369.806.718-80*  
**Data de Vencimento:** *17/01/2021*  
**Valor:** *88,78* **Multa:** *0,00*  
**Desconto:** *0,00* **Juros:** *0,00*  
**Abatimento:** *0,00* **Valor do Pagamento:** *88,78*  
**Bonificação:** *0,00*  
**Data do Pagamento:** *08/01/2021* **Hora:** *22:50:15*  
**Descrição do Pagamento:** *Art fernando rse Canindé*  
**Debitado da:** *Conta Fácil*

**A transação acima foi realizada através do(a) BRADESCO CELULAR, dentro das condições especificadas.**

**O lançamento consta no extrato do(a) cliente ROSENI APARECIDA DE OLIVEIRA CARVALHO, CPF 266.400.518-93, Agência 516 - Conta 83223, da data de pagamento, sob o número de protocolo 0001254.**

**Banco Bradesco S.A.**  
<http://www.bradesco.com.br>

### AUTENTICAÇÃO

Wu4x4CHD ZWYjjYVQ bKk9x32I 7WwYJNoV 2@v4vd38 VZDoTGFX UefMMpIH 2@M236mO  
QOoqsRp4 m5nLE83C 6E5OSv6Y uxqieHlT Ds2lrPi6 sQ2ODiBA FQuDD\*#6 KUBZfEQk  
KQht9cTn 4vQJBixT 3Sr8mLLQ TQuCqeJ\* ESPONknN 8poSAQGw 88411201 02750090