ENGENHARIA ELÉTRICA

RESPONSÁVEL TÉCNICO: SAMUEL FERNANDES

IPATINGA, 2025

SONDAGEM GEOLÉTRICA

Sumário

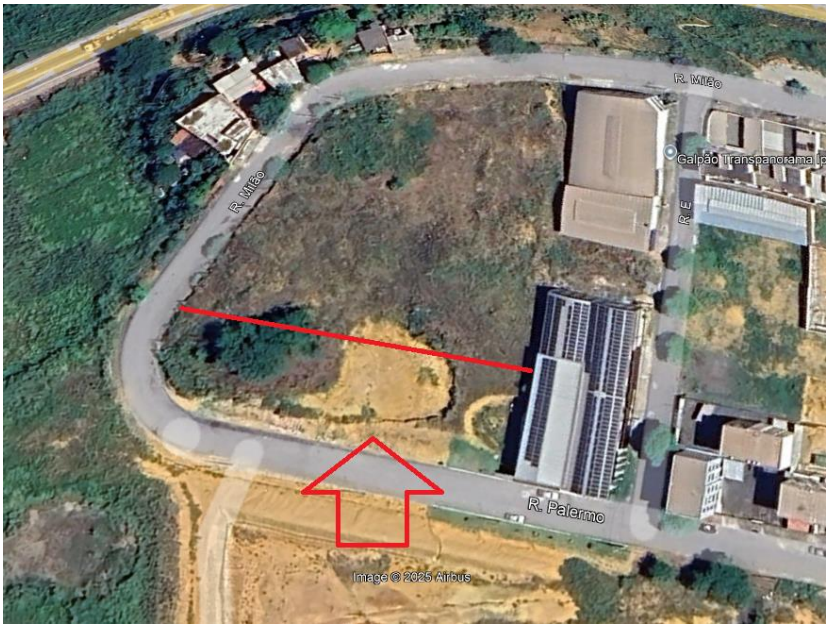
1. INTRODUÇÃO 3
2. NORMAS APLICÁVEIS 4
3. INSTRUMENTO E MÉTODOS 4
3.1. INSTRUMENTO UTILIZADO 4
3.2. METODOLOGIA APLICADA 5
3.3. CARACTERÍSTICA DO LOCAL 7
3.4. VALORES MEDIDOS 11
4. ANÁLISE DE DADOS 15
5. CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DO TERRÔMETRO 20
6. CONCLUSÃO 22

1. INTRODUÇÃO

O presente laudo de Sondagem Geolétrica iniciou-se pelo processo de medição da resistência realizada no dia 31/03/2025 no empreendimento localizado na rua Palermo n°55, Parque Veneza 35179-000, Santana do Paraíso/MG, de posse do Consócio Intermunicipal de Saúde da Microrregião do Vale do Aço. A medição de sondagem Geolétrica é necessário em projetos de subestação elétrica e sistema de proteção contra descarga atmosférica com nível de proteção I e II.

Para a execução das medições, foi utilizado um Terrômetro Digital Megabrás, modelo MTD20KWe de quatro hastes, instrumento devidamente calibrado e adequado para aferir a resistência de aterramento. A metodologia adotada seguiu as normas técnicas aplicáveis da NBR 7117/2020, método de medição Wenner

Figura 01: Local do laudo de aterramento.



Fonte: Responsável técnico

2. NORMAS APLICÁVEIS

- ABNT NBR 5410, Instalações elétricas de baixa tensão;
- ABNT NBR 7117-1:2020, Parâmetros do solo para projetos de aterramentos elétricos - Parte 1: Medição da resistividade e modelagem geoelétrica;
- ABNT NBR 5419-2:2015, Proteção contra descargas atmosféricas – Parte 2: Gerenciamento de risco;
- ABNT NBR 5419-3:2015, Proteção contra descargas atmosféricas – Parte 3: Danos físicos a estruturas e perigos à vida;
- ABNT NBR 5419-4:2015, Proteção contra descargas atmosféricas – Parte 4: Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura;
- ABNT NBR 6323, Galvanização de produtos de aço ou ferro fundido – Especificação;
- ABNT NBR 13571, Haste de aterramento aço-cobreado e acessórios;
- ABNT NBR IEC 60079-10-1, Atmosferas explosivas – Parte 10-1: Classificação de áreas – Atmosferas explosivas de gás;
- ABNT NBR IEC 60079-10-2, Atmosferas explosivas – Parte 10-2: Classificação de áreas – Atmosferas de poeiras combustíveis;
- ABNT NBR IEC 60079-14, Atmosferas explosivas – Parte 14: Projeto, seleção e montagem de instalações elétricas;
- ABNT NBR 15749: 2009, Medição de resistência de aterramento e de potenciais na superfície do solo em sistemas de aterramento.

3. INSTRUMENTO E MÉTODOS

3.1. INSTRUMENTO UTILIZADO

O Terrômetro utilizado nessa sondagem foi o MTD20KWe da Megabrás.

Os medidores de resistência de terra, série MTD são instrumentos portáteis com display digital e de construção muito robusta, especiais para medição de aterramento no campo. Devido a sua grande precisão e seus filtros supressores de tensões parasitas, é possível efetuar medições muito exatas. Os terrômetros do tipo 4 bornes, além das medições de resistência de aterramento acima, também mede a resistividade específica do solo (métodos werner, lee, schumberguer).

Características Técnicas:

Alimentação por baterias recarregáveis internas

Display LCD

4 estacas tipo Cooperweld

4 faixas de medição: 0-20/200/2000/20kohms

Corpo do equipamento embutido em uma maleta

Resistente e durável

Figura 02: Terrômetro MTD20KWe



Fonte: Responsável técnico

3.2. METODOLOGIA APLICADA

Para esta configuração, os quatro eletrodos colocam-se em linha reta, com igual afastamento e profundidade de penetração no terreno. O método de medição

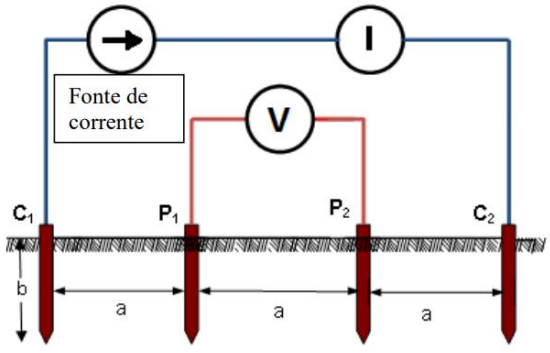
baseia-se na equação desenvolvida pelo Dr. Frank Wenner, onde os eletrodos 1 e 4 (externos) utilizam-se para injetar a corrente e os eletrodos 2 e 3 (centrais) servem para medir a diferença de potencial, que, ao ser dividida pela corrente injetada, apresenta um valor de resistência R.

A resistividade é determinada mediante a seguinte equação:

$$\rho = \frac{4\pi\ a\,R}{\left[1+\left[\frac{2a}{(a^{\ 2}+4b^2)^{0.5}}\right]-\frac{2a}{(4a^{\ 2}+4b^2)^{0.5}}\right]}$$

Onde:

ρ: Resistividade aparente do terreno (Ω – m)
R: Resistência medida (Ω)
a: Distância entre eletrodos (m)
b: Profundidade de penetração dos eletrodos (m)



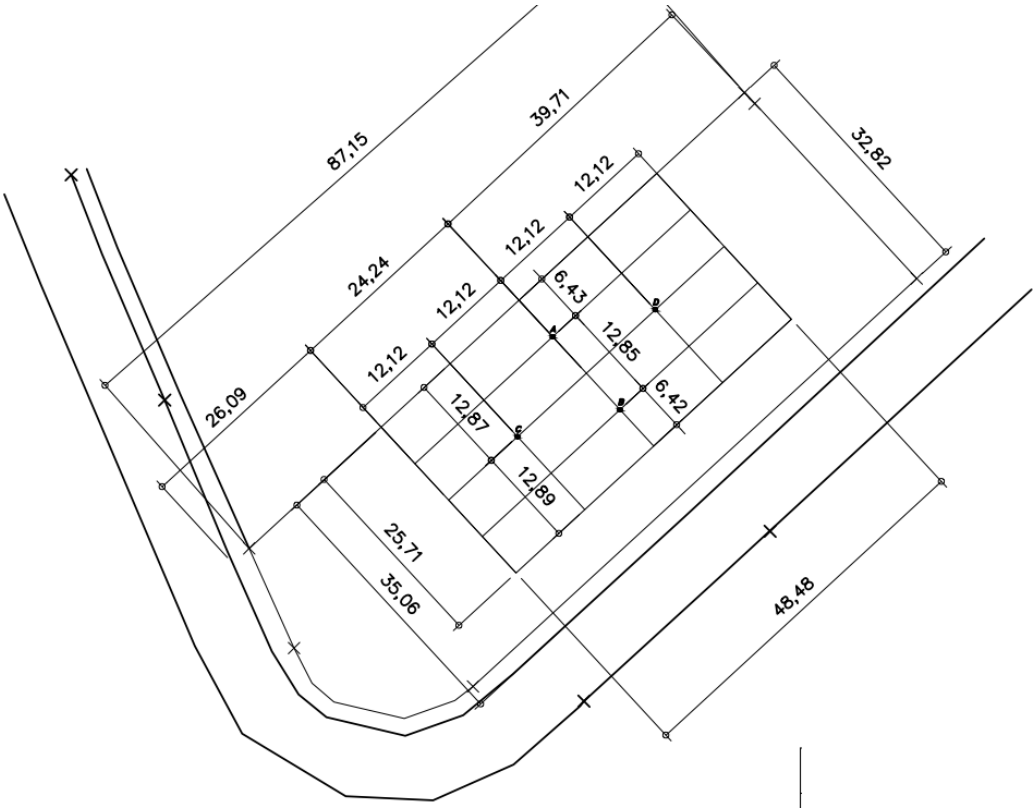
1. **Planejamento e identificação dos pontos de medição**: Os pontos de medição foram divididos em linhas verticais e horizontais de modo a percorrer toda a área que será construído o empreendimento.
2. **Preparação do local**: Verificação das condições do local, garantindo que estivessem acessíveis e limpos para a realização das medições.

3. **Configuração do Terrômetro Digital**: Ajuste do instrumento para a escala adequada, considerando os valores esperados de resistência.
4. **Execução das medições**: Em cada ponto, foi realizada a conexão dos cabos do instrumento, seguindo o método de medição Wenner, com espaçamentos de 1m, 2m, 4m e 8 metros.
5. **Registro dos dados**: Os valores medidos foram registrados e serção apresentados nesse relatório técnico.
6. **Interpretação dos Dados:** Para tratamento e interpretação dos dados foram utilizadas uma planilha para eliminação dos Outliers segundo os critérios da NBR 7117-2020, e para a realização de inversão de dados estamos utilizando o software IPI2WIN, que faz inversões para inúmeras camadas.
7. Elaboração do Relatório Técnico.

3.3. CARACTERÍSTICA DO LOCAL

A área em que o empreendimento será construído possui área de 1200m², ver imagem abaixo.

Figura 03: Foto da área do empreendimento



Fonte: Responsável técnico

O terreno como um todo apresenta área aproximada de 4000m², mas as medições se concentraram na área da construção da unidade onde o aterramento deverá se executado.

O terreno foi demarcado de acordo com a necessidade de linhas SEV, e conforme as recomendações do método de Wenner. Abaixo está demonstrada as linhas realizadas. Nos pontos A e B as medições foram realizadas na horizontal, nos pontos C e D as medições foram realizadas na vertical.

Para isso seguimos os procedimentos do item 5.3.3 Condições básicas a serem observadas nas sondagens elétricas verticais, da NBR 7117-1:2020.

Figura 04: Pontos de Medição



Fonte: Responsável técnico

VÉRTICE	LATITUDE (S)	LONGITUDE (W)
A – Medição na Horizontal	19°27'29.31"	42°31'26.69"
B – Medição na Horizontal	19°27'29.57"	42°31'26.62"
C – Medição na Vertical	19°27'29.64"	42°31'26.82"
D – Medição na Vertical	19°27'29.18"	42°31'26.18"

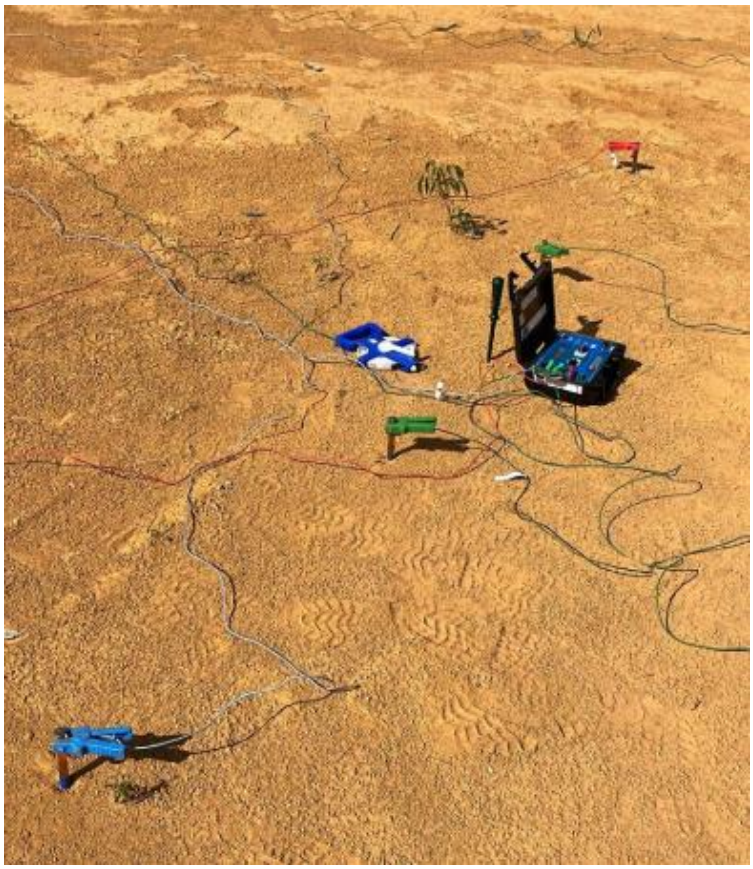
Data da Análise: 31/03/2025

Temp. Ambiente: 35.6°C

Umidade relativa do ar: 34%

Abaixo uma imagem do procedimento:

Figura 04: Procedimento de Medição



Fonte: Responsável técnico

3.4. VALORES MEDIDOS

Figura 05: Medição da Linha A Horizontal

1 METRO	2 METROS
	
Foto 01	Foto 02

4 METROS	8 METROS
	
Foto 03	Foto 04

Fonte: Responsável técnico

Figura 06: Medição da Linha B Horizontal

1 METRO	2 METROS
	
Foto 01	Foto 02
4 METROS	**8 METROS**
	
Foto 03	Foto 04

Fonte: Responsável técnico

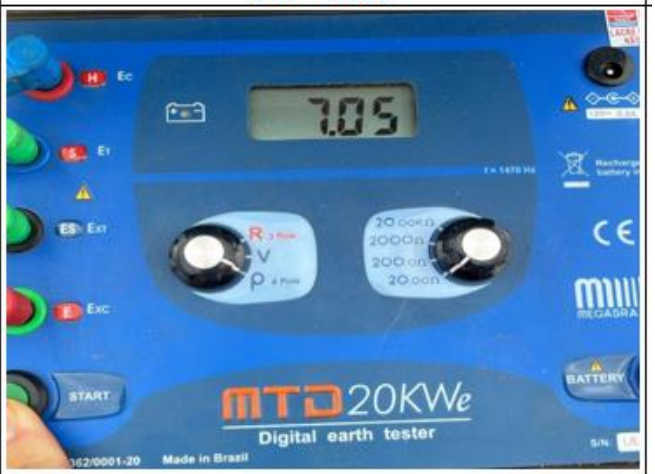
Figura 07: Medição da Linha C Vertical

1 METRO	2 METROS
	
Foto 01	Foto 02

4 METROS	8 METROS
	
Foto 03	Foto 04

Fonte: Responsável técnico

Figura 08: Medição da Linha D Vertical

1 METRO	2 METROS
	
Foto 01	Foto 02
4 METROS	**8 METROS**
	
Foto 03	Foto 04

Fonte: Responsável técnico

4. ANÁLISE DE DADOS

Para a análise dos dados, primeiramente alimentamos a planilha para calcular o valor da resistividade, e eliminar possíveis erros e outliers, abaixo segue o procedimento detalhado:

Etapa 01: Foram realizadas medições em campo para os espaçamentos e linhas SEV abaixo:

Profundidade do eletrodo (m)	0,40	metros

INSERINDO VALORES DA RESISTÊNCIA APRESENTADA NO TERRÔMETRO							
Espaçamento "a" (m)		1	2	4	8		
Resistência medida R(Ω)	A	112,0	54,2	19,4	8,2		
	B	68,8	29,0	11,3	5,1		
	C	182,0	52,8	14,9	8,4		
	D	88,3	43,4	18,2	7,1		
	E						
	F						
	G						
	H						

Etapa 02: A partir da fórmula completa do arranjo Wenner, foi calculado o valor da resistividade aparente inicial:

CALCULANDO A RESISTIVIDADE INICIAL (MÉTODO WENNER)							
Resistividade inicial ρ(Ω.m)	A	861,7	726,0	495,7	414,0		
	B	529,3	388,4	289,9	259,0		
	C	1.400,3	707,2	380,4	424,6		
	D	679,4	581,3	464,3	355,9		
	E						
	F						
	G						
	H						

Etapa 03: Segundo a NBR 7117-1:2020, no item 6.1.2, é necessário realizar uma filtragem dos valores extremos, os chamados “outliers”, que fogem muito do padrão da maioria dos valores medidos.

Para essa filtragem automática de dados, foi calculado os logaritmos de todos os valores de resistividade aparente e, para cada espaçamento, calculou-se a média aritmética e do desvio padrão deste conjunto de valores.

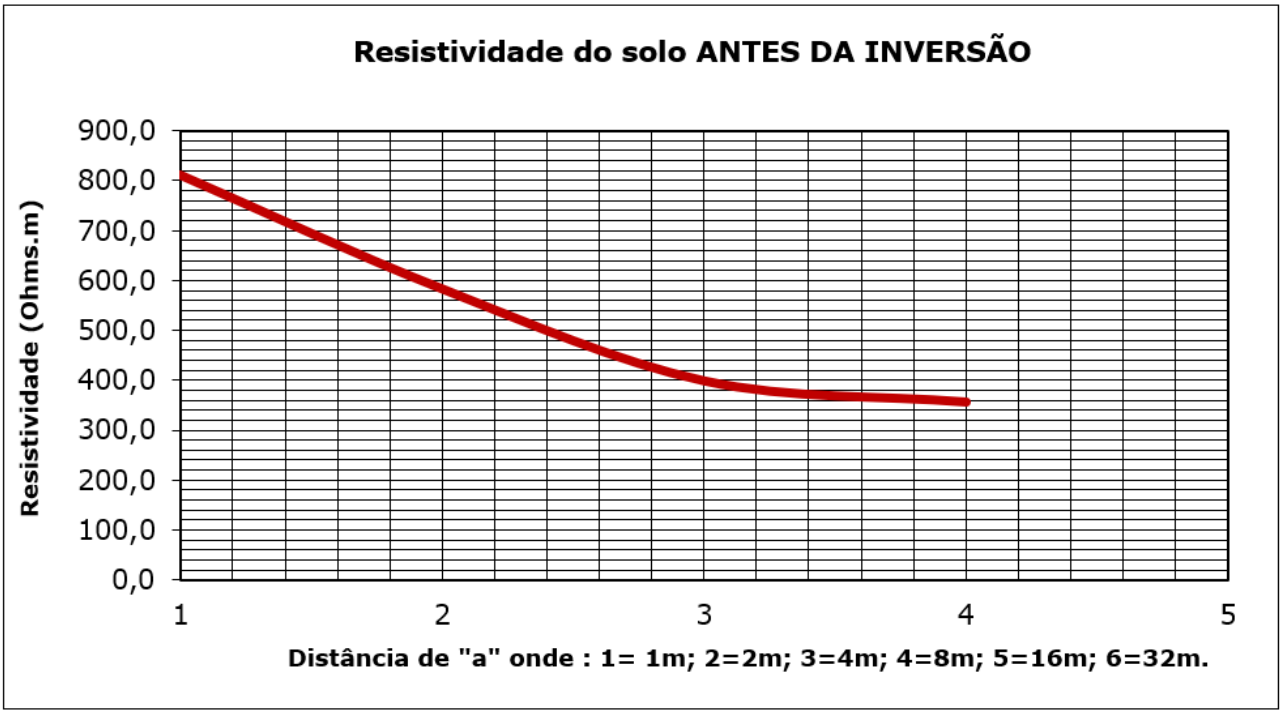
Após a eliminação dos valores que estão além da faixa de + ou – dois desvios-padrão, foi recalculado a média aritmética dos valores remanescentes e calculou-se o logaritmo inverso do valor médio para cada espaçamento, que constitui a nova curva média de resistividades aparentes filtrada dos valores considerados outliers.

Abaixo é apresentado os resultados desse tratamento de dados:

ELIMINAÇÃO DE OUTLIERS (NBR 7117-2020 - Item 6.1.2- Nota)							
Cálculo de Log(10)	A	2,935	2,861	2,695	2,617		
	B	2,724	2,589	2,462	2,413		
	C	3,146	2,850	2,580	2,628		
	D	2,832	2,764	2,667	2,551		
	E						
	F						
	G						
	H						
Média inicial de log		2,909	2,766	2,601	2,552		
Valor da média com 2 desvios-padrão	(+2d)	3,269	3,017	2,811	2,750		
	(-2d)	2,549	2,515	2,392	2,355		
Valores fora da faixa retirados	A	2,935	2,861	2,695	2,617		
	B	2,724	2,589	2,462	2,413		
	C	3,146	2,850	2,580	2,628		
	D	2,832	2,764	2,667	2,551		
	E						
	F						
	G						
	H						
Média Recalculada log		2,909	2,766	2,601	2,6		

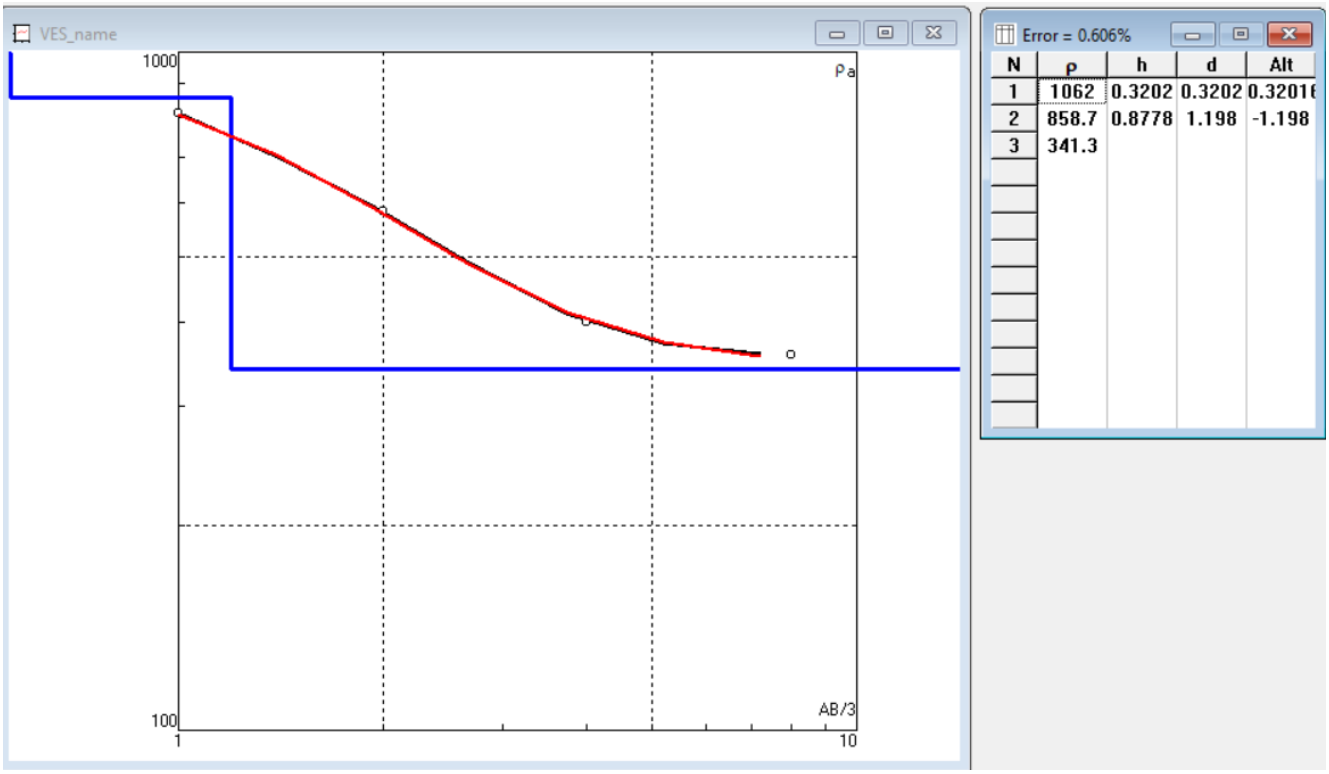
VALOR DA RESISTIVIDADE APARENTE FINAL SEM ERROS - ρ(Ω.m)						
'Resistividade Final ρ(Ω.m)	811,6	583,5	399,2	356,8		

Etapa 04: Com os valores filtrados na etapa anterior, vamos plotar a curva de Resistividade por distância, onde conseguimos observar o comportamento da curva, e identificar os pontos de inflexão para realizar a inversão da curva no software IPI2WIN:



DETERMINAÇÃO DO NÚMERO MÍNIMO DE CAMADAS DO SOLO PARA INVERSÃO			
N° de pontos de inflexão:	1	**Camadas mínimas para inversão:**	**2 camadas**

Etapa 05: Após analisar os dados, precisamos fazer a inversão da curva de resistividade aparentes, conforme o item 6.3 da NBR 7117-1:2020, para que se diminua interferências e se encontre as resistividades para cada camada, profundidade e espessura de cada camada, que são os parâmetros necessários para dimensionamentos:



Após realizar a inversão e conseguir um valor de erro recomendado menor que 3%, segue abaixo o resumo da Inversão:

Erro da inversão: 0,606%

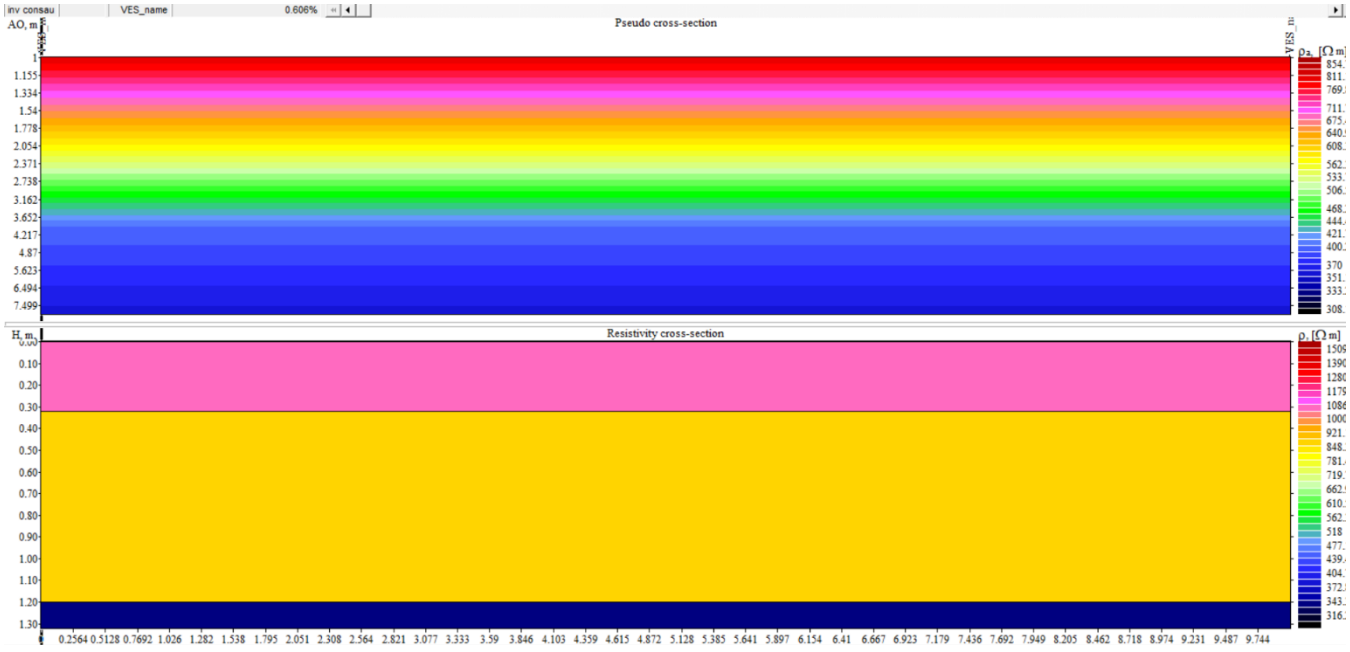
Camadas do Solo	Resistividade da camada [ρ(Ω.m)]	Espessura da camada [m]	Profundidade da camada [m]
Camada 01	1062	0,3202	0,3202
Camada 02	858,7	0,8778	1,198
Camada 03	341,3	-	-

Os valores acima apresentam as seguintes informações:

A primeira camada do solo tem profundidade de 0,3202m, sendo necessário neste caso, a análise também da resistividade da segunda camada, dessa forma, faz-se necessário realizar uma Média geométrica entre a resistividade da primeira camada e da segunda camada.

O resultado da média geométrica entre os valores de **1062 Ω.m** (primeira camada) e **858,7 Ω.m** (segunda camada), será igual a **955 Ω.m**, que será o valor considerado para dimensionamento das malhas de aterramento para esse local.

Dessa forma conseguimos entender o comportamento geoelétrico das camadas do solo:



5. CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DO TERRÔMETRO

POWER TEST COMISSIONAMENTO — ISO 9001

Certificado de Calibração
Nº PTC/ELE-087.503

1. Dados do Contratante

Nome:	POWER TEST COMISSIONAMENTO LTDA
Endereço:	RUA JACARANDA, 106 - IPATINGA/MG
CNPJ:	04837452000183

2. Instrumento/Equipamento Calibrado

Tipo:	TERRÔMETRO DIGITAL	**Modelo:**	MTD 20 kWe
Número de Série:	UU 1079 H	**Patrimônio:**	PT-ELE-087
Fabricante:	MEGABRAS		

3. Condições Ambientais

Temperatura:	23 ± 5 °C	**Umidade Relativa do Ar:**	55 ± 15 %

4. Padrões Utilizados

DÉCADA RESISTIVA

Certificado:	2391/23-A	**Patrimônio:**	PT-ELE-061
Fabricante:	TETTEX INSTRUMENTS	**Validade:**	06/12/2025
Órgão Calibrador:	LABORATÓRIO RBC		

5. Procedimentos de Calibração

IT-05: CALIBRAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE MEDIÇAO DE GRANDEZAS ELETRICAS

6. Informações Complementares

- Padrão Auxiliar Utilizado: Termohigrômetro IMPAC Patrimônio: PT-DIM-006 / Certificado: N°. 70579-204 / Validade: 06/09/2025.
- A incerteza expandida de medição relatada é declarada como incerteza padrão da medição multiplicada pelo fator de abrangência k, que para uma distribuição t-Student corresponde à uma probabilidade de 95.45%.

7. Resultados

20 Ω

Valor de uma Divisão: 0,01 Ω

Valor nominal/ referência (Ω)	Média Valores Medidos (Ω)	Tendência (Ω)	Incerteza Expandida (Ω)	k
2,0000	1,99	-0,01	0,01	2,00
10,0000	10,01	0,01	0,01	2,00
18,0000	18,00	0,00	0,01	2,00

POWER TEST COMISSIONAMENTO — ISO 9001

Certificado de Calibração

Nº PTC/ELE-087.503

200 Ω

Valor de uma Divisão: 0,1 Ω

Valor nominal/ referência (Ω)	Média Valores Medidos (Ω)	Tendência (Ω)	Incerteza Expandida (Ω)	k
30,000	29,8	-0,2	0,1	2,00
100,000	99,9	-0,1	0,1	2,00
180,000	199,7	19,7	0,1	2,00

2000 Ω

Valor de uma Divisão: 0,1 Ω

Valor nominal/ referência (Ω)	Média Valores Medidos (Ω)	Tendência (Ω)	Incerteza Expandida (Ω)	k
200,00	199,8	-0,2	0,1	2,00
1000,00	999,6	-0,4	0,1	2,00
1800,00	1798,9	-1,1	0,1	2,00

Faixa: 20 kΩ

Valor de uma Divisão: 0,01 kΩ

Valor nominal/ referência (kΩ)	Média Valores Medidos (kΩ)	Tendência (kΩ)	Incerteza Expandida (kΩ)	k
3,00	2,97	-0,03	0,02	2,23
10,00	9,97	-0,03	0,02	2,23
19,00	18,95	-0,05	0,01	2,00

Resumo da calibração

Local:	LABORATÓRIO POWER TEST - IPATINGA
Data da Calibração:	28/03/2025
Emitido em:	28/03/2025
Válido até:	28/03/2026
Versão do Software:	2.31.0

Técnico Executor
Marcos Aurélio Lima Oliveira

Signatário Autorizado
Igor Antunes Siqueira
Eng. Eletricista - CREA MG: - 197361/D

6. CONCLUSÃO

Resumindo, o valor a ser utilizado para dimensionamento da malha de aterramento será de **955 Ω.m**.

Ipatinga/MG 31 de março de 2025

Elaborado por:

gov.br Documento assinado digitalmente
SAMUEL FERNANDES DUTRA
Data: 31/03/2025 23:21:21-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Eng. Samuel Fernandes Dutra CREA 175569/D

EDILSON LILIAN DE ANDRADE:70795177615
Assinado de forma digital por EDILSON LILIAN DE ANDRADE:70795177615
Dados: 2025.07.23 15:35:36 -03'00'