



Instituto Superior de
Engenharia do Porto

Redes de terras associadas a estações de telecomunicações

Rogério Filipe Carvalho Alves

Sob orientação Eurico Ferreira: Eng^o Francisco Couto, francisco.couto@euricoferreira.pt

Sob co-orientação: Doutora Teresa Alexandra Ferreira Nogueira, tan@isep.ipp.pt

Departamento de Engenharia Electrotécnica

Instituto Superior de Engenharia do Porto

2013

Agradecimentos

Agradeço em especial ao Engenheiro Francisco Couto por todo o apoio e ajuda que me ofereceu durante o estágio e à Engenheira Teresa Nogueira, minha orientadora no ISEP, pela disponibilidade, motivação e ajuda constante. Foi uma grande honra para mim poder contar com a ajuda de pessoas com elevados conhecimentos.

Tenho especial gosto em agradecer também a vários trabalhadores da Eurico Ferreira, António Leite pelas deslocações que sempre efectuou comigo ao terreno transmitindo-me conhecimentos úteis certamente na minha caminhada, assim como ao Rui Moreira, sempre disposto a ajudar.

Quero agradecer também aos meus pais pela motivação que sempre me souberam dar, do jeito deles, assim como a preocupação constante da minha avó que apesar de não estar a atravessar um bom momento, reflectiu-se em força para mim.

Por último agradeço à minha namorada por toda a confiança transmitida no meu trabalho e pela força constante de acreditar.

A todos, um muito obrigado!

Resumo

As redes de terras são algo que atormenta muitas operadoras de telecomunicações. Quando o comum civil pensa que apenas existem antenas e que é importante a transmissão de dados porque naturalmente não lhes faz falta saber mais nada, as pessoas envolvidas na construção de uma estação de telecomunicações têm preocupações não só com a parte de rádio e antenas, mas fundamentalmente com a parte de energia e de infra-estruturas.

No desenvolvimento deste projecto, torna-se então importante perceber como as redes de terras são implementadas, como atingir valores satisfatórios para as operadoras, como realizar melhoria da rede de terras já existentes, implementar furos artesianos/valas e sobretudo como melhorar no futuro.

Os materiais utilizados e o estudo prévio das condições do terreno onde a estação rádio-base é implementada nem sempre coincidem com os resultados desejados e que pensamos que seriam facilmente atingidos após implementação da torre.

Neste projecto, vamos então acompanhar todos os processos, desde a legalização, construção, testes e finalmente a medição da resistência de terras final. Se os valores foram aceitáveis, óptimo para a operadora de telecomunicações e para a empresa responsável pela implementação. Caso os resultados estejam aquém das expectativas, é altura de seleccionar os melhores e recorrendo a um conjunto de técnicas que garantam resultados e o menos dispêndio de dinheiro possível, vamos avançar para as melhorias.

Os regimes de protecção das pessoas e da estação são bastante importantes. É importante também perceber as condições dos solos e saber simular com o programa ERICO que será fundamental para se efetuar uma comparação entre o teórico e o implementado praticamente.

No fim, parte fulcral serão as medições finais, a relação preço-qualidade das melhorias implementadas, a análise dos resultados com argumentos válidos e o bom senso da operadora para aceitar ou rejeitar os trabalhos. Contrato é contrato, fazer mais e melhor é uma exigência constante.

Abstract

Nets land are something that plagues many telecom operators. When the joint civil thinks there are only antennas and it is important to transmit data because of course they do not know any more missing people engaging in the construction of a telecommunications station have concerns not only with the radio and antennas, but primarily with the energy and infrastructure.

In developing this project, it then becomes important to understand how networks of land are implemented, how to achieve satisfactory values for operators, how to perform network improvement lands existing implement artesian wells / trenches and especially how to improve in the future.

The materials used and the previous study of the conditions of the terrain where the base station is implemented do not always coincide with the desired results and we think that would be easily achieved after implementation of the tower.

In this project, we will then monitor all processes, since legalization, construction, testing and finally measuring the resistance of lands end. If the values are acceptable for optimum telecommunications operator and the company responsible for the implementation. If results fall short of expectations, it is time to select the best and using a set of techniques that guarantee results and less cash outlay as possible, we will proceed to the improvements.

Protection systems of people and the station are quite important. It is also important to understand the soil conditions and know ERICO simulate the program that will be essential to make a comparison between the theoretical and practically implemented.

In the end, the key will be the final measurements, the value for money of the improvements implemented, analysis of results with good arguments and good sense of the operator to accept or reject the work. Contract is the contract, do better is a constant requirement.

Índice

1.	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Enquadramento.....	1
1.2	Objectivos.....	3
1.3	Organização do relatório.....	4
2.	ESTAÇÕES TELECOMUNICAÇÕES.....	7
2.1	Real função de uma estação de telecomunicações/rádio base.....	7
2.2	Tipo de estações de telecomunicações.....	8
2.3	ET's – Passos na construção.....	10
3.	SEGURANÇA, PROTECÇÕES, RISCOS E LIMITES ASSOCIADOS às ET's.....	17
3.1	Redes de terras associadas às estações.....	17
3.2	Protecção contra contactos indirectos.....	18
3.3	Resistência de um sistema de aterramento.....	19
4.	RESISTIVIDADE DO SOLO,REDES DE TERRAS E MELHORIA DE TERRAS NAS ESTAÇÕES TELECOMUNICAÇÕES.....	33
4.1	Resistividade do solo/terra.....	34
4.2	Método de Wenner – Método de medição.....	34
4.3	Factores que têm influência na resistividade do solo.....	39
4.3.1	Composição química.....	39
4.3.2	Humidade.....	40
4.3.3	Temperatura.....	40
4.4	Materiais utilizados na melhoria de terras.....	40
4.4.1	Eléktodos de terra.....	40
4.4.2	Varetas (verticais).....	41
4.4.3	Condutores horizontais.....	43
4.4.4	Chapas.....	45
4.4.5	Aneis.....	45
4.5	Precauções de segurança durante medições de Resistência terras.....	46
4.6	Melhoramento do solo.....	46
4.6.1	Análise de resistividades e método de medição da resistência de terra.....	48
4.6.2	Verificação circuito terra.....	48
4.6.3	Método queda tensão.....	48
5.	MÉTODOS COM APLICAÇÕES PRÁTICAS REAIS E COMPLEMENTO COM SIMULAÇÃO ATRAVÉS DE FERRAMENTA INFORMÁTICA.....	51
5.1	1º CASO DE ESTUDO.....	57
5.2	2º CASO ESTUDO.....	71
5.3	3º CASO ESTUDO.....	82
6.	CONCLUSÕES.....	99
	BIBLIOGRAFIA	
	ANEXO	

Acrónimos

BT	-	Baixa tensão
CCC	-	Central comunicação e controlo
CDMA	-	Code-Division Multiple Access
EDP	-	Energia de Porrtugal
EH	-	Eléctrodo horizontal
ERB	-	Estação rádio-base
ERICO	-	Eritec
ET	-	Estação telecomunicações
EV	-	Eléctrodo vertical
FA	-	Furo artesiano
IP	-	Implementação prática
MLT	-	Melhoria de terras
RET	-	Resistência eléctrica à terra
RF	-	Rádio frequência
RS	-	Resistividade do solo
RT	-	Redes de terras
SPR	-	Simulação prática
SPT	-	Sistemas Protecção
TP	-	Tensão passo
UMTS	-	Universal Mobile Telecommunication System
WCDMA	-	Wide-Band Code-Division Multiple Access

1. INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

Existem nos dias de hoje maiores necessidades que são fundamentais para o complemento de estações de telecomunicações. Os regimes de protecção apresentam-se como um aspecto importantíssimo nas suas estruturas, as redes de terras são cada vez mais essenciais a toda esta componente, chegar perto da perfeição é um desafio ao mais alto nível.

Com o desenvolvimento exponencial do mercado das telecomunicações, criou-se uma preocupação ainda maior relativamente a tudo aquilo que envolve as estações técnicas.

As operadoras móveis apresentam elevada concorrência, talvez a maior concorrência mundial do momento e sem ela, a exigência era certamente mais diminuta. Tudo começou em 1980 com a implementação da tecnologia 1G que facilmente avançou para 2G em 1990. A tecnologia 3G (3ª geração) é a mais usual nos dias de hoje, a rede de terceira geração usa principalmente as tecnologias WCDMA ou CDMA e oferece velocidades mínimas de 200 kbps, segundo padrão do IMT-2000.

A tecnologia WCDMA é uma das principais interfaces de acesso ao sistema UMTS, que se tem popularizado como a principal tecnologia empregue nas redes móveis de terceira geração em Portugal. WCDMA é uma tecnologia de Acesso Múltiplo por Divisão de Código, em

sequência directa de banda larga, a qual emprega técnicas de espalhamento espectral, onde a informação do usuário é multiplicada por códigos pseudo-aleatórios (chamados chips) derivados da ideia do CDMA.

A onda do momento é a tecnologia 4G (4ª geração), todas as operadoras de telecomunicações correm para implementar rapidamente esta tecnologia. A quarta geração da internet móvel promete revolucionar a velocidade de tráfego de dados no país e utiliza a tecnologia LTE. Em Portugal, ela está a ser implantada na frequência de 2,5 GHz, mas deve a tecnologia ser ampliada para a de 700 MHz, vista ter um melhor desempenho. A tecnologia prevê tráfego de dados até 100 Mbps.

Os aspectos civis da instalação da estação de telecomunicações, com as correspondentes edificações, torres e antenas, bem como a instalação de linhas físicas em logradouros públicos, dependem da legislação local referente à urbanização e obras.

Os municípios detêm competência constitucional para legislar sobre assuntos de interesse local e promover o adequado ordenamento territorial, mediante planeamento e controlo do uso, do parcelamento e da ocupação do solo urbano. Cabe aos municípios, também, proteger o património histórico-cultural local.

As torres metálicas auto suportadas seguem exigências mínimas e padronizadas a serem obedecidas aquando da elaboração de projecto, montagem, acabamento, inspecção e manutenção. Toda a sua estrutura está interligada com a terra, todas as suas ramificações estão protegidas e padronizadas.

As estações de telecomunicações optam por regimes de protecção diferentes, sendo neste momento crucial para as operadoras de telecomunicações, atingir o valor mais baixo possível de Resistência de terra e será este o alvo ao longo do trabalho realizado. Este factor, é hoje em dia, crucial para as operadoras de telecomunicações e é um aspecto que para muitos passa despercebido e só quem está afincado num projecto de raiz, percebe a concorrência que existe neste sector e a rivalidade em obter um valor óhmico mais baixo. Apresentam os diferentes tipos de solos como sendo os maiores “inimigos” dos engenheiros, projectistas e técnicos para atingir valores de resistência de terra considerados ideais para as operadoras. O ideal, é por isso, obter diferentes tipos de soluções para diferentes tipos de solos e é nisso que assenta o estudo realizado.

Neste estudo, torna-se necessário compreender quais as necessidades que cada tipo de solo apresenta, face à instalação de uma estação de telecomunicações, ter uma noção pormenorizada desde o levantamento do tipo de solo em terreno, o início da construção, incidência nas malhas de terras, chumbadouros, armaduras, utilização de eléctrodos de terra, de chapas de cobre/zinco, de mistura de componentes químicos, de terra vegetal, realização de furos artesianos com varas bastante extensas e outros aspectos preponderantes para obter valores ideais.

Num circuito de terra é importante referenciar as tensões de passo e de contacto, percebendo também quais os riscos para o corpo humano e os limites estabelecidos para a resistência de terra.

A utilização de ferramentas de cálculo e a simulação através de um programa denominado Erico, contrastando com as implementações práticas, são por isso fulcrais para perceber todas as ideias benéficas que possam surgir. A implementação prática, o melhoramento do solo e os resultados obtidos na comparação de diversos aspectos são por isso determinantes.

1.2 Objectivos

O objectivo principal e fundamental deste estudo é uma análise cuidadosa, estudo e melhoria das redes de terras instaladas nas estações de telecomunicações em Portugal, tentando adquirir soluções válidas recorrendo a todos os métodos possíveis. Acrescentam-se detalhadamente, alguns objectivos importantes que se pretende atingir na elaboração deste trabalho:

- Fazer uma avaliação dos locais de instalação das estações de telecomunicações, de forma a obtermos um estudo prévio detalhado dos métodos a implementar;
- Efectuar uma análise rigorosa sobre todo o tipo de solos existentes, sendo que devem ser realizadas comparações efectivas recorrendo a métodos de pesquisa detalhados;
- Avaliar do ponto de vista de segurança os tipos de protecções utilizadas e equipas de medida;;
- Aplicação de determinados métodos de protecção;

- De forma a tornar a segurança um ponto fundamental, irá ser elaborado um check-list, para apoio à intervenção e efectuar por parte dos técnicos nas instalações (Segurança), uma vez que se encontram por vezes diversas dificuldades. Abordagem e sensibilização para os circuitos de terra, tensão de contacto, tensão de passo, riscos para o corpo humano e limites para a resistência de terra;
- Realizar um estudo técnico, científico e financeiro de diversos tipos de melhorias de terras para posterior aplicação;
- Reunir os passos anteriormente descritos e aplicar melhorias de terras recorrendo a diferentes técnicas;
- Efectuar simulações e estudo de um programa de apoio à realização de melhorias de terras em estações de telecomunicações (Caddy,2009);
- Comparar as técnicas práticas de melhoria e as técnicas oferecidas pelo recurso a simulações;
- De forma a tomar o estudo detalhado e assentando nos objectivos propostos iremos recorrer a uma série de ensaios locais com a respectiva análise dos resultados obtidos;
- Reunir todos os processos estudados, desenvolvidos e simulados, apresentando de seguida propostas de medidas a tomar em complemento às existentes;
- Analisar casos de estudo reais com a possibilidade de estabelecer uma parceria teórico-prática dos métodos estudados;

1.3 Organização do relatório

No presente capítulo foi feita uma introdução generalizada de todo o trabalho que foi desenvolvido, onde estão patentes também os objectivos mais específicos de todo o trabalho no âmbito de inserção deste documento.

No capítulo 2 é apresentado um tema crucial, fundamental na inserção do trabalho, as “Estações de telecomunicações”, onde é abordado o tema actual das telecomunicações, as estruturas das torres, a legislação em vigor e os locais de implementação das mesmas;

No capítulo 3, abordou-se a segurança nos trabalhos realizados e no envolvimento das pessoas, as protecções que devem ser realizadas e também perceber os riscos e os limites estabelecidos, associados às estações de telecomunicações.

No capítulo 4, é feita uma avaliação do tipo de solos existentes onde estão instaladas as salas técnicas/contentores e as torres. É feita uma abordagem cuidada à rede de terras, explicando os seus processos de implementação desde o início de construção. De forma a percebermos como podemos melhorar as condutividades e valores de resistência de terras, irá ser pormenorizado o tema da melhoria de terras e resistividade do solo.

No capítulo 5, iremos abordar sobre a implementação e exploração dos diversos tipos de soluções e as suas aplicações práticas neste projecto;

No capítulo 6 e com apoio da ferramenta informática, iremos aplicar as diferentes técnicas de melhoria de terras nos solos onde estão implementadas as diversas estações de telecomunicações. Após implementação, serão feitas as comparações entre os diversos casos e diferentes tipos de solo onde as estações estão inseridas.

Por último, no capítulo 7 é feita uma conclusão geral relativa ao projecto realizado bem como a análise dos objectivos cumpridos. No final são apresentadas algumas propostas de desenvolvimento futuro, com vista a otimizar as soluções apresentadas neste trabalho.

2. ESTAÇÕES DE TELECOMUNICAÇÕES

As estações de telecomunicações (ET), cada vez em maior expansão e de maior relevo de importância, são constituídas por equipamentos que fazem a conexão entre os telefones e as companhias telefónicas, ou mais precisamente a Central de Comunicação e Controlo (CCC).

2.1 - Real função de uma estação de telecomunicações/rádio base

A estação rádio-base conecta a chamada a uma rede telefónica. Dependendo do tipo da chamada, ela será direccionada para outro telemóvel ou para um telefone fixo. A estação rádio-base possui várias antenas conectadas por cabo a um equipamento electrónico (rádio), normalmente, localizado numa sala ou gabinete. Pode ver-se o exemplo de transferência de chamadas na figura 2.1. Algumas estações rádio-base possuem antenas de comunicação no formato de uma antena parabólica, em que se conecta a estação rádio-base ao resto da rede de estações rádio-base. (Cesar, 2007)

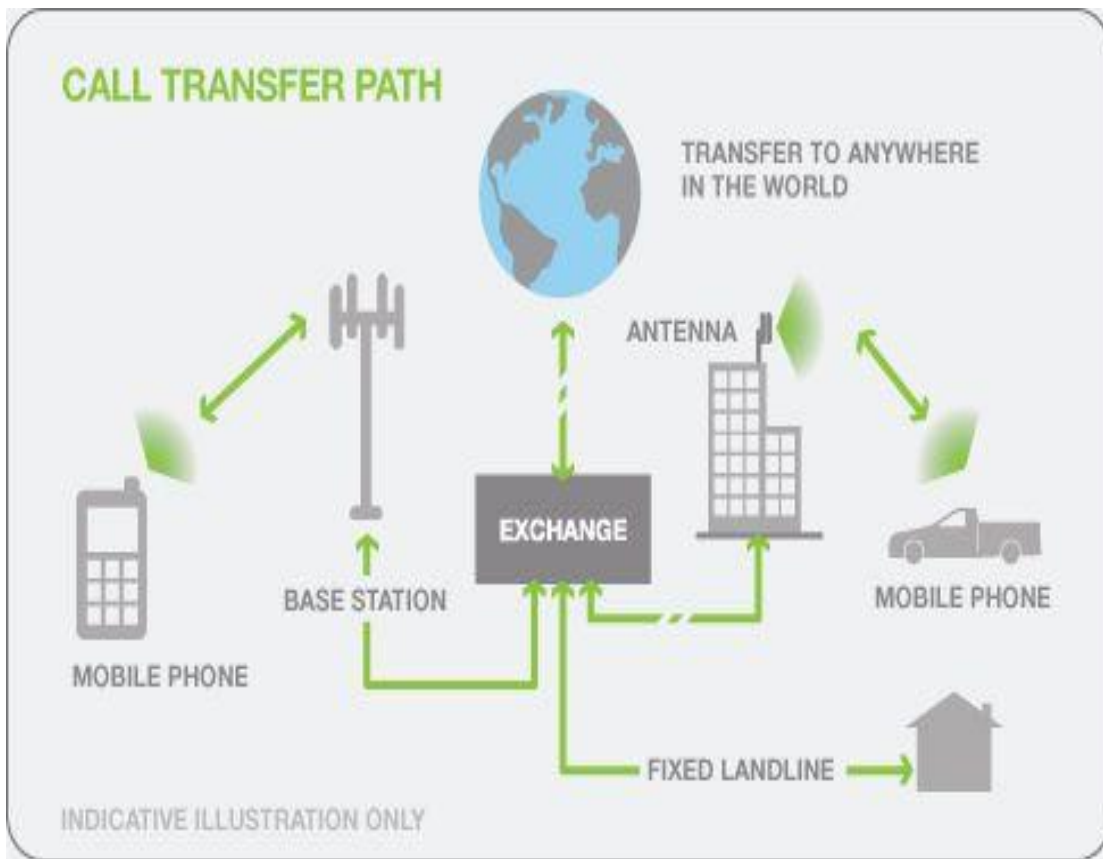


Figura 2.1 – Transferência chamadas

2.2 - Tipo de estações de telecomunicações

Existem dois tipos de estações de telecomunicações, as *Greenfield* que são aquelas erguidas/instaladas directamente nos solos sendo as mais abordadas na realização deste estudo (Figura 2.2) e as *Roof Top* aquelas instaladas em pavimentos de cobertura de edifícios (Figura 2.3). Ambas podem utilizar equipamentos de telecomunicação “*indoors*” (sendo que estão dentro de compartimentos), cujas características de fabricação determina a necessidade de uma infra-estrutura de climatização, como equipamentos “*outdoors*” (estes fora de compartimentos), que são unidades autónomas, previamente concebidas para exposição ao ar livre e dimensionadas para obter uma ventilação apropriada.



Figura 2.2 - ET do tipo Greenfield



Figura 2.3 – ET do tipo Rooftop

As características de fabrico dos aparelhos *indoors* exigem uma infra-estrutura de protecção. Geralmente são utilizados contentores climatizados. Quando isso acontece é possível instalar boa parte dos equipamentos na operadora, antes de serem enviados ao local escolhido. Já os aparelhos de uso outdoor foram preparados para operar expostos às diversas condições meteorológicas. Neste caso, a montagem normalmente é realizada no local. (Leite, 2008).

2.3 - ET's – Passos na construção

A construção de uma estação de telecomunicações pode demorar de 1 a 4 meses e os processos burocráticos são o aspecto mais dispendioso a nível de tempo. Por exemplo: em muitas câmaras municipais, por incrível que pareça, ainda não existem leis que tratam do assunto. Como se isso não fosse suficiente, há situações cujos moradores em redor das instalações protestam contra a construção da ET, pois dizem que o seu imóvel vai desvalorizar, que há muita radiação etc. e o projecto atrasa.

Aquisição do site

ERB: Site Acquisition

Esta etapa é a mais complexa e de difícil execução pois implica seleccionar e negociar um local (site) para implantação da ERB que atenda uma série de objectivos muitas vezes difíceis de conciliar como:

- Localização óptima do ponto de vista do projecto de RF de forma a otimizar a cobertura do sistema celular.
- Visada para o enlace de rádio de comunicação com a CCC ou disponibilidade outro meio de comunicação como fibra óptica.
- Local disponível para compra ou aluguer de longo prazo, com documentação e a preços acessíveis.
- Possibilidade de Atendimento da legislação local para obtenção de licenças junto a câmara municipal e demais órgãos governamentais, incluindo a Anacom.

-Evitar altos custos de implantação civil principalmente no item de implementação fundações/escavações e reforços estruturais.

Prazo de implantação - Esta etapa implica a execução das seguintes actividades que ocorrem muitas vezes de forma simultânea

Procura e Qualificação

O projecto de RF produz um “*search ring*” que delimita uma área para procura do site e serve de base para a selecção de locais onde se possa implantar a ERB. Normalmente procura-se seleccionar cerca de 3 locais candidatos para implantação de uma ERB.

Os três candidatos seleccionados passam por um processo de avaliação de forma a que sejam aceites ou rejeitados e ordenados em termos de prioridade. Esta avaliação implica em verificar condições como:

- Acessibilidade;
- Fornecimento de Energia;
- Implantação civil e legalizações;
- Cobertura de RF e interferências;
- Visada de interferências;

Negociação e licenciamento

Uma vez definidos os candidatos e verificada a documentação legal do imóvel passa-se a negociar com o proprietário do imóvel um contrato de compra ou locação.

Licenças e Autorizações:

Aspectos legais podem ser em muitos casos os maiores responsáveis por atrasos na implantação das ERBs devido a inexistência de legislação em muitas câmaras e a pressões da vizinhança temerosa de ver o seu imóvel desvalorizado pela presença de uma torre de telecomunicações. (Dantas, Sandro 2011)

Mencionamos abaixo alguns dos projectos para aprovações junto aos órgãos competentes que deverão ser observados e cujos processos deverão ser encaminhados aos respectivos órgãos:

- Arquitectura junto da Câmara Municipal
- Combate a Incêndio junto da Corporação de Bombeiros;
- Ligação de água e esgoto junto à Concessionária Local;
- Entrada e medição de energia junto da EDP;
- Telefonia fixa junto da Anacom;
- Licenciamento da Estação junto das entidades incluindo relatório de conformidade de radiação electromagnética.

Projectos:

Após a análise da melhor solução e da devida negociação com o proprietário, deverão ser efectuados levantamentos mais minuciosos, tais como:

- Levantamento Planialtimétrico;
- Levantamento da Infra-estrutura externa ao terreno;
- Sondagem;
- Demarcação Topográfica do terreno;
- Cronograma físico.

Após posse destas informações serão elaborados os projetos executivos, conforme listagem abaixo, de acordo com a sua aplicabilidade:

Projecto de Arquitectura e Memoriais;

Projecto de Instalação Hidráulica;

Projecto de Detecção e Alarme de Incêndio;

Projecto de Combate a Incêndio por extintores;

Projecto Eléctrico de Entrada e Medição de Energia;

Projecto Eléctrico Executivo C.A;

Projecto Eléctrico Executivo C.C;

Projecto de Protecção Atmosférica;

Projecto de Aterramento;

Projecto de Tratamento Acústico;

Projecto de Impermeabilização;

Projecto de Fundações do prédio e torre com memorial de cálculo;

Projecto de Torre com memorial de cálculo;

Projecto de Ar Condicionado e Exaustão Mecânica;

Projecto Estrutural do prédio com memorial de cálculo

Infra-estrutura para equipamentos

Geralmente as ERBs são construídas com equipamentos “*indoor*” que necessitam de uma infra-estrutura de climatização.

A solução adoptada é a utilização em alojamentos pré-fabricados (contentores, p.ex.) ou adaptações de salas ou edificações existentes. No caso do contentor é necessária a preparação de uma base para sua instalação.

A infra-estrutura eléctrica envolve a instalação de condutas, cabos, aterramento, entrada de energia e ligação de energia pela EDP.

Um dos aspectos mais fundamentais nesta instalação é a questão da disponibilidade pelas entidades públicas da rede de energia eléctrica por onde o site está localizado. Daí a importância na negociação rápida.

Torre para antenas

Antenas podem ser fixadas em torres, postes, cavaletes e mastros, podendo este último ser montado tanto na cobertura como na lateral da edificação, de acordo com a necessidade de cobertura e visada do site.

A implantação de uma torre envolve a construção de uma fundação e a sua montagem como se pode ver nas figuras 2.3, 2.4, 2.5, 2.6 e 2.7. A fundação da Torre depende do tipo de solo encontrado no terreno. A escolha do tipo mais conveniente pode ter impacto fundamental no prazo e custos da construção site. Os tipos mais comuns são:

Tubulão: fundação profunda, constituída de uma base de apoio e uma haste ambos em concreto com escavação manual.

Radis: fundações rasas, constituídas por uma base plana de betão.

Estacas: fundações profundas, constituídas de longos segmentos de betão ou metal, com perfuração mecânica, podendo ser tanto pré-fabricadas como moldadas in loco.

Em cada caso deverá ser analisado o perfil do solo e, conseqüentemente, o melhor custo vs benefício, de acordo com as directrizes do engenheiro civil. Geralmente as fundações rasas são mais económicas com estes órgãos, caso haja a necessidade de expansão dessa rede.

Uma vez construída a infra-estrutura civil e eléctrica é possível instalar o ar-condicionado, baterias e equipamentos de Energia CC. No caso de contentores estes equipamentos podem ser pré-instalados antes do contentor ser enviado para o site. (Ferreira, 2012).

A entrega destes equipamentos no site necessita ser muita bem coordenada pois, por vezes o site não comporta espaço para armazenamento. Após a conclusão da fundação é feita a Montagem da Torre com o suporte para as antenas e acessórios como esteiras, escadas, plataformas, pára-raios e luzes de sinalização/balizadores.

É apresentado seguidamente uma sequência de figuras (Figuras 2.5, 2.5, 2.6, 2.7 e 2.8) que representam uma evolução rápida da construção de uma estação de telecomunicações do tipo *greenfield*.



Figura 2.3 – Início da realização de fundação para inserção da torre e construção da laje



Figura 2.4 – Armação que será inserida na fundação



Figura 2.5 – Soldadura de interligação da armação ao circuito de terras



Figura 2.6 – Pré laje, dimensão do espaço da Estação com respectivas tubagens



Figura 2.7 – Contentor, torre de telecomunicações e laje

Temos também factores dispendiosos de tempo e que nos tornam alguns transtornos, sendo eles a negociação e licenciamento com o proprietário do terreno, os projectos de fundação/aterramento dependendo do tipo de solo, impermeabilização, combate a incêndios etc.

3. – SEGURANÇA, PROTECÇÕES, RISCOS E LIMITES ASSOCIADOS ÀS ET’S

3.1 Redes de terras associadas às estações

A toda a construção de uma ET encontra-se associada a uma rede de terras, pelo que existem várias razões para que se efectue uma ligação à terra, sendo que a mais importante prende-se com a protecção das pessoas, não devendo no entanto ser desprezável a protecção de equipamentos e instalações que é exigida pelas operadoras com as quais trabalhamos ao mais ínfimo pormenor. Uma boa rede de terras deve por isso permitir um correcto escoamento de correntes indesejadas ao seu sistema de energia, podendo estas ter origens internas ou externas provenientes de descargas atmosféricas. (Arthur, 2000),

Para funcionar com bom desempenho e ser suficiente segura contra riscos de acidentes fatais, toda a instalação eléctrica associada a uma ET's, deve possuir um sistema de aterramento dimensionado adequadamente para as condições de cada projecto.

Um sistema de aterramento visa a:

- Segurança de actuação da protecção;
- Protecção das instalações contra descargas atmosféricas;
- Protecção do individuo contra contactos com partes metálicas da instalação energizadas acidentalmente;
- Uniformização do potencial em toda a área do projecto, prevenindo contra lesões perigosas que possam surgir durante uma falta de fase-terra.

3.2 Acidentes e limites

O acidente mais comum a que estão submetidas as pessoas, principalmente aquelas que trabalham em estações de telecomunicações, tarefas de manutenção e operação de sistemas de telecomunicações, é o toque acidental nas partes metálicas energizadas, ficando o corpo ligado electricamente sob tensão entre fase e terra. Assim, entende-se por contacto indirecto aquele que o indivíduo mantém com uma determinada massa do sistema eléctrico que, por falha, perdeu o seu isolamento o que permitiu que esse indivíduo ficasse submetido a um determinado potencial eléctrico.

Quando abordamos o limite de corrente, temos que perceber que o limite de corrente alternada suportada pelo corpo humano é de 225mA, sendo que, na faixa entre 15 e 25mA, o indivíduo sente dificuldades em soltar o objecto energizado. Entre 15 e 80 mA, ele é acometido de grandes contracções e asfixia. Acima de 80mA, até a ordem de grandeza de poucos amperes, a pessoa sofre lesões graves musculares e queimaduras, além de asfixia imediata. Além disto e mais acima, as queimaduras são intensas sendo que o sangue sofre o processo de electrólise, a asfixia é imediata e há necrose dos tecidos. A gravidade dessas lesões depende do tempo de exposição do corpo humano à corrente eléctrica.

3.3 Resistência de um sistema de aterramento

Num sistema de aterramento, considera-se como resistência de terra o efeito de três resistências, a saber:

- A resistência relativa às conexões existentes entre os eléctrodos de terra (Varetas e cabos);
- A resistência relativa ao contacto entre os eléctrodos de terra e a superfície do terreno que os circunda;
- A resistência relativa ao terreno nas imediações dos eléctrodos de terra, denominada de resistência de dispersão

O primeiro componente é de valor desprezável perante os demais, portanto não é considerado no dimensionamento do sistema de aterramento. Na generalidade a resistência de terra é identificada como sendo as demais resistências especificadas. Poderemos verificar nas imagens 3.1, 3.2, 3.3 e 3.4 alguns dos materiais e processos de interligação utilizados.



Figura 3.1 – União da chapa de cobre ao eléctrodo horizontal através do processo de soldadura com pólvora



Figura 3.2 – União de cabo de cobre após processo de soldadura



Figura 3.3 – Vala com chapa de cobre interligada ao cabo de cobre



Figura 3.4 – Eléctrodo terra vertical a ser inserido no furo artesiano

Salienta-se que é grande a densidade de corrente nas imediações dos eléctrodos de terra e notável o valor da resistência eléctrica, conforme se observa na figura 3.5. Como a corrente se dispersa de maneira incrível no solo, tornando a densidade praticamente nula, a resistência do solo no percurso da corrente eléctrica é considerada desprezável, conforme se observa na figura 3.6.

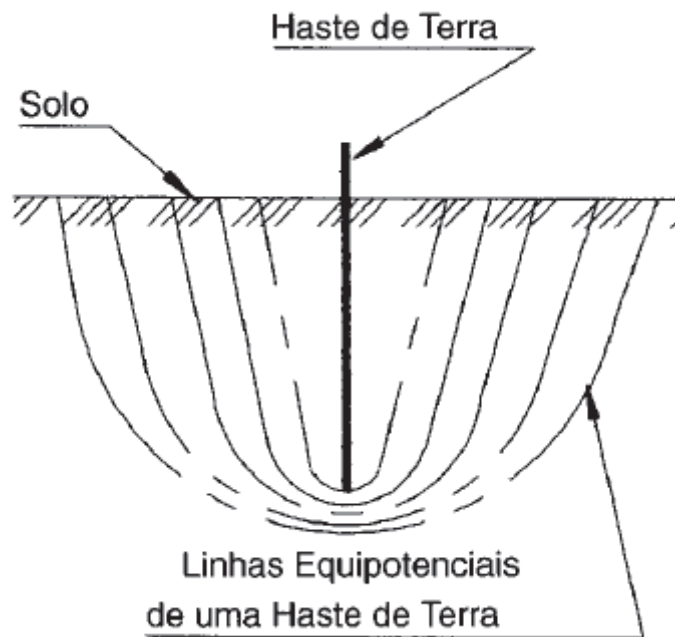


Figura 3.5 – Percurso da corrente

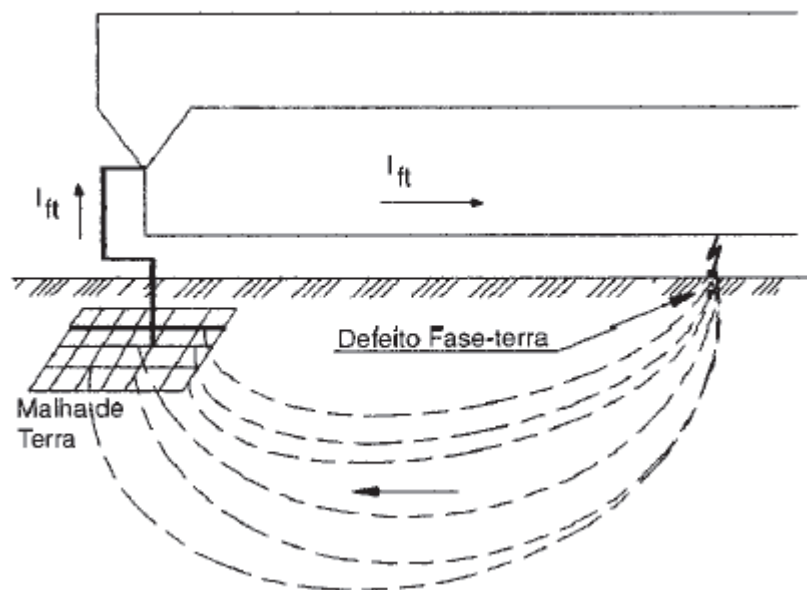


Figura 3.6 – Malha de terra

Depois de várias investigações, é-nos chegado uma percentagem de 90% correspondente a 90% da resistência eléctrica total de um terreno que envolve um eléctrodo nele enterrado se encontra geralmente dentro de um raio de 1,8 a 2,5 m do eixo geométrico do próprio eléctrodo. Sendo assim, está explicado o porquê de durante o tratamento do solo através de produtos químicos retirar a terra em torno do eléctrodo e misturá-la a substâncias redutoras de resistência do solo. O que acontece na verdade é a produção artificial de um eléctrodo de grande secção transversal cuja resistência pode ser dada pela conhecida expressão $R = \rho * L / S$, em que R é inversamente proporcional à área S.

A figura 3.7 representa a resistência de um sistema de terra de eléctrodos verticais em paralelo, cada qual com uma resistência de terra de 100ohm, em função do número de eléctrodos e da distância entre estes. Por este gráfico pode determinar-se para um número total de 20 hastes de um sistema de aterramento, mantidas a uma distância de 3m entre si, a resistência equivalente, que é de 14ohm. Mantém-se o mesmo numero de hastes e aproximando-as entre si para uma distancia de 1,5m a resistência equivalente obtida é de 23ohm, aproximadamente. (Santos, 2013)

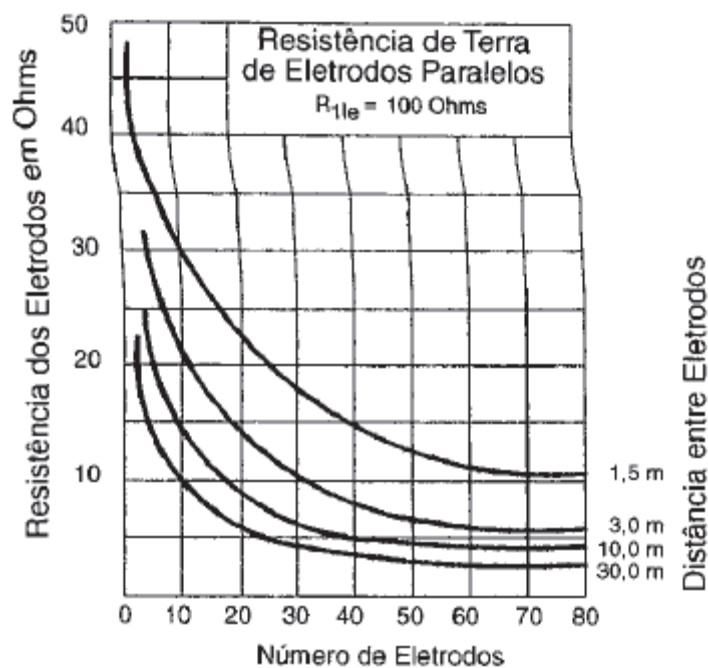


Figura 3.7 – RT eléctrodos paralelos

Saliente-se que a distância mínima entre eléctrodos contíguos deve corresponder ao comprimento efectivo de uma haste. Isto deve-se ao facto que quando dois eléctrodos

demasiadamente próximos são percorridos por uma elevada corrente de falta, dispersa por ambos, esta provoca um aumento na impedância mútua. A figura 3.8 expressa a eficiência de um sistema de eléctrodos verticais em paralelo, em função da quantidade de eléctrodos utilizados e da distância entre eles.

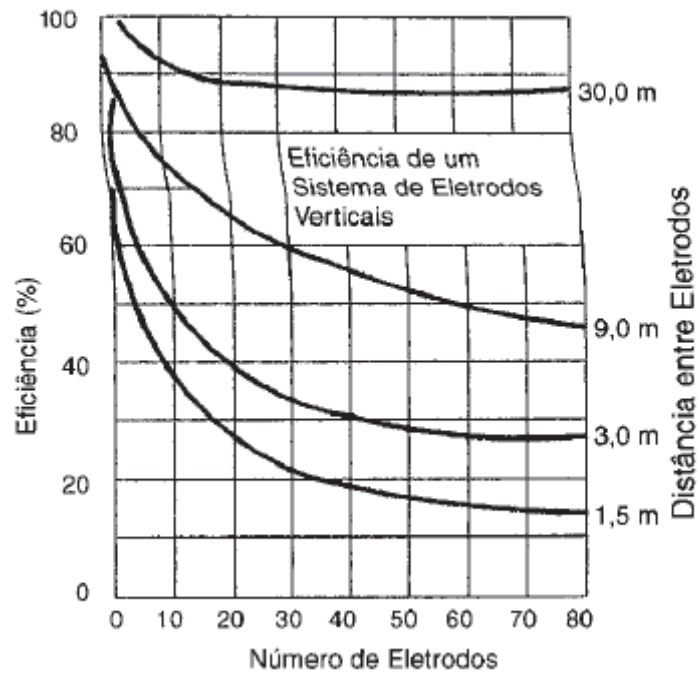


Figura 3.8 – Eficiência eléctrodos verticais em paralelo

De forma prática, a resistência dos dispersores em paralelo tem como exigência que o terreno tenha certas dimensões, muitas vezes que nem estão alcançáveis, atingindo áreas bastante extensas. Quando os terrenos são de pequenas dimensões, a aplicação de muitas varetas resulta, contudo, por vezes, o material é dispendioso e nem sempre os resultados são os pretendidos.

- **Resistência de terra**

Do ponto de vista da física, resistência terra é a capacidade do solo absorver melhor ou pior a quantidade de carga eléctrica necessária à situação envolvente, sem que as suas propriedades eléctricas sejam alteradas e mostrando-se sempre electricamente neutro ao ambiente que o rodeia.

Em electrotecnia, a resistência terra será então a resistência eléctrica à passagem de carga eléctrica entre o circuito de terra da instalação e o solo da terra de referência.

O circuito terra de uma instalação é por sua vez constituído pelos eléctrodos de terra que asseguram a ligação física ao solo, pelos condutores de terra e respectivas ligações que interligam os eléctrodos de terra à instalação e mediante o valor de resistência terra encontrado, são calculadas e calibradas as protecções de contactos ou defeitos à terra. Pode verificar-se na figura 3.9 a interligação da rede eléctrica local com a rede pública.

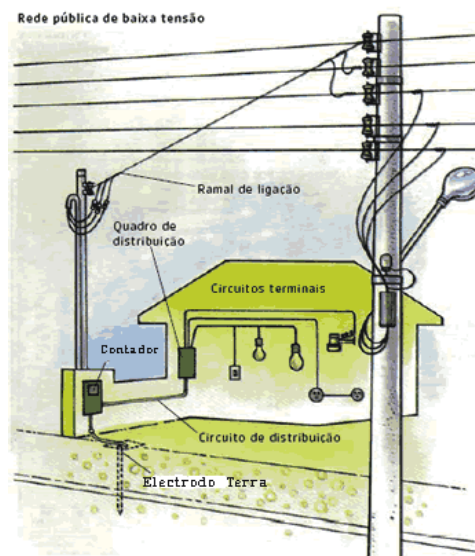


Figura 3.9 – Ligação à rede pública de BT

Verificamos que é através do circuito terra que são escoadas as correntes de defeito à terra ou descargas atmosféricas. Para melhor entender, imaginemos que o micro-ondas em nossa casa tem um defeito e uma fase da instalação fica a tocar na massa metálica exterior do aparelho em questão. Caso não existisse um circuito terra, na eventualidade de um contacto com o aparelho, iria ser o nosso corpo a suportar a corrente eléctrica.

Visto ser um assunto de grande importância, existem limites para os valores de resistência terra como podemos consultar mais à frente, pois se a resistência terra for muito elevada, pensando novamente no exemplo atrás do micro-ondas, a parte metálica do mesmo irá ficar sobre tensão e como tal irá originar uma corrente de defeito muito baixa devido à alta resistência terra e como resultado a protecção diferencial não irá detectar a anomalia e portanto não actuará.

O circuito terra não tem unicamente como objectivo assegurar a protecção das pessoas, mas também das instalações e equipamentos. Como tal podemos fazer a seguinte divisão:

Ao circuito de terra a que são ligados todos os elementos condutores da instalação normalmente sem tensão ou com tensões não perigosas, mas sujeitos a uma passagem fortuita de corrente que provoque diferenças de potencial perigosas e não previstas, dá-se o nome de **Terra de Protecção**.

Ao circuito de terra a que são ligados unicamente pontos dos circuitos eléctricos para influenciar as suas condições de exploração dá-se o nome de **Terra de Serviço**.

- **Circuito de Terra**

Na fase de projecto de uma instalação eléctrica, o circuito de ligação à terra é uma parte vital de mesmo pois necessita de assegurar a eficiência de exploração e a segurança de pessoas, instalação e equipamentos.

Em qualquer instalação eléctrica, seja de muito ou pouco uso por parte dos utilizadores, sabemos que existem potências e níveis de tensão nos equipamentos que torna a segurança das pessoas no aspecto mais importante a ter em conta. Temos também outros aspectos a considerar como a salvaguarda dos equipamentos, que de certa forma está relacionada com a protecção contra incêndios, ruído dos circuitos electrónicos pela criação do potencial de referência.

Assim sendo, o projecto de um circuito terra deve garantir:

- Segurança das pessoas;
- Integridade e protecção dos equipamentos;
- Protecção contra situações que possam dar origem a incêndio;
- Criação de um potencial de referência;

- **Tensão de Passo**

Outro critério a ter em conta no momento de projecto do circuito terra é a tensão de Passo.

A tensão de passo é a diferença de potencial entre as pernas de uma pessoa ou animal (considerado essa distancia como sendo de 1m), no instante em que o solo está a ser percorrido por uma corrente eléctrica intensa, por exemplo, uma descarga atmosférica. Pode verificar-se na figura 3.11 a tensão de passo expressa.

A carga eléctrica injectada no solo através do eléctrodo de terra vai elevar o potencial do solo nessa zona e claro está que quanto maior for a carga eléctrica, maior será a elevação do potencial terra.

A forma de dispersão da corrente eléctrica no solo está intimamente relacionada com a forma do eléctrodo. Por exemplo, um eléctrodo vertical escoia de forma diferente a carga eléctrica comparativamente com um eléctrodo horizontal, pode ver-se o escoamento da corrente na figura 3.10.

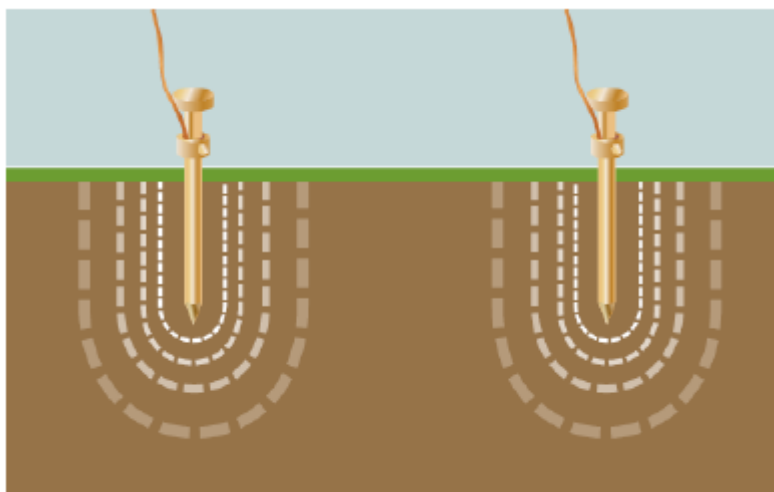


Figura 3.10 -Escoamento da corrente através de um eléctrodo vertical

Percebemos então a necessidade de proteger a área circundante ao eléctrodo de modo a evitar riscos sérios à integridade física. Assim sendo, para diminuir a probabilidade de acidentes, deve ser tomada pelo menos uma das seguintes medidas:

- Instalar no local, fazendo parte do eléctrodo terra, um emalhado de condutores horizontais enterrados no solo;
- Prever na zona crítica um tapete de material isolante (asfalto por exemplo), com uma espessura mínima de 50 mm;
- Aumentar a profundidade dos eléctrodos para valores superiores a 1m;

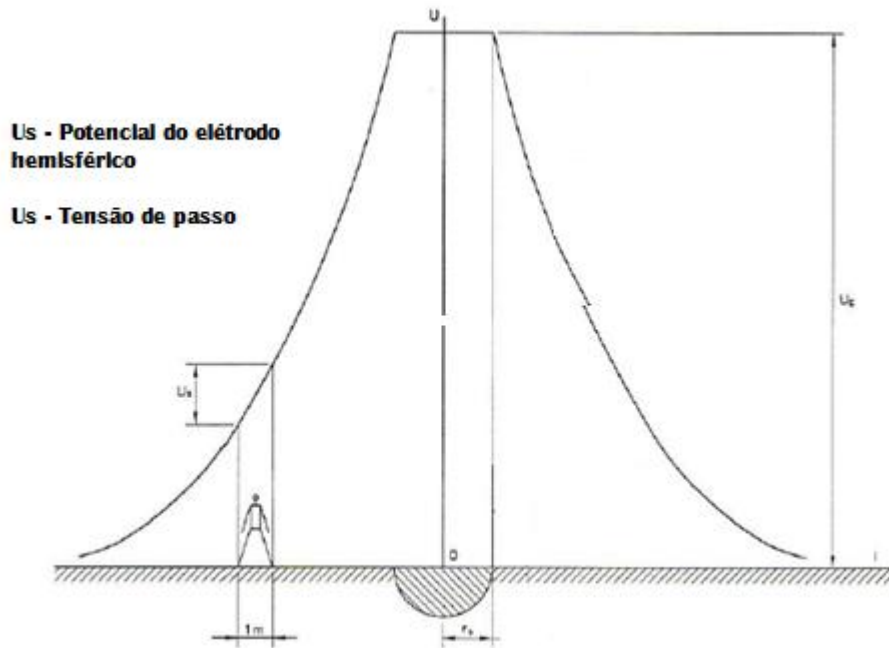


Figura 3.11 – Tensão de passo

- **Tensão de Contacto**

Assim como a tensão de passo, a tensão de contacto é mais um critério a ter em conta no projecto de circuito terra.

A tensão de contacto é a diferença de potencial entre uma massa metálica inerente à instalação e o solo.

Durante uma descarga atmosférica por exemplo, irá haver uma elevação de potencial do solo, do próprio eléctrodo terra e das massas da instalação visto estarem ligadas entre si através do condutor terra. Desta forma, se alguém tocar numa dessas massas durante o tempo de descarga, irá sentir no corpo a diferença de potencial entre essa mesma massa e o solo.

Dada a importância da tensão de contacto assim como a tensão de passo, devem ser respeitados limites que assegurem a segurança dos utilizadores.

- **Risco para o corpo humano**

No que respeita à segurança das pessoas como sendo a principal preocupação na criação de um circuito de ligação à terra, é necessário compreender, ainda que vagamente, os efeitos provocados pela passagem de corrente eléctrica pelo corpo humano.

A corrente eléctrica pode ser fatal para o corpo humano e os seus efeitos dependem de vários factores, sendo os principais, o trajecto que a corrente eléctrica perfaz no corpo, a duração do contacto e a intensidade de corrente com que este é percorrido. Menos importante mas igualmente relevante, temos o peso e estatura da pessoa, assim como se esta tem os pés descalços, mãos molhadas, doenças cardíacas, entre outros. (RSSPTS, 2007)

As consequências dos acidentes causados pela corrente eléctrica ao percorrer o corpo humano (Visível na tabela 3.1) podem ser:

- Percepção
- Convulsão
- Paragem respiratória
- Asfixia
- Queimaduras
- Fibrilhação ventricular

Analisando a tabela 3.1, podemos ter uma ideia do que acontece à medida que a corrente eléctrica vai aumentando.

Tabela 3.1 – Consequências aumento da corrente para o ser humano

Corrente (mA)	Consequência
1	Apenas perceptível
Até 10	Contrações musculares
Até 20	Perturbações circulatorias
Ate 100	Contrações violentas
>100	Asfixia imediata
>1000	Fibrilhação ventricular e queimaduras graves

Como tais consequências também dependem da duração da passagem da corrente eléctrica (Figura 3.12), através do seguinte gráfico conseguimos perceber a importância da rapidez e fiabilidade das protecções diferenciais a usar.

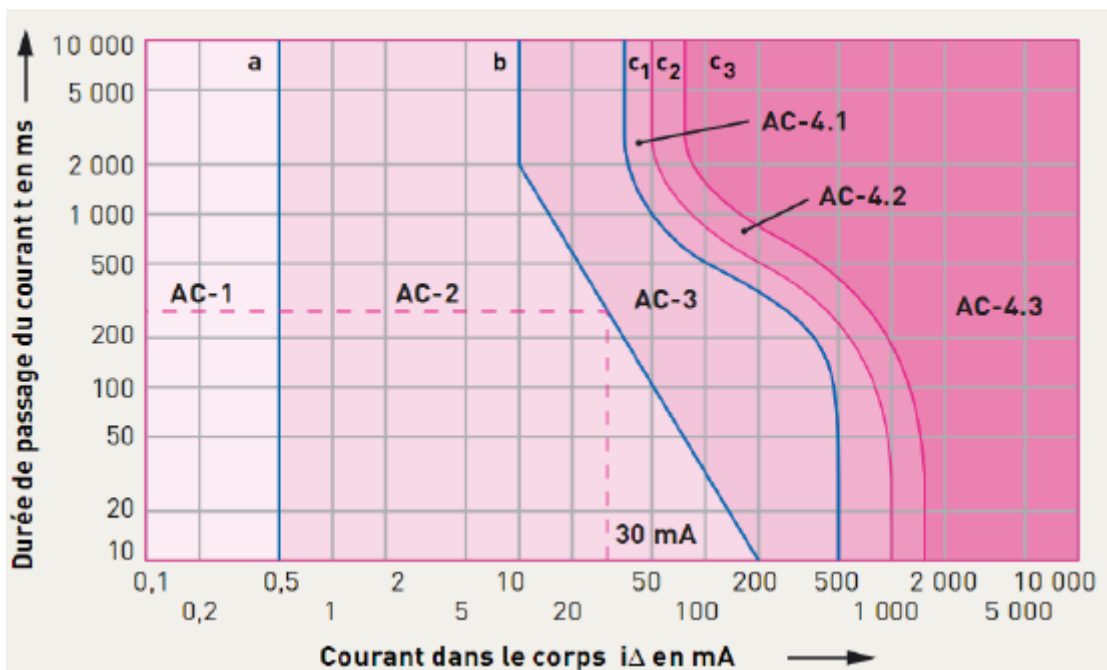


Figura 3.12 – Efeito vs tempo da corrente eléctrica

- **Limites para a Resistência Terra**

Como já vimos anteriormente, para assegurar uma eficaz protecção das pessoas, instalação e equipamentos, é do maior interesse que tenhamos um valor de resistência terra o mais baixo possível.

Tal situação, em vários casos torna-se bastante difícil visto Portugal continental ter um solo onde os valores típicos de resistividade do solo, principalmente na zona norte, podem atingir valores drasticamente elevados, tornando portanto o projecto de circuito terra mais complexo e dispendioso.

Na figura 3.13 podemos visualizar a resistividade média encontrada em solo Português.

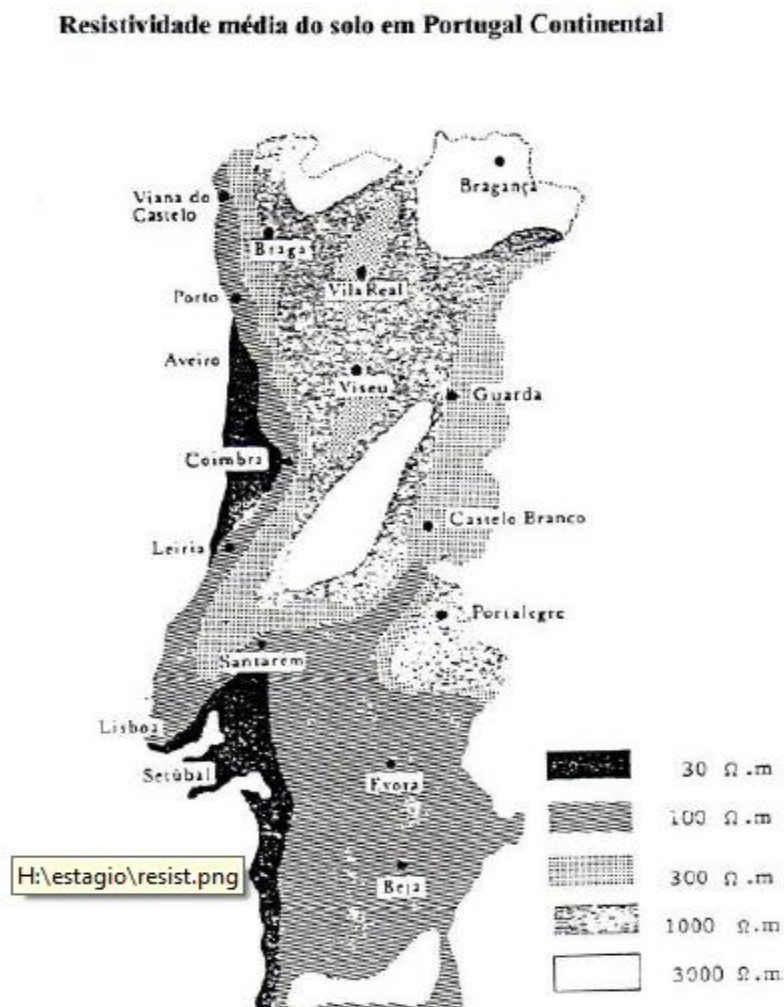


Figura 3.13 – Resistividade média do solo

Uma vez que já entendemos os riscos e consequências da passagem de corrente eléctrica pelo corpo humano e também da obrigatoriedade de um valor baixo de resistência terra para podermos ter um funcionamento eficaz das protecções, vou dar exemplos de três situações em que não existe circuito terra, em que existem um circuito terra com alta resistência à terra e por ultimo um circuito terra com baixa resistência à terra, para que desta forma seja melhor entendido.

Nos quadros eléctricos de qualquer habitação, o aparelho que assegura a protecção é o aparelho de protecção diferencial. Qualquer aparelho de protecção diferencial (Figura 3.14) é calibrado para detectar correntes geradas por um defeito à terra e assim que essa corrente ultrapassar o valor para o qual o diferencial foi calibrado, este abre o circuito isolando a parte em defeito e desta forma eliminando qualquer risco de perigo.



Figura 3.14 – Aparelho de protecção diferencial

No caso de não existir um circuito terra, o aparelho diferencial nunca irá interromper o circuito pois não tem como detectar a corrente à terra visto esta não existir devido à falta do circuito terra. Assim sendo, um utilizador que tocar num aparelho em defeito, irá servir de condutor à corrente eléctrica e portanto sentirá o tradicional “esticão” produzido pela passagem de corrente eléctrica.

Nesta situação, se o utilizador proporcionar a passagem de corrente eléctrica à terra, poderá escapar apenas com danos menores pois caso tivesse tocado no aparelho em defeito e numa outra massa metálica ao mesmo tempo, a corrente iria seguir o caminho da massa metálica diminuindo drasticamente o valor da sua resistência e como tal levando indiscutivelmente a danos irreversíveis. (Pinto, 2011)

Olhando agora ao caso de existir um circuito terra com resistência terra alta, sabemos que a corrente à terra será baixa e como consequência o diferencial não irá actuar. Numa primeira observação, sabemos que apesar de baixa, irá estar constantemente uma corrente a fluir para a terra podendo levar a uma sobrecarga dos cabos e equipamentos que apesar de pequena, poderá danificar os mesmos ao longo do tempo. No caso do utilizador, assim que este tocasse no aparelho em defeito, irá formar um circuito em paralelo com o circuito terra e como resultado as correntes iriam ser muito menores que no caso anterior, mas como já sabemos, a mesma corrente num adulto ou numa pequena criança tem efeitos diferentes.

Nesta mesma situação, se o utilizador tocasse no aparelho de defeito e numa outra massa metálica, não haveria problema algum pois todas as massas metálicas estariam ligadas ao circuito terra e como tal a diferença de potencial entre elas será nulo.

Por último, tendo uma resistência terra baixa, mal ocorra uma corrente de defeito num aparelho à terra, o diferencial irá detectar a anomalia e desta forma vai actuar abrindo o circuito e evitando assim que qualquer contacto com o aparelho em defeito seja prejudicial ao utilizador.

Desta forma podemos perceber a razão da existência de limites para o valor de resistência terra a usar nas mais diversas instalações, sejam elas redes de baixa tensão, média tensão, postos de transformação, entre outras.

4. RESISTIVIDADE DO SOLO, REDES DE TERRAS E MELHORIA DE TERRAS NAS ET'S

4.1 Resistividade do solo/terra

Para um projecto de um sistema de aterramento de telecomunicações, é de grande importância o conhecimento prévio das características do solo, principalmente a sua homogeneidade da sua constituição, como tal o primeiro passo é ir ao local onde se vai implementar a estação de telecomunicações e realizar um conjunto de medições da resistência de terra e calcular de seguida a resistividade de terra no local onde efectuamos essa medição. Mediante os valores encontrados iremos fazer um estudo relativamente à resistência de terra que esperamos e o tipo de eléctrodos ou chapas de cobre a usar, sendo que há uma proporcionalidade de quanto menor for o valor da resistividade de terra, melhores valores vamos obter para a resistência de terra fundamental na escolha dos locais de implementação das ET's.

A resistividade de terra (ρ) é utilizada para designar o comportamento eléctrico do solo quando o mesmo está a ser percorrido por uma corrente eléctrica, sendo a sua unidade o ohm/m.

A tabela 4.2 fornece a resistividade de diferentes naturezas de solo compreendidas entre valores e são ajuda fundamental na elaboração de um projecto de malha de terra, desde que não se disponha de medições adequadas. No entanto, para cálculos precisos de resistividade do solo torna-se fulcral recorrer equipamentos de medição, como o utilizado neste trabalho, *Italia HT-5080* e recorreremos ao método de eleição para os nossos objectivos, designado por Método de Wenner. (Motorola, 2010).

4.2 Método de Wenner – Método de medição

Este método é fundamental para o estudo realizado e é nele que assenta grande importância para a percepção de toda a envolvente das redes de terras. Consiste na colocação de 4 eléctrodos de teste em linha, separados por uma distância A e enterrados no solo a uma profundidade de 20 cm. Os 2 eléctrodos das extremidades estão ligados aos terminais de corrente $C1$ e $C2$, sendo que os 2 eléctrodos centrais estarão ligados aos terminais de potencial $P1$ e $P2$ do *HT5080*.

Com a utilização de furos artesianos e colocação de varetas verticais calculamos a RET da seguinte forma:

$$RET = \frac{\rho}{2 \times \pi \times l} \times \left(\ln \left(\frac{4 \times l}{r} \right) - 1 \right)$$

(4.1)

Para varetas horizontais, utilizamos a seguinte fórmula:

$$RET = \left(\frac{\rho}{\pi \times l} \right) \times \left(\left(\ln \frac{2 \times l}{\sqrt{2 \times r \times h}} \right) - 1 \right)$$

(4.2)

Os próprios aparelhos de medição dão-nos este valor de RET, sendo que o nosso trabalho é fazer uma análise a todos os diferentes meios de forma a estabelecer melhorias.

Tabela 4.2 – Resistividade dos solos

Natureza dos solos	Resistividade (Ohm · m)	
	Mínima	Máxima
Solos alagadiços e pantanosos	-	30
Lodo	20	100
Húmus	10	150
Argilas plásticas	-	50
Argilas compactas	100	200
Areia argilosa	50	500
Areia silicosa	200	3.000
Solo pedregoso nu	1.500	3.000
Solo pedregoso coberto com relva	300	500
Calcários moles	100	400
Calcários compactos	100	5.000
Calcários fissurados	500	1.000
Xisto	50	300
Micaxisto	-	800
Granito e arenito	100	1.000

A **resistividade do solo** é então dada pela seguinte expressão: $\rho = 2 \cdot \pi \cdot a \cdot R_a$

ρ – Resistividade da terra

a – distancia entre os eléctrodos

R_t – Resistência da terra medida

Sendo que o espaçamento entre eléctrodos pode ser relacionado com a profundidade a que se refere essa mesma medição. Profundidade essa que é 75 % do espaçamento ($P=0,75*a$).

De forma a obtermos bons resultados, devem seguir-se alguns passos importantes:

- Os eléctrodos devem encontrar-se sempre alinhados;
- A distância entre os eléctrodos deve manter-se sempre uniforme, deve ser a mesma;
- Os eléctrodos devem ser cravados no solo com uma profundidade de cerca de 20cm ou até que apresentem resistência mecânica consistente, definindo com isso uma resistência boa de contacto;
- Para cada espaço definido entre eléctrodos, deve ajustar-se o potenciómetro e o multiplicador do *HT5080* até que o galvanómetro do aparelho indique zero com o equipamento ligado;
- Por outra forma, o espaçamento entre eléctrodos deve variar com a série da tabela CV, equivalente a uma medida por ponto para cada distância considerada;
- A distância entre as hastes corresponde à profundidade do solo (Correspondência real e prática no trabalho desenvolvido no terreno que surgirá mais à frente), em que a resistividade que se está a medir conforme é demonstrado na tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Resistividade média do solo

Posição dos eletrodos	Resistividade medida					Resistividade média Ohm.m
	Pontos medidos					
Distância (m)	A	B	C	D	E	
2						
4						
8						
16						
32						

R – Valor da resistência do solo, indicado no potenciómetro do HT5080 (ohm);

A – Distância entre eléctrodos (m);

Depois de obtermos os valores da medição, deve calcular-se a resistividade média:

- Calcular a média aritmética dos valores da resistividade do solo para cada espaçamento considerado;
- Calcular o desvio de cada medida em relação à média aritmética anteriormente determinada;
- Desprezar todos os valores de resistividade que tenham um desvio superior a 50% em relação à média;
- Para um grande numero de valores desviados da media, é conveniente repetir as medições em campo;
- Caso os resultados anteriores se mantenham, a região pode ser considerada como não aderente ao processo de modelagem do método de Wenner;

A figura 4.2 ilustra a disposição dos eléctrodos no plano do terreno e a direcção em que devem ser realizadas as medições da resistividade.

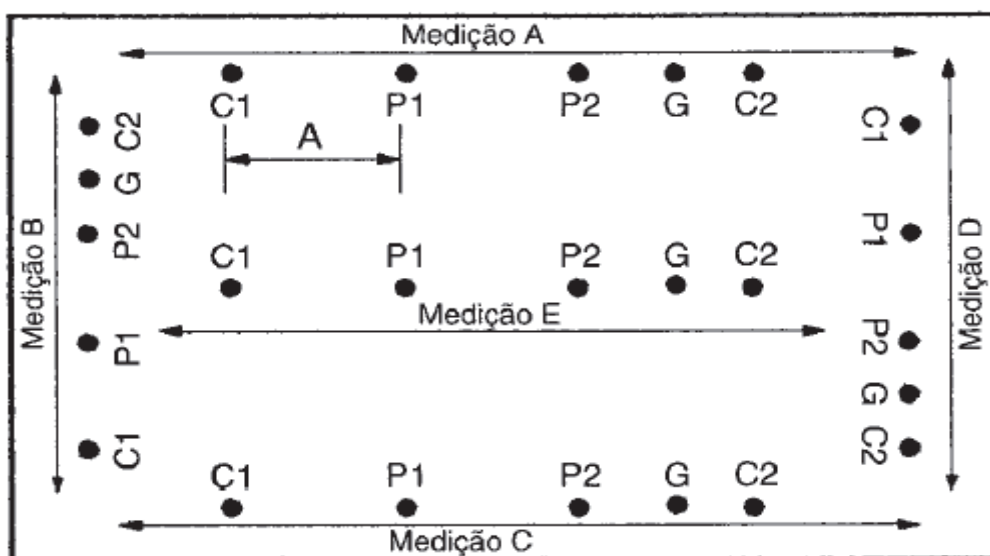


Figura 4.2 - Posição dos eléctrodos no terreno para medição da resistividade

- Se o ponteiro do galvanómetro oscilar insistentemente, isso significa que existe alguma interferência, que deve ser eliminada ou minimizada, afastando-se por exemplo, os pontos de medição.
- Devem ser anotadas as condições de humidade, do solo e a temperatura;
- O valor da resistividade é então dado pela fórmula $\rho = 2 \cdot \pi \cdot A \cdot R$ (Ω/m).

4.3 Factores que têm influência na resistividade do solo

Como verificado anteriormente na tabela 4.2, existem diferentes tipos de solos, abordaremos agora um tema relacionado com a composição química e com a humidade do solo:

4.3.1 Composição química

Quando se depara a presença de sais solúveis em distintas quantidades presentes no solo, assim como ácidos, obviamente vamos ter uma influência directa dos mesmos sobre a resistividade do solo. É muito usual na realização deste trabalho prática, a opção de que sempre que tenhamos que reduzir a resistência das malhas de terra, utiliza-se estratégias, sendo uma delas a adição adequada de produtos químicos no solo circundante ao eléctrodo de terra. Com a existência de vários produtos químicos, é possível obter misturas Bastante interessantes com recurso óbvio à água, cujas características do mesmo:

- São insolúveis na presença de água;
- Não são corrosivos;
- Não são atacados por ácidos;
- Têm longa duração;
- Dão estabilidade química ao solo;
- São higroscópicos;

A mistura de água e carvão vegetal obtém alguns resultados, sendo que alguns de curta duração de eficiência. Na elaboração deste projecto e em contacto com o terreno, encontramos a mistura de um químico bastante interessante que consegue fazer com que obtenhamos resultados bastante interessantes, chamamos-lhe o Químico-D.

4.3.2 Humidade

Quando a humidade é variada na composição de um solo, é proporcional à alteração da resistividade do solo e da resistência de uma malha de terra, principalmente quando este valor cai abaixo dos 25%. Esta é a estratégia para implantação dos eléctrodos de terra a elevadas profundidades de forma a estarem rodeados da maior humidade possível.

Outra das estratégias passa pela utilização de uma camada de brita de cerca de 15 cm sobre a área da malha, servindo apenas para retardar a evaporação da água do solo, além de que oferece uma óptima resistividade $3000\text{ohm}\cdot\text{m}$ e reduz os riscos de acidentes fatais durante a ocorrência de falta entre a fase e terra.

4.3.3 Temperatura

A resistência de terra e a resistividade do solo são bastante afectadas pela temperatura quando cai abaixo dos 0°C . Para temperaturas acima de 0°C a resistividade e a resistência reduzem.

4.4 Materiais utilizados na melhoria de terras

4.4.1 Eléctrodos de terra

Existem 2 grupos diferentes de eléctrodos de terra, sendo eles os eléctrodos horizontais e os eléctrodos verticais. Os eléctrodos verticais têm uma profundidade de aterro mínima de 1 metro de profundidade podendo ir até vários e podem ser varetas extensíveis e podem ser usadas também em paralelo. Os eléctrodos horizontais têm por seu turno uma profundidade de aterro máxima de 1 metro, são constituídos por condutores nus e têm configurações simples, ou em anel ou serpentina.

Deparamo-nos muitas vezes com alguns limites para instalar eléctrodos horizontais devido às limitações de espaço, pelo que é fulcral fazer um estudo prévio do local. O técnico deve mesmo ver o tipo de eléctrodo a escolher, o seu comprimento, secção, profundidade e forma. Deve preferencialmente escolher um com boas protecções mecânicas e resistentes às condições meteorológicas, corrosões e resistência mecânica.

Existem tabeladas secções mínimas de eléctrodos a utilizar, de forma a garantir esforços a diferentes passagens de correntes, sendo que os utilizados no projecto variam entre os 25mm² ou 35mm² de cobre nu. (Ferreira, 2012).

4.4.2 Varetas (Verticais):

Este é seguramente o método mais utilizado na realização de melhorias de solo patente neste relatório, sendo que é mesmo bastante utilizado. Utilizou-se em abundância as varetas extensíveis/roscadas e por diversas vezes sentimos que deveria usar-se ainda em maior número mas também considerava um elevado custo.

Nas ET's onde os circuitos de protecção à terra são constituídos por malhas modernas de protecção através de condutores enterrados em tipologia de malha, verificou-se que essas malhas ligam às ET's através de varetas (Figura 4.3). A união das varetas é em forma de roscas e isso foi utilizado nos furos artesianos em abundância.



Figura 4.3 – Vareta de tipologia roscada

O uso deste tipo de varetas permitiu várias vezes a obtenção de valores baixos de resistência eléctrica à terra, sendo que a sua implementação é um pouco trabalhosa neste caso em que é um furo artesiano, mas é bastante económica em termos de espaço, sendo monetariamente agradável. Por vezes estas varetas não foram utilizadas me furo artesiano, mas sim em paralelo em zonas que ocupavam bastante mais área.

Estas varetas têm vantagens ao nível da redução da tensão de passo, sendo que desta forma a corrente de defeito é dividida de forma a impedir grandes gradientes de potencial no solo. Utilizou-se preferencialmente varetas com cerca de 15mm ou 25mm e com comprimentos de cerca de 2 metros.

Verifiquemos agora a fórmula que mais aproxima o valor da resistência eléctrica à terra (Vareta isolada):

$$RET = \frac{\rho}{2 \times \pi \times l} \times \left(\ln \left(\frac{4 \times l}{r} \right) - 1 \right)$$

(Eq 4.3)

ρ – Resistividade do solo ($\Omega.m$)

l – Comprimento da vareta (m)

r – Raio da vareta (m)

Para um número mais elevado de varetas em paralelo, a formula que mais aproxima o valor da resistência eléctrica à terra é dada por:

$$RET_n = \frac{1}{n} \times \left[\left(\left(\frac{\rho}{2 \times \pi \times l} \right) \times \left(\ln \left(\frac{4 \times l}{r} \right) - 1 \right) \right) + \left(\frac{\rho}{\pi \times d} \times \left(\frac{1}{2} + \dots + \frac{1}{n} \right) \right) \right]$$

(Eq 4.4)

r – Raio da vareta (m)

ρ – Resistividade do solo ($\Omega.m$)

l – Comprimento da vareta (m)

d – Distancia entre varetas (m)

n – Numero de eléctrodos

Quando existem varetas em paralelo há uma condição que deve ser respeitada, ou seja, vamos verificar mais à frente a forma prática de colocação das varetas a uma distância mínima de 2,5m quando as varetas têm um comprimento de 2m (O valor da distância entre as varetas deve ser superior ao seu comprimento), isto porque é uma forma de evitar fenómenos de interacção entre tomadas de terra. Apresentaremos nos exemplos práticos em que verificaremos a evolução gráfica da resistência eléctrica à terra com o aumento do número de eléctrodos. (Salari e Portela, 2008)

4.4.3 Condutores horizontais:

Neste tipo de eléctrodos não temos grande utilização, sendo que é importante apontar as suas diferenças e benefícios para melhor compreensão e utilidade futura apesar de considerarmos que tenham um fraco desempenho (Figura 4.4).

No entanto, não deixam de ter a sua importância para a utilização em alguns solos, mas a sua importância torna-se ainda maior uma vez que até são eles que fazem a interligação entre as varetas verticais.

A expressão que nos dá a sua resistência eléctrica à terra é a seguinte:

$$RET = \left(\frac{\rho}{\pi \times l} \right) \times \left(\left(\ln \frac{2 \times l}{\sqrt{2 \times r \times h}} \right) - 1 \right)$$

(Eq 4.5)

ρ – Resistividade do solo

l – Comprimento do condutor

h – Profundidade de enterramento

r – Raio do condutor

Por vezes e quando a área de implantação da ET não nos permite, utilizamos este condutor, que por vezes não consegue estar na horizontal mas conseguimos inseri-lo em formato serpentina.



Figura 4.4 – Condutor horizontal em formato serpentina

As valas realizadas para estas situações têm cerca de 0,8m de profundidade, a sua extensão é variável e tem uma largura de cerca de 0,5m.

4.4.4 Chapas:

As chapas utilizadas nas melhorias eram sempre chapas cobreadas, com altos e importantes valores de eficiência. Apesar da evolução da melhoria de terras considerar que este elemento está em desuso (chapas), foi considerado fulcral nas melhorias de terras uma vez que também era opcional pela operadora que o instalasse, desde que resultasse em melhorias nem que fossem pouco significativas.

Para estas chapas, a fórmula que consideramos para a resistência eléctrica à terra é a seguinte:

$$RET = \left(\frac{\rho}{4}\right) \times \sqrt{\pi/2 \times A}$$

(Eq 4.6)

ρ – Resistividade do solo
A – Área da chapa usada

4.4.5 Anéis:

Os eléctrodos de terra em forma de anéis, conseguem atingir valores bastante apreciáveis, mas a área que ocupam é considerável. Utilizamos para aproximação à resistência de terra a seguinte expressão:

$$RET = 0,366 \times \frac{\rho}{2 \times \pi \times r} \times \left(\log \left(\frac{16 \times r}{d} \right) + \log \left(\frac{4 \times r}{h} \right) \right)$$

(Eq 4.7)

ρ – Resistividade do solo
r – Raio do anel
d – Diâmetro do condutor utilizado
h – Profundidade de enterramento

4.5 - Precauções de segurança durante as medições de resistência de terras:

Quanto a perigos próximos que possam aparecer tanto a estes sistemas como a estruturas condutoras enterradas, devem sempre de ser tomados alguns cuidados e medidas de segurança na zona de implantação das estações rádio-base:

- Evitar medidas sobre condições atmosféricas adversas, pois podem ocorrer descargas atmosféricas, sendo ordem para os técnicos de telecomunicações abandonarem a estações; (Caso do rebentamento dos *arresters*)
- Usar sempre calçados isolantes e luvas;
- Não tocar nos fios e nos eléctrodos;
- Evitar a presença de outras pessoas alheias ao serviço, assim como animais;

4.6 Melhoramento do solo

Existe uma necessidade emergente de contornar certas dificuldades que os solos por vezes nos apresentam e o desenvolvimento deste projecto é prova disso, pois os valores de terra nem sempre são aqueles que pretendemos. Posto isto, é necessário proceder ao melhoramento do solo de forma a melhorar a eficácia de ligação à terra, baixando a resistividade da mesma, principalmente em áreas de fraca condutividade (áreas com grande variação de humidade e zonas rochosas, , solo arenoso, entre outros), sendo que estas prevalecem em grande número nas zonas que exploramos este assunto. De forma a conseguirmos contornar estes valores, a adição de químicos ao solo é uma das únicas salvações possíveis para obtermos bons valores de resistência de terra, mas não só os químicos são fulcrais como abordamos anteriormente.

Uma das técnicas mais usuais é o uso de carvão vegetal, assim como umas ligas de inox com um químico especial. Para eléctrodos horizontais, as valas são enchidas com uma camada de 10 cm a 30 cm. Para eléctrodos verticais, todo o furo é enchido com carvão vegetal, conseguindo desta forma melhorias significativas.

Outra técnica é o uso de sal, mas devido a corrosão dos eléctrodos e por desaparecer facilmente com o passar do tempo, não é praticamente usada visto necessitar de uma manutenção cuidada.

Assim como o sal, também o uso de sulfato de cobre pode ser usado para melhorar a resistência terra, mas devido aos mesmos problemas de corrosão e contaminação do solo, tornou-se numa técnica obsoleta.

De forma a obter um melhoramento de resistência terra, temos como principal solução o *Ground Enhancing Material (GEM)*, que é um material de condutividade superior, melhorando assim drasticamente a capacidade do solo escoar carga eléctrica, mas também é um encargo bem dispendioso.

Podemos abordar uma série de vantagens quando recorremos ao uso de GEM:

- Não existe qualquer necessidade de manutenção, sendo que o mesmo também não é solúvel;
- Não contamina o solo e tem uma duração de vida superior aos eléctrodos que são utilizados.
- A resistividade do solo encontrada com o aditivo normalmente varia entre 12 – 18 Ohm cm;

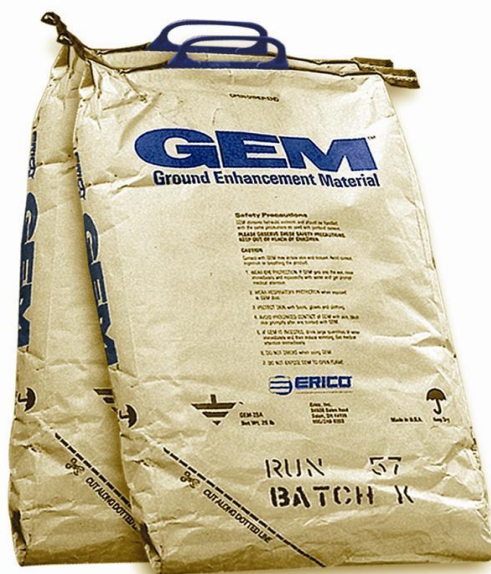


Figura 4.5 – GEM (Componente químico utilizado para baixar valores da resistência de terra)

4.6.1 Análise de resistividades e método de medição da resistência de terra:

Efectuamos trabalhos de melhoramento de terras ao nível do solo com cálculos de resistividade do solo e apoio no desenho da solução, assim como os condutores de terra onde se implementam soluções diferentes (uso de cobre, chapas de cobre, ligas de inox, aço cobreado, mistura de gem, carvão, condutores maciços, etc). A implementação de eléctrodos de terra de grandes profundidades nos furos artesianos ou em grande extensão em redes (aço cobreado, aço galvanizado, aço inox) assim como as chapas de cobre têm o uso mais recorrente na implementação de melhorias de terras. O método utilizado para a medição da resistência de terras é como já referimos, o método de Wenner.

4.6.2 Verificação do circuito de terra:

Depois de montado o circuito de terra, existem diversas formas de os testar, isto de forma a obter o primordial deste estudo, ou seja, o melhor valor possível da resistência de terra enquadrado nos parâmetros pretendidos.

São designados 4 tipos de métodos distintos para a verificação do circuito de terra, sendo que o mais preponderante e utilizado pela empresa é desenvolvido o estudo é o método de queda de tensão. Existem então os 4 métodos seguintes:

- Método de queda de tensão;
- Método bipolar;
- Método selectivo;
- Método de medida sem eléctrodos auxiliares;

4.6.3 – Método de queda de tensão

Sendo este método o mais comum nos projectos das verificações do circuito de terra nas ET's, é então o mais utilizado quando as condições do terreno permitem a sua utilização, isto porque é sempre necessário manter 2 eléctrodos enterrados e por vezes o solo não é o nosso maior amigo e dificulta o processo.

Neste método, o aparelho para executar a medição é designado por telurometro e requer três ligações para realizar a medida da resistência de terra, sendo que o nosso aparelho é bastante preciso e requer quatro ligações de forma a eliminar a resistência dos próprios cabos de ensaio.

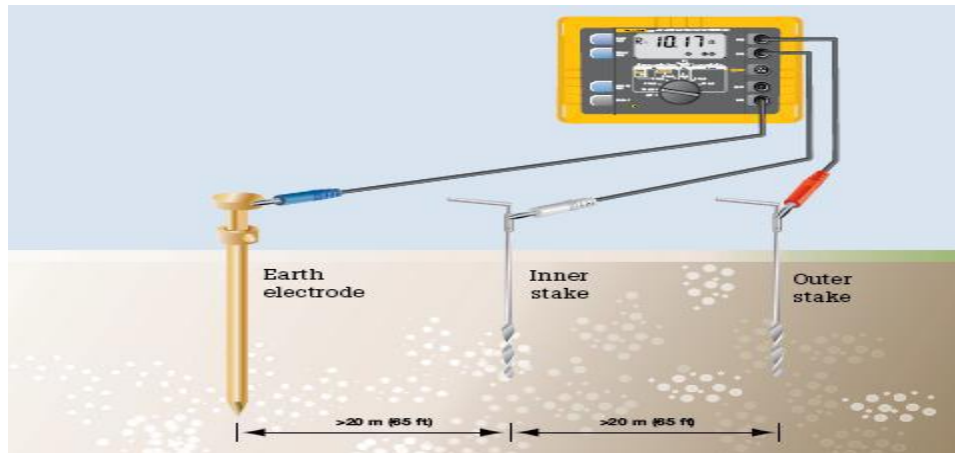


Figura 4.6 – Método da queda de tensão

Nesta funcionalidade, o telurometro vai injectar uma corrente alternada na terra através do eléctrodo de terra sob teste e o eléctrodo de corrente, medindo de seguida a queda de tensão entre o eléctrodo terra sob teste e o eléctrodo de tensão, sendo que o resultado é o calculo da resistência através da lei de ohm. É fundamental que os eléctrodos de corrente e tensão estejam devidamente alinhados de forma a haver precisão nos resultados. Nos ensaios práticos é necessário efectuar várias repetições, como veremos posteriormente.

É conveniente no final das medições, perceber o comportamento e o seu resultado, sendo habitual a representação sob gráfico dos resultados obtidos.

5. MÉTODOS COM
APLICAÇÕES PRÁTICAS
REAIS E
COMPLEMENTO COM
SIMULAÇÃO
ATRAVÉS DE
FERRAMENTA
INFORMÁTICA

O desenvolvimento de todo este estudo teve como objectivo verificar o que acontece na realidade em Redes de terras quando associadas às estações de telecomunicações que a empresa constrói e quais as formas de contornar os caminhos menos bons com que nos deparamos diariamente.

É por isso fulcral efectuar um conjunto de técnicas, assentadas sobretudo nas comparações entre implementações de forma a que seja reunida um conjunto de melhorias significativas e também a escolha do método mais correcto para as melhorias de terras, pensando na conciliação eficácia de resultados – eficácia económica.

Efectuou-se a análise a 3 casos de estudo, as quais foram acompanhadas desde a raiz, até à aceitação por parte do operador de telecomunicações. As análises foram feitas para diferentes tipos de solo e aí vai perceber-se que nem sempre é possível atingir o resultado desejado que nós tentamos sempre contrariar no desenvolvimento deste projecto.

Abordaremos de imediato o que diz respeito a alguns aspectos importantes utilizados nos 3 métodos, sendo que esta parte é comum às 3 situações (Terra de protecção, equipamentos protecção contra sobreintensidades e equipamentos protecção contra sobre tensões)

Terra Protecção

Os sistemas eléctricos de transmissão e de utilização de energia, são estabelecidos com um determinado esquema de ligação à terra. No nosso caso é utilizado o esquema T-T (1º Letra: Ligação do neutro à terra; 2º Letra: Massas ligadas directamente à terra independentemente da eventual ligação do neutro à terra). (RTIEBT, 2006)

Esta ligação visa essencialmente:

- Garantir condições de Segurança;
- Garantir a continuidade de serviço na exploração;

- Oferecer condições que permitam a adopção de sistemas de protecção de pessoas contra contactos indirectos.

A protecção de pessoas contra contactos indirectos considera-se ser efectuada por respeito integral das condicionantes expostas no art.º 413.1.4 das R.T.I.E.B.T. Para protecção das pessoas contra contactos indirectos é adoptado o sistema de ligação directa de todas as massas metálicas à terra (Regime TT), associado ao emprego de aparelhos sensíveis à corrente diferencial residual. A fim de dar cumprimento ao disposto nas R.T.I.E.B.T. a escolha da sensibilidade desses aparelhos garantirá em qualquer caso que as tensões de contacto não serão em nenhuma situação superior a 50 V.

$$R_A \times I_A \leq 50$$

(Eq 5.1)

Em que:

- R_A é a soma das resistências do eléctrodo de terra e dos condutores de protecção das massas, em ohms;
- I_A , é a corrente diferencial-residual dos dispositivos de protecção diferencial – 300mA

$$R_A \times I_A \leq 50 \leftrightarrow R_A \leq 50 / 0,3 \leq 166,67 \text{ ohm}$$

(Eq 5.2)

Analisando os resultados obtidos e à luz das Regras Técnicas (RTIEBT, 2006), a melhoria do eléctrodo de terra implementada garante de forma eficaz, a segurança da infra-estrutura eléctrica e também a segurança das pessoas tendo em conta a utilização prevista.

As partes activas são isoladas pelo recurso a equipamentos que são conformes aos regulamentos em vigor e com a sua correcta aplicação na instalação (Máquina Ar

Condicionado; Quadro Eléctrico e seus constituintes; Armaduras de Iluminação, Equipamentos de Transmissão).

Equipamento protecção contra sobreintensidades

As estações *SIRESP* encontram-se protegidas contra sobreintensidades, através dos disjuntores existentes em cada um dos circuitos do QAC, além desta protecção têm também protecção diferencial já referenciada anteriormente.

Equipamento protecção contra sobre tensões

Para a protecção de equipamentos é importante garantir que todos os elementos metálicos da estação se encontram interligados à rede de terras da estação. Sendo este um requisito das estações *SIRESP*, a presente instalação cumpre este requisito.

Adicionalmente, de acordo com as boas práticas, todos os circuitos que entram numa estação devem estar protegidos com descarregadores de sobretensão. Abaixo apresentamos a caracterização das protecções contra descargas atmosféricas existentes:

- **Descarregadores de sobretensão e descargas atmosféricas na alimentação da estação:**

Encontram-se instalados à entrada de energia da estação no QAC descarregadores de sobretensão da marca Phoneix Contact, modelo – *VAL-MS230ST*, nível de protecção II, com capacidade de corte nominal de 20kA. Este sistema encontra-se de acordo com o especificado e aprovado para o projecto *SIRESP*. De acordo com o fornecedor dos descarregadores o seu funcionamento é independente do valor de terras.

- **Surge arrestor RF:**

A entrada das antenas encontra-se protegida por arrestors da marca Polyphaser, modelo VHF50HD.

- **Surge arrester “Modem PT”:**

Protecção normalmente dimensionada e instalada pela PT. Em nossa opinião todas as estações deveriam estar equipadas com este equipamento. Consideramos que deverá ser instalada protecção DEHN com a referência BCT MOD B110, sendo que outra protecção que eventualmente se considere mais adequada poderá ser identificada e instalada pelo fornecedor do meio de transmissão.

- **Surge arrester GPS:**

A entrada da antena GPS encontra-se protegida por arrester da marca Polyphaser, modelo IX-3L2DC48.

A figura 5.1 exemplifica os pontos de protecção:

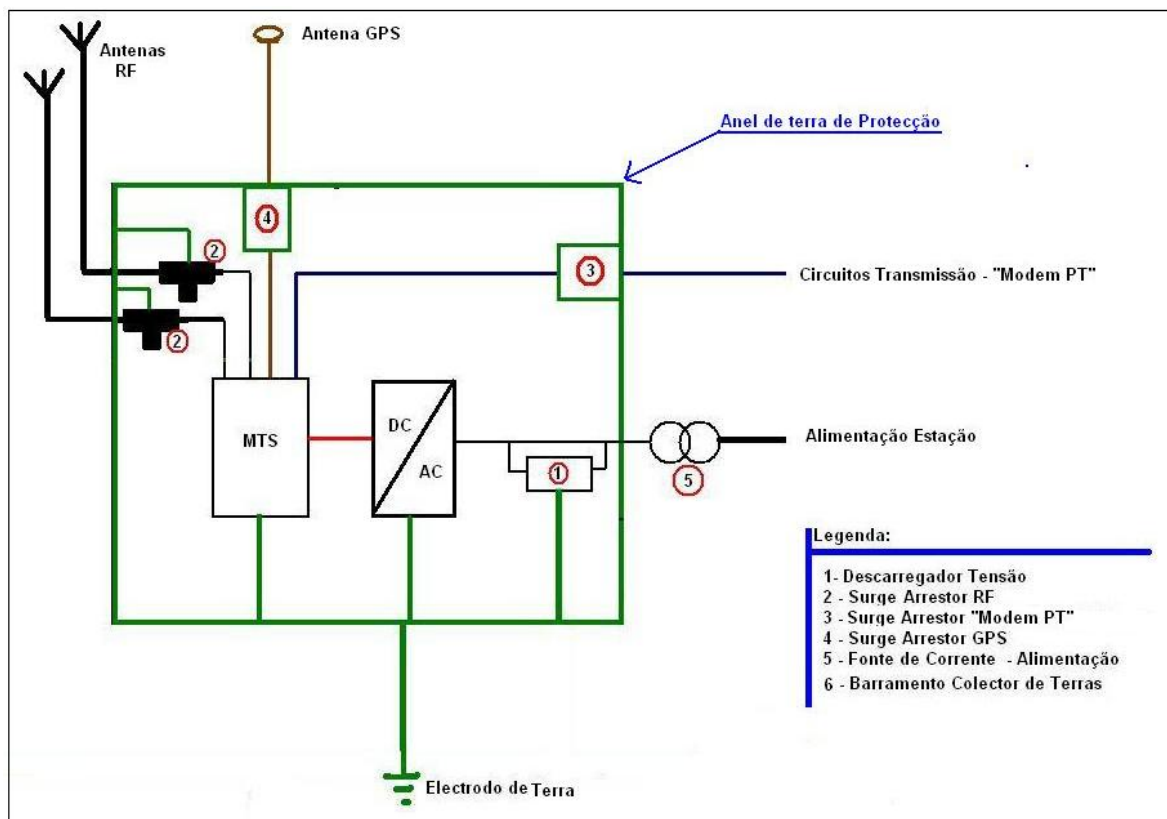


Figura 5.1 – Sistema de protecção contra sobre tensões

FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO ERICO GEM:

Utilizou-se uma ferramenta de apoio aos casos reais desenvolvidos, denominada de ERICO. Esta ferramenta por ser simples e assentar em bases eficazes, passou por ser a mais interessante na sua cooperação.

A empresa tem licença da ferramenta e é então uma das únicas no mercado a explorá-la.

Este programa calcula a resistência de terra através do ERICO GEM. Este programa estima a quantidade de GEM requerida (Importante para a diminuição do valor da resistência de terra e para a manutenção de valores consideráveis durante vários anos) e é válida para eléctrodos horizontais e verticais. Os resultados são aproximações dos resultados teoricamente reais. (Caddy, 2009).

Apresentamos abaixo o quadro principal da ferramenta, sendo que o único MENU abordado neste tema é o “GEM Calculator” responsável pelo interface com o utilizador (Visível na figura 5.2). Podem ser inseridos valores da profundidade dos eléctrodos, espaçamento entre os eléctrodos, número de furos realizar para inserção de eléctrodos, dimensão dos eléctrodos e o número de eléctrodos utilizados. Em contrapartida, são-nos fornecidas informações de quais os eléctrodos necessários a utilizar para obter valores de Resistência de terras pretendidos e uma ajuda nos cálculos das áreas necessárias de implementação.

Podemos também fazer uma conjugação na utilização de misturas de terra ou carvão vegetal, onde todos os valores do programa estão interiormente tabelados.

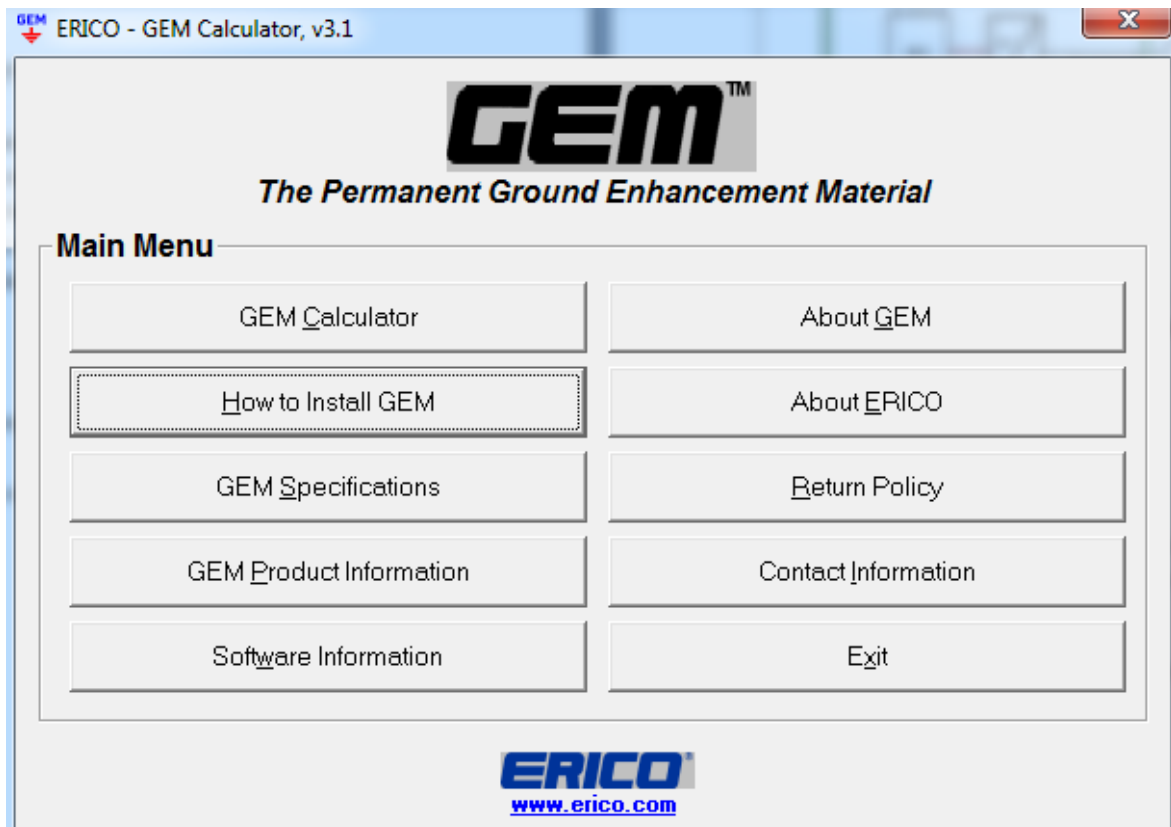


Figura 5.2 – Interface do programa ERICO GEM

5.1 – 1º CASO ESTUDO

O **primeiro caso de estudo e implementação** assenta na Estação de Telecomunicações **BARROSELAS**, por motivos de verificação do seu valor ohmico ser superior a 10Ω foi necessário efectuar melhoria da rede de terras:

O site **BARROSELAS**, assenta numa faixa de solo de características geológicas essencialmente graníticas e grés alterados. Nestes solos os valores padrão da resistividade estão entre $1500-10000\Omega.m$ o que representa um elevado nível de resistividade condicionando a obtenção de um valor de resistência de terra, quando se pretende o mais baixo possível.

No âmbito dos trabalhos de melhorias do valor de terras do eléctrodo de protecção, pretende-se demonstrar e justificar os trabalhos realizados, na tentativa de atingir valores inferiores a 10Ω .

Encontra-se neste documento um registo, dos seguintes itens:

- Planta, dimensões, materiais e a localização de todos os componentes do sistema de terras de serviço.
- A natureza do solo.
- Posição dos eléctrodos de terra.
- Resultados dos testes e condições em que foram efectuados.

5.1.1 Trabalhos Efectuados

5.1.1.1 Natureza do Solo - Resistividade

A resistividade do solo, bem como a sua estratificação, são factores fundamentais para quem trabalha com sistemas de protecção eléctrica, uma vez que a resistência de terra é directamente proporcional à resistividade do solo (ρ) em que estão colocados os eléctrodos. Existem diferentes factores que podem influenciar o valor da resistência do solo, tornando-se indispensável a execução de medições no local em que se pretende fazer a nossa rede de terras (R_t). Os factores que mais influenciam o valor da nossa R_t são: a composição geológica, humidade, salinidade, compactação e a acidez (ver tabela retirada da NP4426).

A avaliação feita ao solo “in situ” através da visualização das figuras 5.3, 5.4, 5.5, 5.6 apresenta as seguintes características visíveis na página seguinte.



Figuras 5.3, 5.4, 5.5 e 5.6 – Localização da estação e meio envolvente

Na tabela seguinte a resistividade vem tabelada na ordem de 1000 a 10000 Ω .m para um solo rochoso com base de calcário e de granito e grés alterados, sendo constituído por alguma areia de sílica.

Tabela 5.1 – Valores típicos de resistividade do solo (Recolhida da NP4426)

Natureza do terreno	Resistividade em Ω m
Terreno pantanoso	0 a 30
Lodo	20 a 100
Terra vegetal	10 a 150
Turfa húmida	5 a 100
Argila plástica	50
Terra calcária ou argila compacta	100 a 200
Terra calcária do jurássico	30 a 40
Areia argilosa	50 a 500
Areia de sílica	200 a 3 000
Solo rochoso nu	1 500 a 3 000
Solo rochoso nu coberto de relva	300 a 500
Calcário mole	100 a 300
Calcário compacto	1 000 a 5 000
Calcário gretado	500 a 1 000
Xistos	50 a 300
Micaxisto	800
Granitos e grés alterados	1 500 a 10 000
Granitos e grés muito alterados	100 a 600

5.1.1.2 Medição de Resistividade

As medições foram executadas sob o método de 4 eléctrodos numa linha que atravesse a parte do terreno, onde se pretende medir a resistividade do solo (ρ).

O equipamento de medição de resistividade utilizado foi o GENIUS HT 5080.

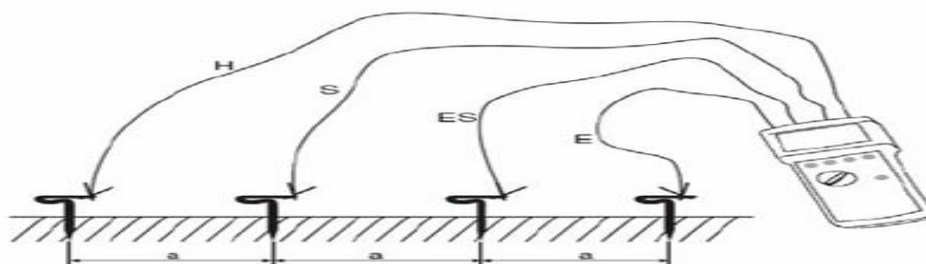


Figura 5.7 – Método de Wenner

Após a execução das medições os valores obtidos foram os seguintes:

Tabela 5.2 – Medição de resistividades (Ver anexos)

Aparelho: HT Italia				
"a" (m)	Valor B Ra	Resistividade do Solo (ohm.m) $\rho=2*\pi*a*Ra$	Valor A Ra	Resistividade do Solo (ohm.m) $\rho=2*\pi*a*Ra$
2	120,2	1510,48	372	4674,69
3	81,4	1534,35	289	5447,52
4	57,6	1447,64	225	5654,86
6	24,8	934,94	180,7	6812,22
8	19,25	967,61	163,2	8203,32
12	23	1734,16	79,2	5971,53
16	29,3	2945,55	-	-
20	21,9	2752,03	-	-

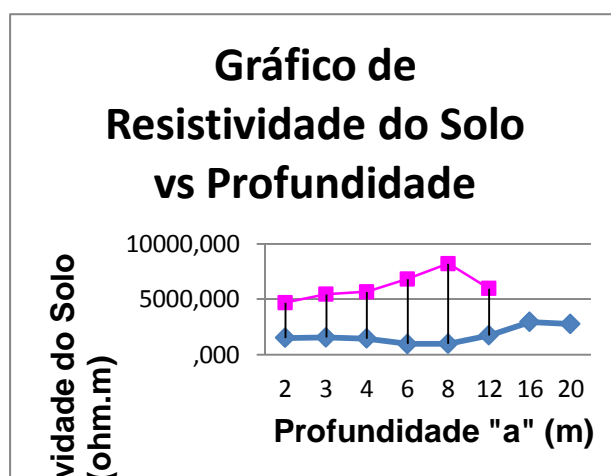


Figura 5.8 – Resistividade do solo vs profundidade

Os dados apresentados foram medidos com o aparelho *HT Italia* (Equipamento de medida) e a resistividade do solo foi calculada através do Método de Wenner.

Face aos dados obtidos pela análise do solo no local, podemos constatar que estamos na presença de um solo com um valor de resistividade pouco irregular, não se verificando um decréscimo do valor dos níveis de resistividade com o aumento da profundidade. A linha B apresenta-nos valores de resistividade mais baixas face aqueles obtidos para a linha A.

As linhas de medição são evidenciadas na figura seguinte:

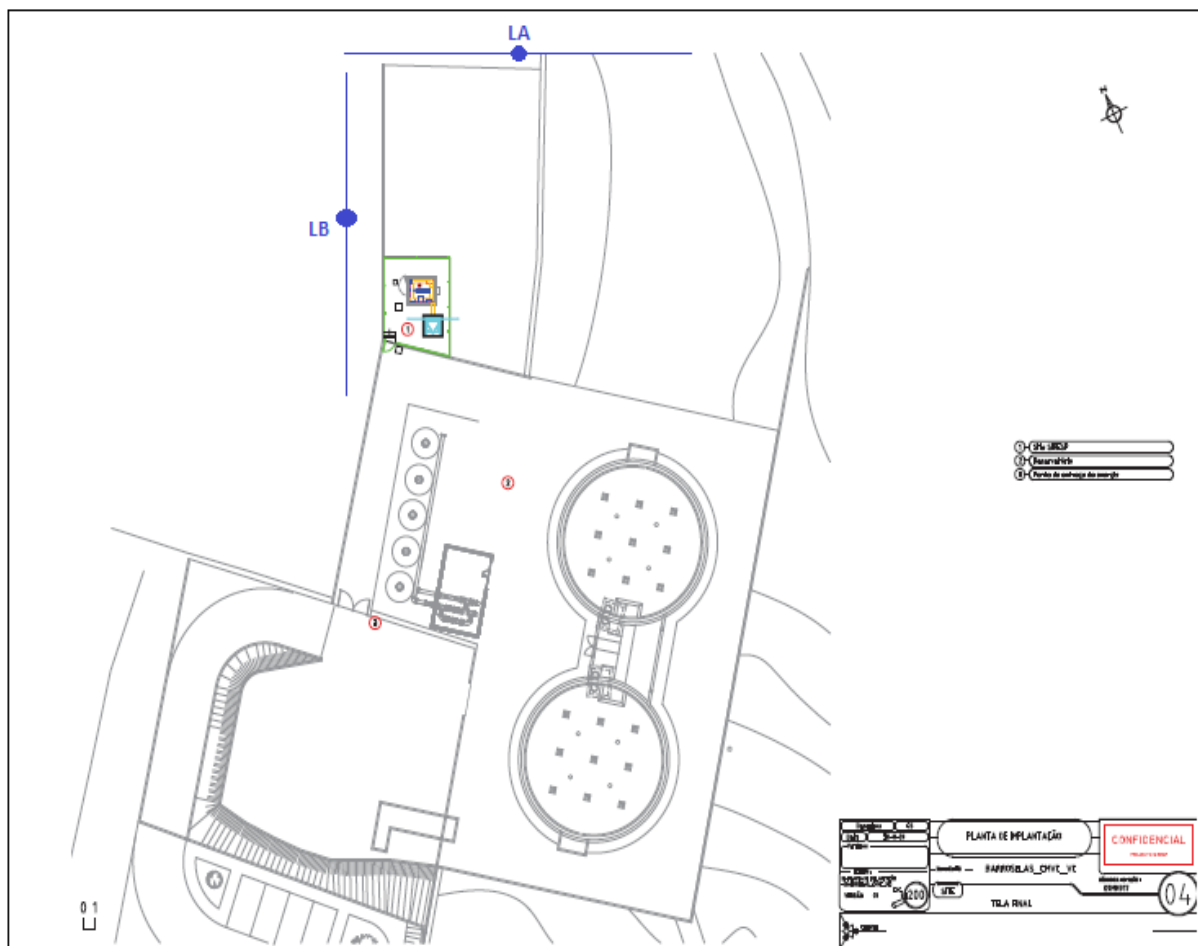


Figura 5.9 – Localização da linha de medição da resistividade junto à ET

Da análise aos valores da resistividade do solo, conclui-se que a resistividade pouco diminui com a profundidade, não apontando numa solução para o eléctrodo de terras em profundidade visto os melhores valores se encontrarem a uma profundidade de 6 metros.

Tendo em conta que o solo é praticamente rochoso e que não existe muito espaço na periferia do site, foi proposto a realização de uma vala com cerca de 0,8 metros de profundidade, na periferia da estação de forma a verificar este tipo de solução. Para as simulações foi utilizado o valor da resistividade do solo de $934,94\Omega.m$.

Recorrendo ao programa de simulação ERICO - GEM e efectuando a simulação para este tipo de eléctrodo, é possível obter um valor de resistência de 273Ω .

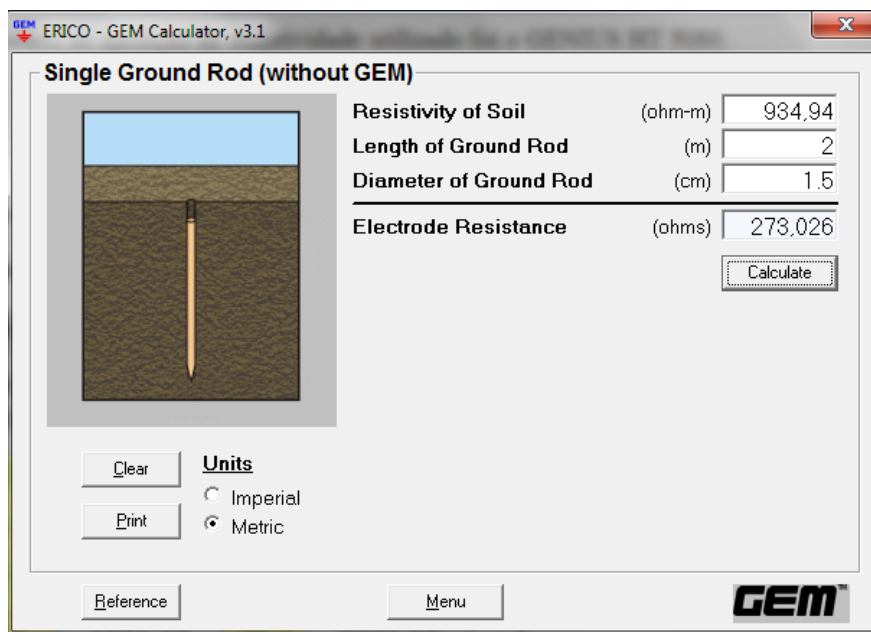


Figura 5.10 – Valor da resistência de terra para 1 eléctrodo vertical com 2 metros

Verifica-se que após a simulação, o valor da resistência de terras ainda se encontra bastante distante do pretendido e por isso realizou-se uma nova simulação de forma a obter-se um valor de resistência inferior a 10Ω .

É necessário para se obter um valor inferior a 10Ω a realização de 85 eléctrodos de terra de 2m, o que perfaz a necessidade de uma área total de $648m^2$.

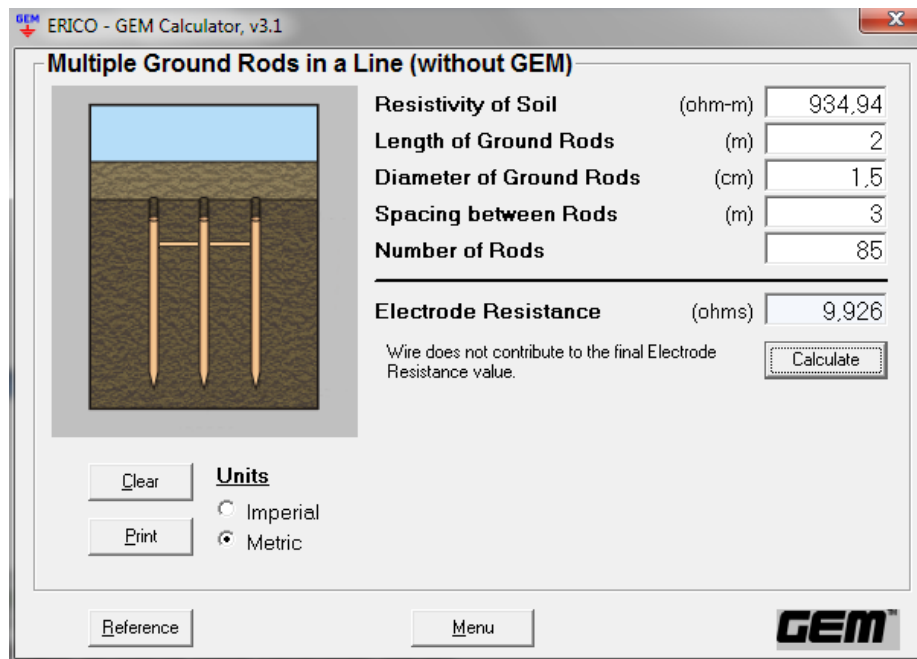


Figura 5.11 – Valor da resistência de terra para 85 eléctrodos verticais com 2 metros

5.1.1.3 Constituição do Eléctrodo Inicial – Rede terras standard 3-04-2013

Neste site foi realizada uma rede de terras constituída por eléctrodos e placas de cobre situadas na periferia do site interligados também ao anel de terras da sapata da torre. Os diferentes constituintes da respectiva rede de terras foram interligados entre si através de soldaduras exotérmicas, cabo/cabo, cabo/eléctrodo, para garantir uma boa interligação entre os equipamentos. Todas as terras foram interligadas no barramento geral de terras, alojada na caixa de visita situada na entrada da estação.

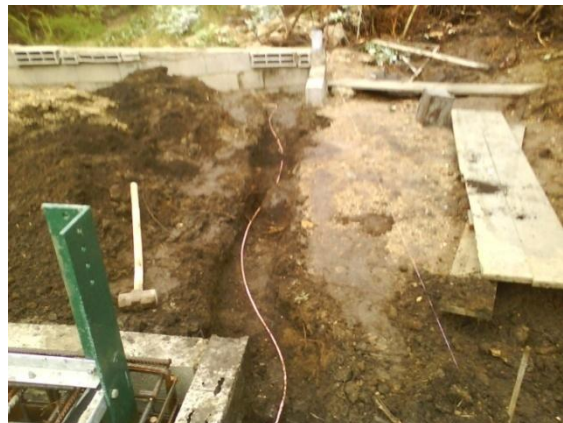
De salientar que nesta obra foram colocados 23 eléctrodos de cobre com 2 metros e 3 chapas de cobre com possibilidade de verificação nas figuras 5.12, 5.13, 5.14, 5.15, 5.16 e 5.17. Foram colocados mais 4 eléctrodos na fundação da torre, os quais foram interligados com a estrutura do maciço.



Figuras 5.12 e 5.13 – Colocação do eléctrodo de cobre em vala



Figuras 5.14 e 5.15 – Colocação das chapas de cobre em vala realizada



Figuras 5.16 e 5.17 – Anel de terra

5.1.1.5 Melhoria da resistência de terra – Realização da segunda rede de terras – 2-05-2013

De forma a obter-se valores mais consideráveis para a rede de terras que anteriormente apresentava uma resistência de terras de 47Ω em linha, partiu-se para a realização de uma rede de terras de 25 metros constituída por eléctrodos e placas de cobre possível de ser visualizada nas figuras 5.20, 5.21, 5.22, 5.23, 5.24, 5.25, 5.26 e 5.27.



Figuras 5.20 e 5.21 – Colocação do eléctrodo de cobre em vala



Figuras 5.22 e 5.23 – Colocação das chapas de cobre em vala



Figuras 5.24 e 5.25 – Interligação da rede de terras



Figuras 5.26 e 5.27 – Colocação da mistura de carvão e terra vegetal

A localização da rede de terras é evidenciada na figura seguinte:

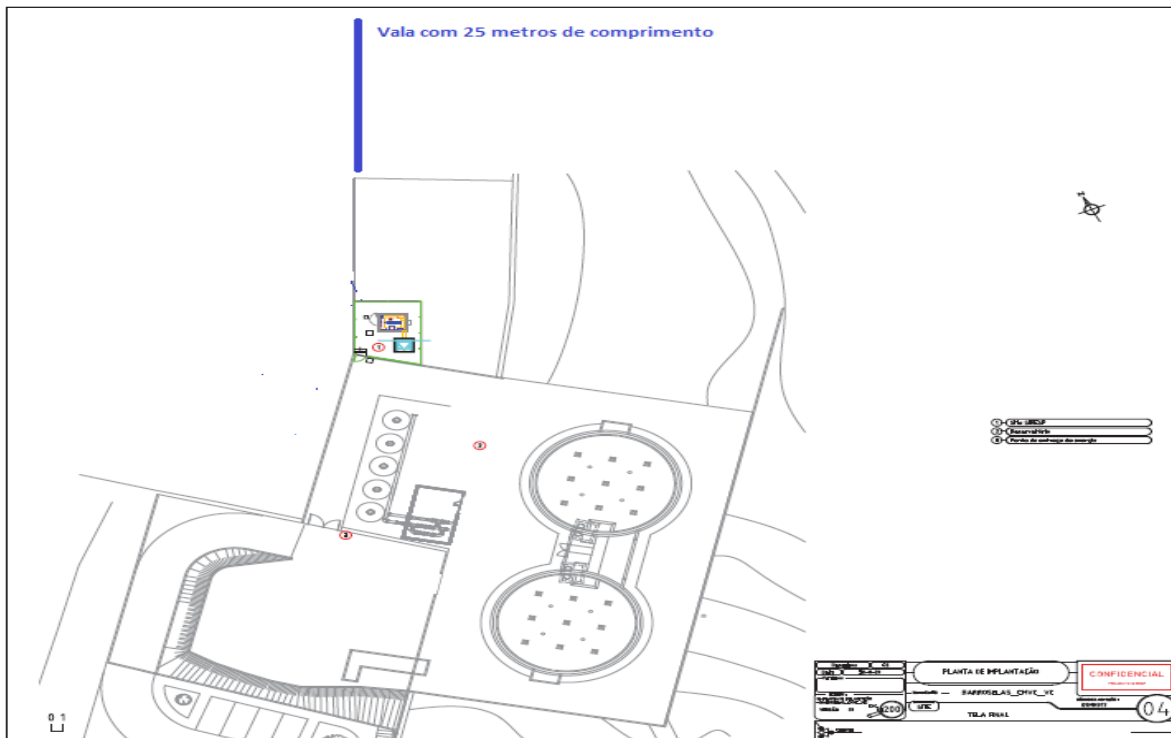


Figura 5.28 – Localização da rede terras

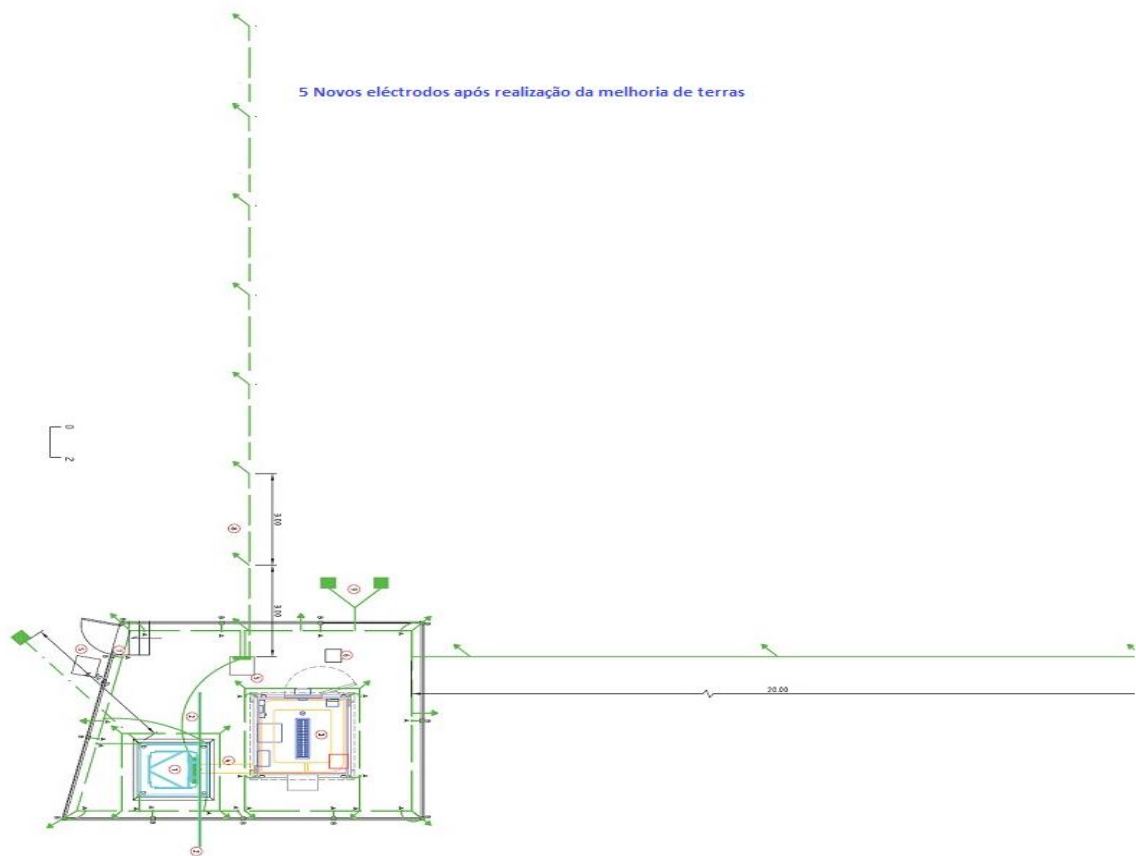


Figura 5.29 – Execução da melhoria de terras - Colocação de 5 eléctrodos

O eléctrodo foi realizado na zona posterior da estação, neste caso, a cerca de 10 m da estação.

O eléctrodo de terra é constituído por eléctrodos de cobre de 2m envolvido por carvão e terra vegetal. O eléctrodo de cobre colocado na vala anteriormente aberta, encontra-se envolvido pela mistura de carvão e terra vegetal, para que seja aumentada a superfície de contacto entre o eléctrodo e o solo envolvente. O eléctrodo de cobre instalado tem diversas características tal como a facilidade de instalação, resistência à corrosão e a sua elevada condutibilidade.

A interligação dos eléctrodos de terra com a rede de terras standard, foi realizada através de cabo de cobre nu de 50mm^2 de secção, enterrado a uma profundidade de 0,80m, para que seja garantida a protecção contra as tensões de passo.

5.1.1.6 Medição de Terras após execução de melhoria de terras

Após a interligação do eléctrodo de terra do melhoramento realizado com a rede de terras anterior, obteve-se o valor final da resistência de terra na ordem dos 43Ω:



Figura 5.30 - Valor da Resistência de terras final

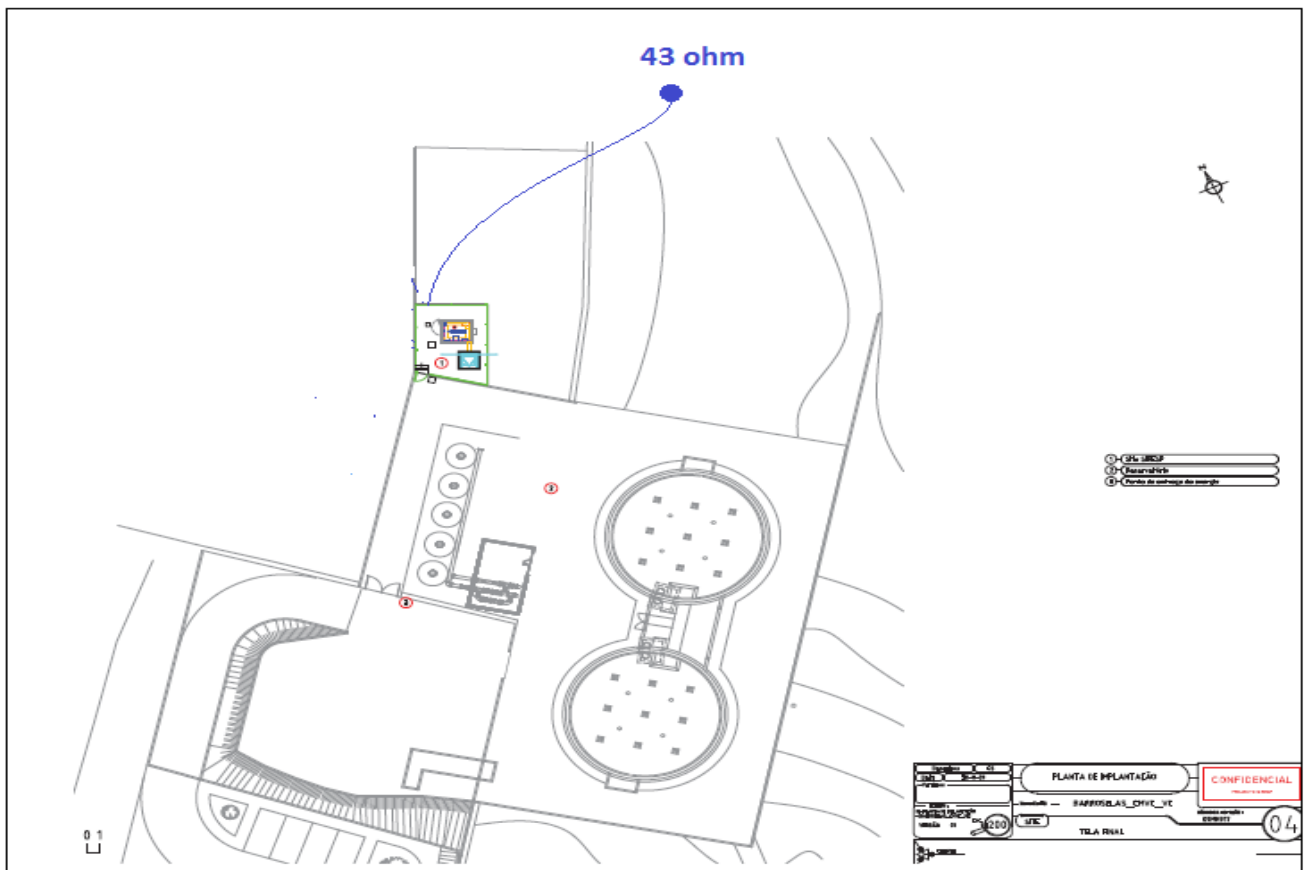


Figura 5.31 - Local de medida da resistência final

5.1.1.7 Conclusão da primeira implementação prática

Tal como se pode verificar, o terreno onde está implementada a estação de telecomunicações é de alguma resistividade, assentando sobre um solo praticamente rochoso. A procura da solução mais adequada prende-se sobretudo com dois factores: exequibilidade e viabilidade económica. Perante os valores da resistividade do solo e as condicionantes do solo identificadas, a solução que nos foi possível implementar no local foi a realização de uma vala com um comprimento de 25 metros, de modo a beneficiar de melhores camadas do solo.

A tabela 5.3 resume a rede de terras criada para a estação assim como os valores obtidos com o melhoramento realizado.

Tabela 5.3 – Tabela resumo da rede de terras

Descrição	Material		Quantidade	Valor Rt
Redes de Terras	Vala de 0,8 m	Vareta Aço Cobreado 250um (c/ 2m)	23	47 Ω
		Chapas de Cobre Onduladas (1000mmx500mmx5mm)	3	
		Carvão Vegetal - (Sim/Não)	Sim	
		Terra Vegetal - (Sim/Não)	Sim	
		Material de Melhoramento GEM - (Sim/Não)	Não	
Melhoramento de Terras	Vala de 0,8 m	Vareta Aço Cobreado 250um (c/ 2m)	12	43 Ω
		Chapas de Cobre Onduladas (1000mmx500mmx5mm)	5	
		Carvão Vegetal - (Sim/Não)	Sim	
		Terra Vegetal - (Sim/Não)	Sim	
		Material de melhoramento GEM – (Sim/Não)	Não	

A exposição efectuada demonstra que foram já realizados os esforços técnicos razoáveis à melhoria de terras do local, tendo inclusivamente sido já atingido os compromissos contratuais a nível das melhorias da rede de terras por recurso a uma rede de eléctrodos de terras. É assim nosso entendimento que foi já realizado o esforço técnico - financeiro razoável neste local.

Tabela 5.4 - Tabela resumo do que seria necessário para obter valores inferiores a 10 Ω

Valor teórico Ω	Nº eléctrodos verticais	Profundidade (m)	Total eléctrodo vertical (m)	Área teórica necessária (m²)
9,926	85	2	170	648

Com efeito dos múltiplos trabalhos de melhoramento efectuados, das medições de terra realizadas, dos constrangimentos técnicos verificados e da combinação de todos os factores supra mencionados, submete-se para validação o valor de resistência do eléctrodo de terra de 43 Ω .

5.2 2º CASO DE ESTUDO

O **segundo caso de estudo e implementação** assenta na Estação de Telecomunicações **CALDAS VIZELA**, por motivos de verificação do seu valor ohmico ser superior a 10 Ω foi necessário efetuar melhoria da rede de terras. Vamos verificar que neste caso, o método não passou pelo dispêndio de valores/trabalhos como o método anterior, houve a interligação de redes existentes.

O site **CALDAS VIZELA_SIRESP_BG**, assenta numa faixa de solo de características geológicas essencialmente graníticas. Nestes solos os valores padrão da resistividade estão entre 1500-10000 Ω .m.

No âmbito dos trabalhos de melhorias do valor de terras do eléctrodo de protecção pretende-se demonstrar e justificar os trabalhos realizados, na tentativa de atingir valores inferiores a 10 Ω .

Encontra-se neste documento um registo, dos seguintes itens:

- Planta, dimensões, materiais e a localização de todos os componentes do sistema de terras de serviço.
- A natureza do solo.
- Posição dos eléctrodos de terra.
- Resultados dos testes e condições em que foram efectuados.

5.2.1 Trabalhos efectuados

5.2.1.1 Natureza do Solo – Resistividade

A resistividade do solo, bem como a sua estratificação, são factores fundamentais para quem trabalha com sistemas de protecção eléctrica, uma vez que a resistência de terra é directamente proporcional à resistividade do solo (ρ) em que estão colocados os eléctrodos. Existem diferentes factores que podem influenciar o valor da resistência do solo, tornando-se indispensável a execução de medições no local em que se pretende fazer a nossa rede de terras (R_t). Os factores que mais influenciam o valor da nossa R_t são: a composição geológica, humidade, salinidade, compactação e a acidez (ver tabela retirada da NP4426).

A avaliação feita ao solo “in situ” apresenta as características evidenciadas na página seguinte:



Figuras 5.23, 5.24, 5.25 e 5.26 – Localização da estação

O solo envolvente ao site apresenta diversos afloramentos rochosos maioritariamente graníticos e grés alterados., Na tabela seguinte a resistividade vem tabelada na ordem de 1500 a 10000Ω.m. para um solo de natureza incluída nos granitos e grés alterados.

Natureza do terreno	Resistividade em Ω m
Terreno pantanoso	0 a 30
Lodo	20 a 100
Terra vegetal	10 a 150
Turfa húmida	5 a 100
Argila plástica	50
Terra calcária ou argila compacta	100 a 200
Terra calcária do jurássico	30 a 40
Areia argilosa	50 a 500
Areia de sílica	200 a 3 000
Solo rochoso nu	1 500 a 3 000
Solo rochoso nu coberto de relva	300 a 500
Calcário mole	100 a 300
Calcário compacto	1 000 a 5 000
Calcário gretado	500 a 1 000
Xistos	50 a 300
Micaxisto	800
Granitos e grés alterados	1 500 a 10 000
Granitos e grés muito alterados	100 a 600

Figura 5.27 – Valores típicos de resistividade do solo (Recolhida da NP4426)

5.2.1.2 Medição de Resistividade

As medições foram executadas sob o método de 4 eléctrodos numa linha que atravesse a parte do terreno, onde se pretende medir a resistividade do solo (ρ).

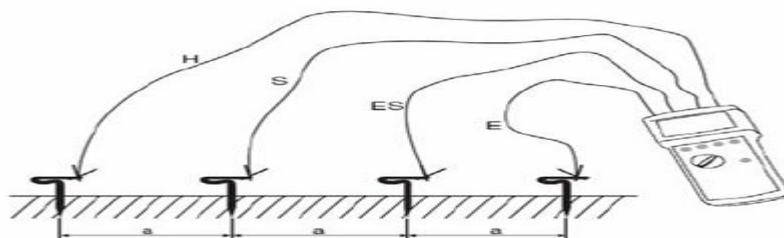


Figura 5.28 – Método de Wenner

O equipamento de medição de resistividade utilizado foi o HT Italia (Italia, 2009). Após a execução das medições os valores obtidos foram os seguintes:

Tabela 5.5 – Medição de resistividades

"a" (m)	Valor A Ra	Resistividade do Solo (ohm.m) $\rho=2*\pi*a*Ra$
2	709	8909,55
3	510	9613,27
4	323	8117,87
6	207	7803,71
8	227	11410,25
12	105,4	7946,97
16	66	6635,04
20	41,7	5240,17
25	34,1	5356,41

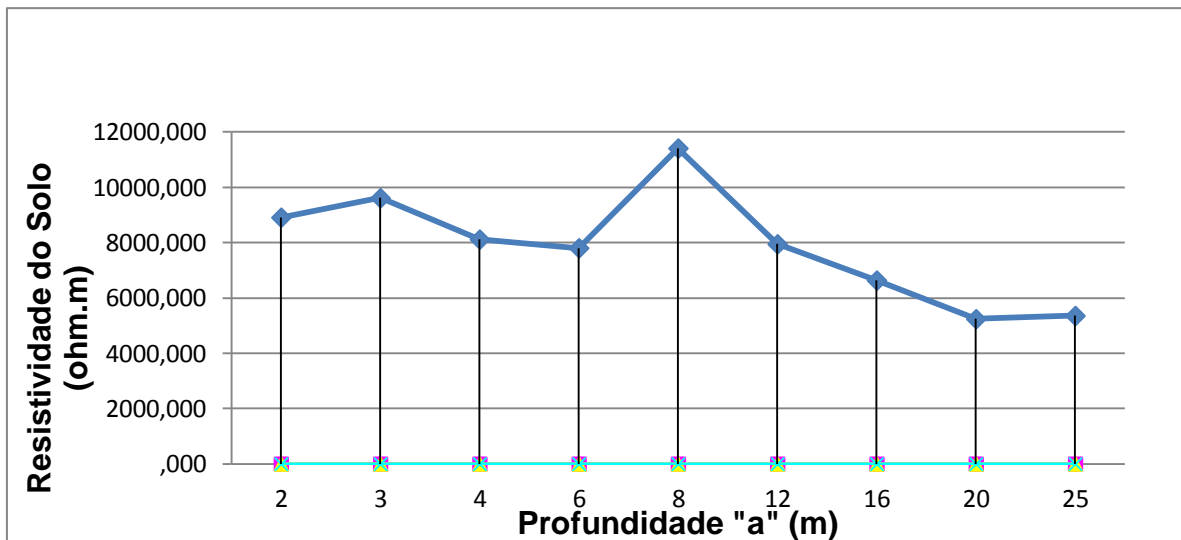


Figura 5.29 - Resistividade do solo (ρ), segundo o Método de Wenner

Os dados apresentados foram medidos com o aparelho TELARIS Earth-Test e a resistividade do solo foi calculada através do Método de Wenner.

Face aos dados obtidos pela análise do solo no local, podemos constatar que estamos na presença de um solo com um valor de resistividade dentro do previsto, verificando-se uma diminuição dos níveis de resistividade com o aumento da profundidade em ambas as linhas de medição. A solução aponta para a implementação de um eléctrodo de terras em profundidade.

A linha de medição “A” é evidenciada na figura seguinte:

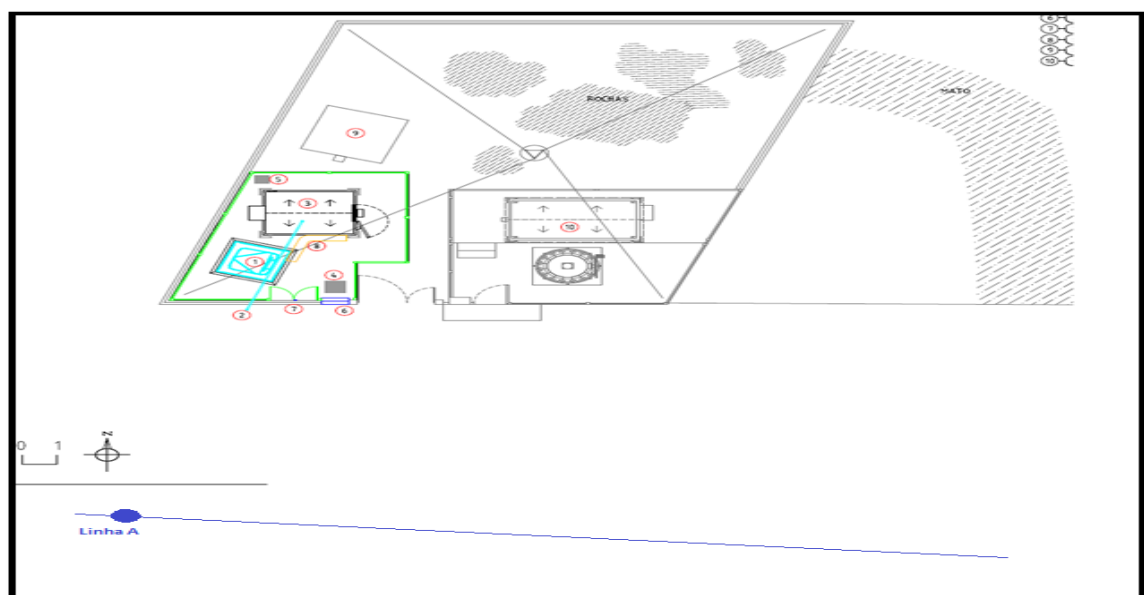


Figura 5.30 – Localização da linha de medição

Tendo em conta que o solo é praticamente rochoso e que não existe muito espaço na periferia do site, foi proposto a realização de 1 furo artesiano com 32 metros de profundidade, na periferia da estação. Para as simulações foi utilizado o valor da resistividade do solo de 5240,17 Ω .

Recorrendo ao programa de simulação Erico - GEM e efectuando a simulação 3 para este tipo de eléctrodo, é possível obter um valor de resistência de 145,81 Ω .

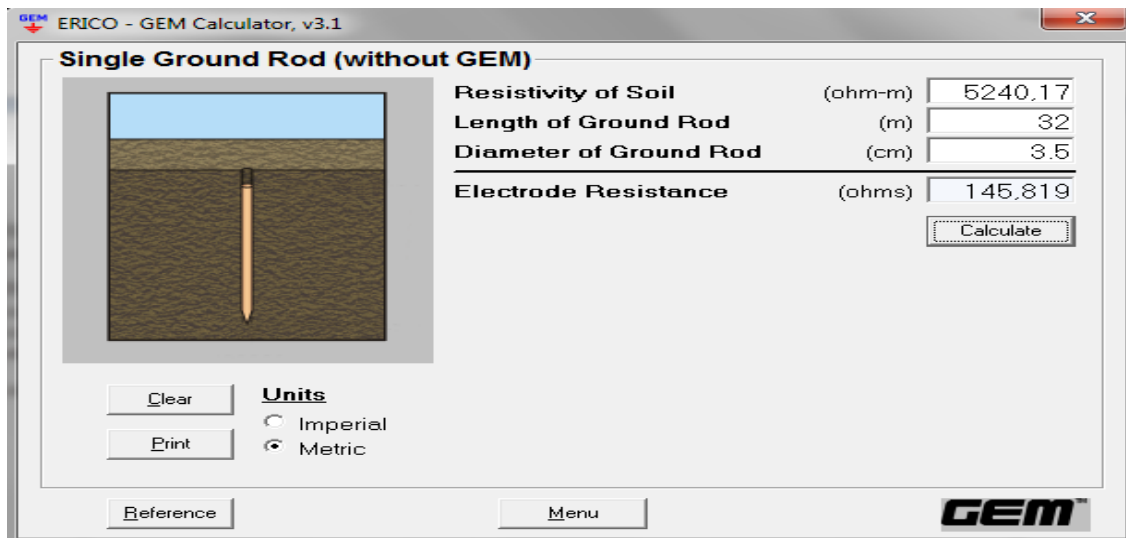


Figura 5.31 – Valor da resistência de terra para 1 eléctrodo vertical com 32 metros.

A simulação 4 calcula uma solução com dois furos artesanais com 32 metros. O valor previsto para os dois furos artesanais ronda os 82,17 Ω .

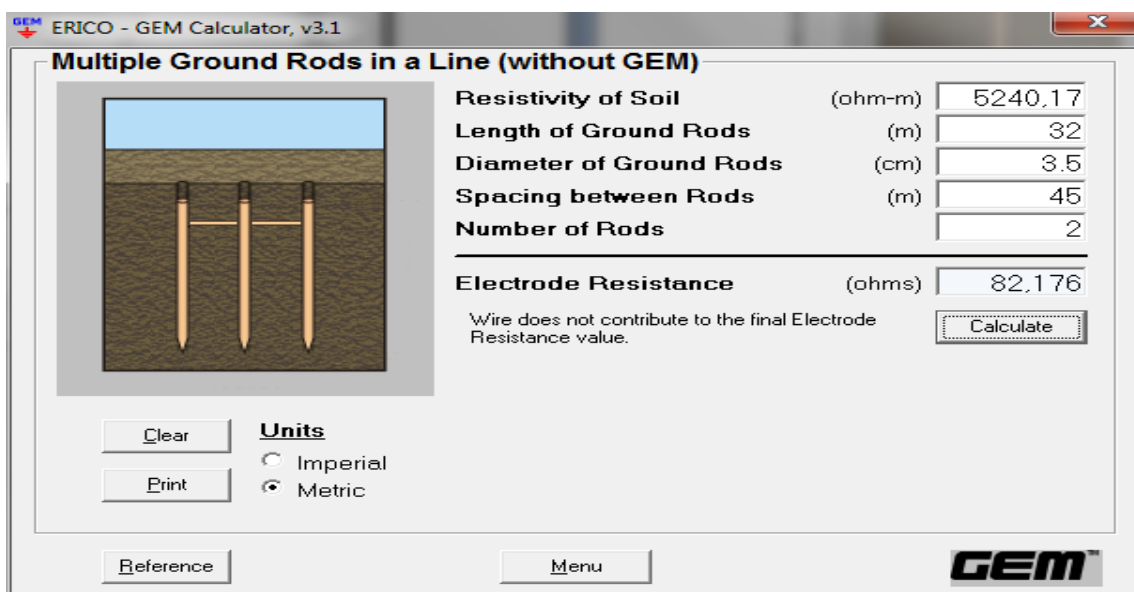


Figura 5.32 – Valor da resistência de terra para 2 eléctrodos verticais com 32 metros

De forma a obter-se uma resistência de terra inferior a 10Ω , procedeu-se à simulação 5.

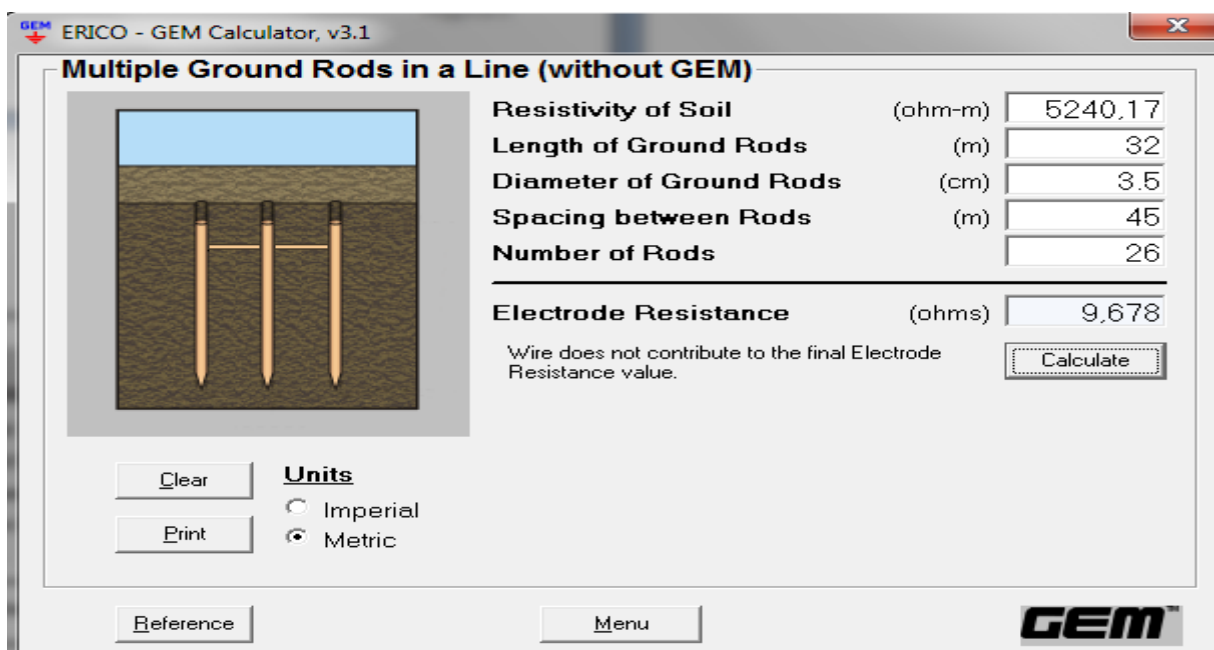


Figura 5.33 – Valor da resistência de terra para 26 eléctrodos verticais com 32 metros

Foi possível verificar que através da simulação, para se obter um valor inferior a 10Ω , seria necessária a realização de 26 eléctrodos verticais com 32 metros, sendo necessária uma área total de sensivelmente 24300m^2 para implementar esta solução.

Como se pode verificar, a realização de uma rede de eléctrodos com esta dimensão é praticamente inviável pois não existe área envolvente para a realização do mesmo.

5.2.1.3 Constituição do Eléctrodo Inicial

Neste site foi realizada uma rede de terras constituída por eléctrodos e placas de cobre situadas na periferia do maciço da torre e em toda a periferia do site. Os diferentes constituintes da respectiva rede de terras foram interligados entre si através de soldaduras exotérmicas, cabo/cabo, cabo/eléctrodo, para garantir uma boa interligação entre os equipamentos. Todas as terras foram interligadas no barramento geral de terras, alojada na caixa de visita situada na entrada da estação.

De salientar que nesta obra foram colocados 11 eléctrodos de cobre com 2 metros e 1 chapa de cobre como é possível ver nas figuras 5.34, 5.35, 5.36, 5.37 e 5.38. Foram ainda colocados mais 4 eléctrodos na fundação da torre, os quais foram interligados com a estrutura do maciço.



Figuras 5.34, 5.35, 5.36, 5.37 e 5.38 – Realização da rede terras standard

5.2.1.4 Medição de Terras após execução de eléctrodo de terra Standard

Após concluída a rede de terras inicial (standard) de acordo com o disposto no projecto de infra-estrutura, o valor da resistência de terras tomou um valor na ordem dos 22Ω.



Figura 5.39 – Valor da resistência de terra standard

Face a este valor e devido à proximidade da rede terras provenientes de estações na área envolvente, após a aceitação da estação, e como forma de melhoria dos valores da resistência de terra, optou-se por interligar as redes de terras existentes no local a um furo artesiano existente, aumentando assim o nível de segurança da área envolvente no que respeita às tensões de passo e equipotencialidade da rede terras.

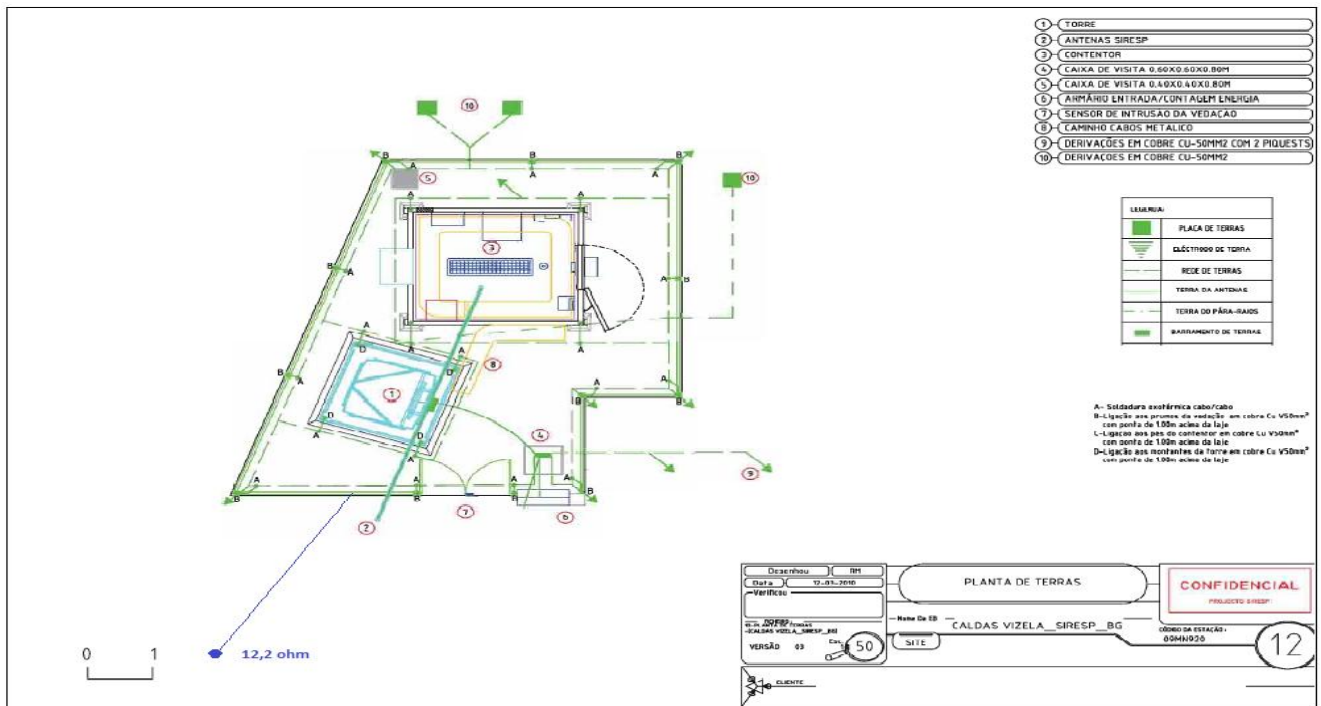


Figura 5.40 – Rede de terras standard e respectivo ponto de medida da Resistência de terra

5.2.1.5 Medição de Terras após interligação com a rede terras das estações contíguas – 12-05-2013

Verifica-se que após a conclusão das interligações das rede de terras da nova estação com a rede de interligação das estações contíguas, no dia 12 de Maio de 2013, que o valor obtido se encontra dentro dos parâmetros requeridos, na ordem dos $11,8\Omega$ (Ver figura 5.41), pelo que não foi necessária a realização de nenhum furo artesiano como forma de melhoria. Refere-se que não dispomos de fotos da interligação da rede de terras.



Figura 5.41 – Valor da resistência de terra final

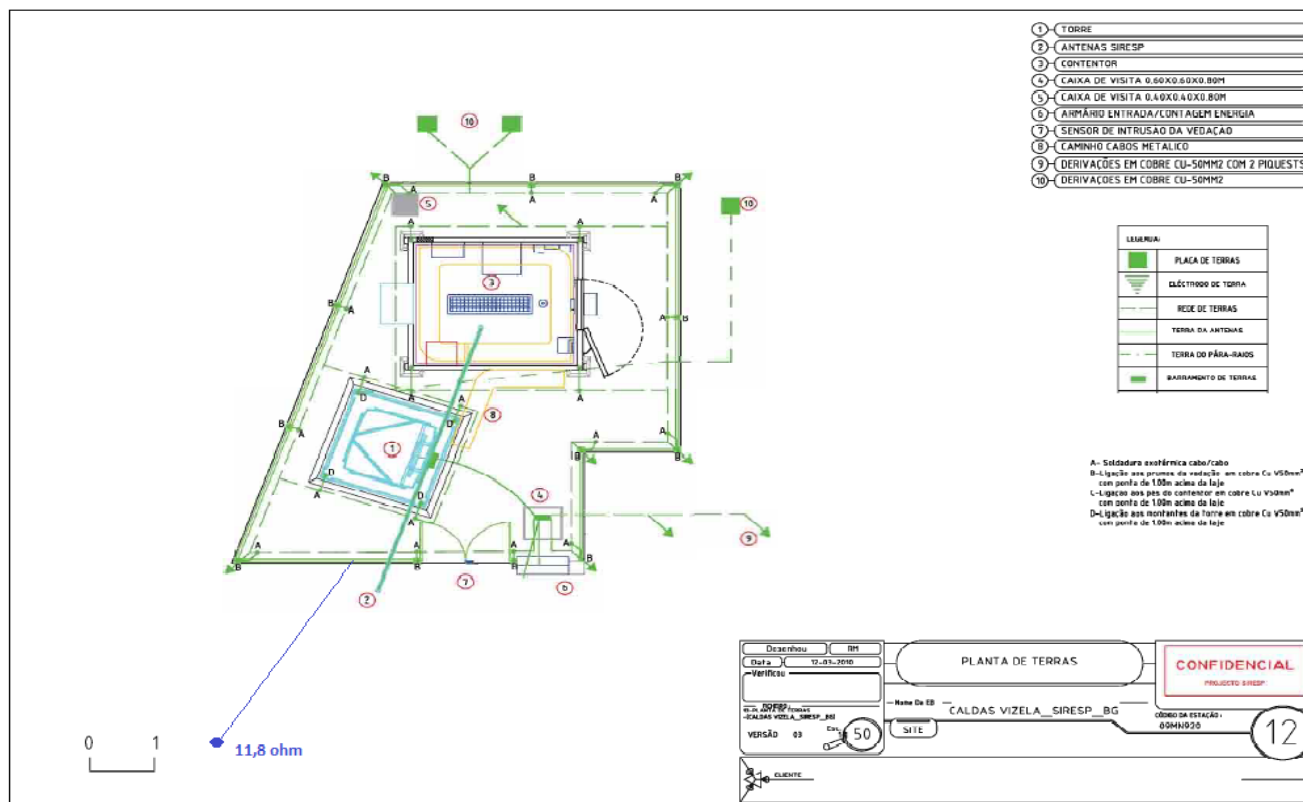


Figura 5.42 – Local e valor de medida da Resistência de terra final

Conclusão da segunda implementação prática

Tal como se pode verificar, o terreno onde está implementada a estação de telecomunicações é de elevada resistividade, assentando sobre um solo maioritariamente rochoso. A procura da solução mais adequada prende-se sobretudo com dois factores: exequibilidade e viabilidade económica. A tabela 5.6 resume a rede de terras criada para a estação assim como os valores obtidos com o melhoramento realizado.

Tabela 5.6 - Tabela resumo da rede de terras

Descrição	Material		Quantidade	Valor de resistência terra
Rede de Terras STANDARD	Vareta de aço cobreado 250 μ m com 2 metros		11	22,2 Ω
	Chapas de cobre onduladas 1000mmx500mmx5mm)		1	
	Carvão Vegetal (sim/não)		Sim	
	Terra Vegetal (sim/não)		Sim	
	Material de Melhoramento (GEM) (sim/não)		Não	
Rede interligação às estações contíguas	Furo Artesiano existente	Diâmetro Furo (mm)	-	11,8 Ω
		Profundidade do eléctrodo (metros)	-	
		Vala de 0,8m de profundidade (metros)	-	
		Tipo de eléctrodo	-	
		Material de melhoramento	-	

Comparando os valores calculados com o valor da resistência de terra final obtido verifica-se uma elevada discrepância nos valores registados, obtendo-se um valor de resistência de terra final na ordem dos 11,8Ω. A obtenção deste valor deve-se ao facto de já existir um furo artesiano no local que se interligou com a nossa rede terras, que muito beneficiou a rede de terras criada.

A exposição efectuada demonstra que foram já realizados os esforços técnicos razoáveis à melhoria de terras do local, tendo inclusivamente sido já atingidos os compromissos contratuais a nível das melhorias da rede de terras por recurso a furos artesanais, neste caso já existentes. É assim nosso entendimento que foi já realizado o esforço técnico - financeiro razoável neste local.

Com efeito dos múltiplos trabalhos de melhoramento efectuados, das medições de terra realizadas, dos constrangimentos técnicos verificados e da combinação de todos os factores supra mencionados, submete-se para validação o valor de resistência do eléctrodo de terra de 11,8Ω.

5.3 - O 3º CASO DE ESTUDO e implementação assenta na Estação de Telecomunicações **RIBEIRA PENA**, por motivos de verificação do seu valor ohmico ser superior a 10Ω

O site **RIBEIRA PENA**, assenta numa faixa de solo de características geológicas essencialmente graníticas. Nestes solos os valores padrão da resistividade estão entre 1500-10000Ω.m o que representa um elevado nível de resistividade condicionando a obtenção de um valor de resistência de terra, quando se pretende o mais baixo possível.

No âmbito dos trabalhos de melhorias do valor de terras do eléctrodo de protecção pretende-se demonstrar e justificar os trabalhos realizados, na tentativa de atingir valores inferiores a 10Ω.

Encontra-se neste documento um registo, dos seguintes itens:

- Planta, dimensões, materiais e a localização de todos os componentes do sistema de terras de serviço.
- A natureza do solo.
- Posição dos eléctrodos de terra.
- Resultados dos testes e condições em que foram efectuados.

5.3.1 Trabalhos Efectuados

5.3.1.1 Natureza do Solo - Resistividade

A resistividade do solo, bem como a sua estratificação, são factores fundamentais para quem trabalha com sistemas de protecção eléctrica, uma vez que a resistência de terra é directamente proporcional à resistividade do solo (ρ) em que estão colocados os eléctrodos. Existem diferentes factores que podem influenciar o valor da resistência do solo, tornando-se indispensável a execução de medições no local em que se pretende fazer a nossa rede de terras (R_t). Os factores que mais influenciam o valor da nossa R_t são: a composição geológica, humidade, salinidade, compactação e a acidez (ver tabela retirada da NP4426).

A avaliação feita ao solo “*in situ*” verificada no terreno e como se pode ver nas figuras 5.43, 5.44, 5.55 e 5.56 apresenta as seguintes características:



Figura 5.43, 5.44, 5.55 e 5.56 – Localização da estação

Na tabela seguinte a resistividade vem tabelada na ordem de 1500 a 10000 Ω .m para um solo rochoso com base de granitos e grés alterados.

Tabela 5.7 – Valores típicos de resistividade do solo (Recolhida da NP4426)

Natureza do terreno	Resistividade em Ω .m
Terreno pantanoso	0 a 30
Lodo	20 a 100
Terra vegetal	10 a 150
Turfa húmida	5 a 100
Argila plástica	50
Terra calcária ou argila compacta	100 a 200
Terra calcária do jurássico	30 a 40
Areia argilosa	50 a 500
Areia de sílica	200 a 3 000
Solo rochoso nu	1 500 a 3 000
Solo rochoso nu coberto de relva	300 a 500
Calcário mole	100 a 300
Calcário compacto	1 000 a 5 000
Calcário gretado	500 a 1 000
Xistos	50 a 300
Micaxisto	800
Granitos e grés alterados	1 500 a 10 000
Granitos e grés muito alterados	100 a 600

5.3.1.2 Medição de Resistividade

As medições foram executadas sob o método de 4 eléctrodos numa linha que atravesse a parte do terreno, onde se pretende medir a resistividade do solo (ρ).

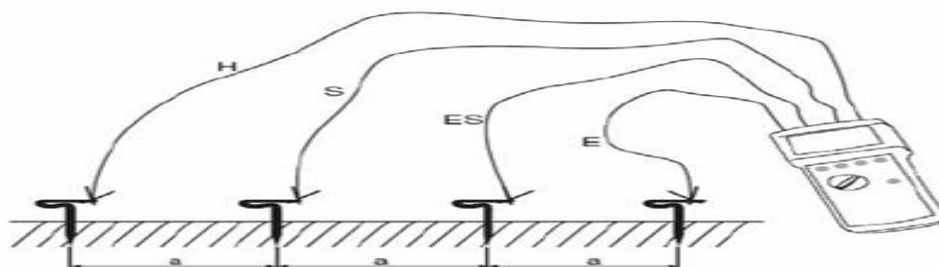


Figura 5.38 – Método de Wenner

O equipamento de medição da resistividade utilizado foi o *HT5080*. Após a execução das medições os valores obtidos foram os seguintes:

Tabela 5.8 – Medição de resistividades

Equipamento de medida: HT 5080		
"a" (m)	Valor R_a Linha A	Resistividade do Solo (ohm.m) $\rho=2*\pi*a*R_a$
3	157,7	2972,57
5	107,2	3367,79
11	40,22	2779,81
19	16,60	1981,72
27	6,07	1029,75
35	7,29	1603,15
43	11,51	3109,74

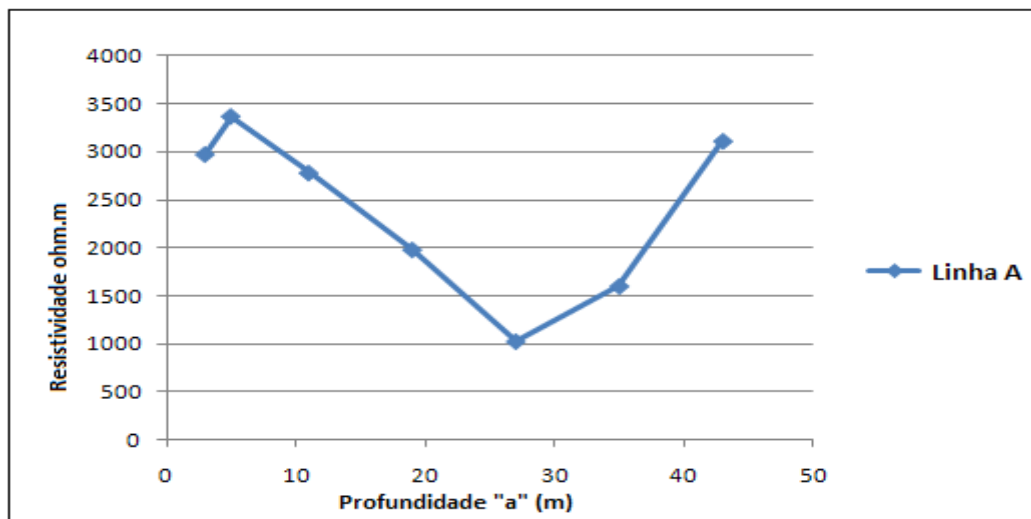


Figura 5.57 - Resistividade do solo (ρ), segundo o Método de Wenner

Os dados apresentados foram medidos com o aparelho HT 5080 e a resistividade do solo foi calculada através do Método de Wenner.

Face aos dados obtidos pela análise do solo no local, podemos constatar que estamos na presença de um solo com um valor de resistividade algo irregular, verificando-se um decréscimo do valor dos níveis de resistividade com o aumento da profundidade, neste caso, até aos 27 metros.

A linha de medição é evidenciada na planta seguinte:

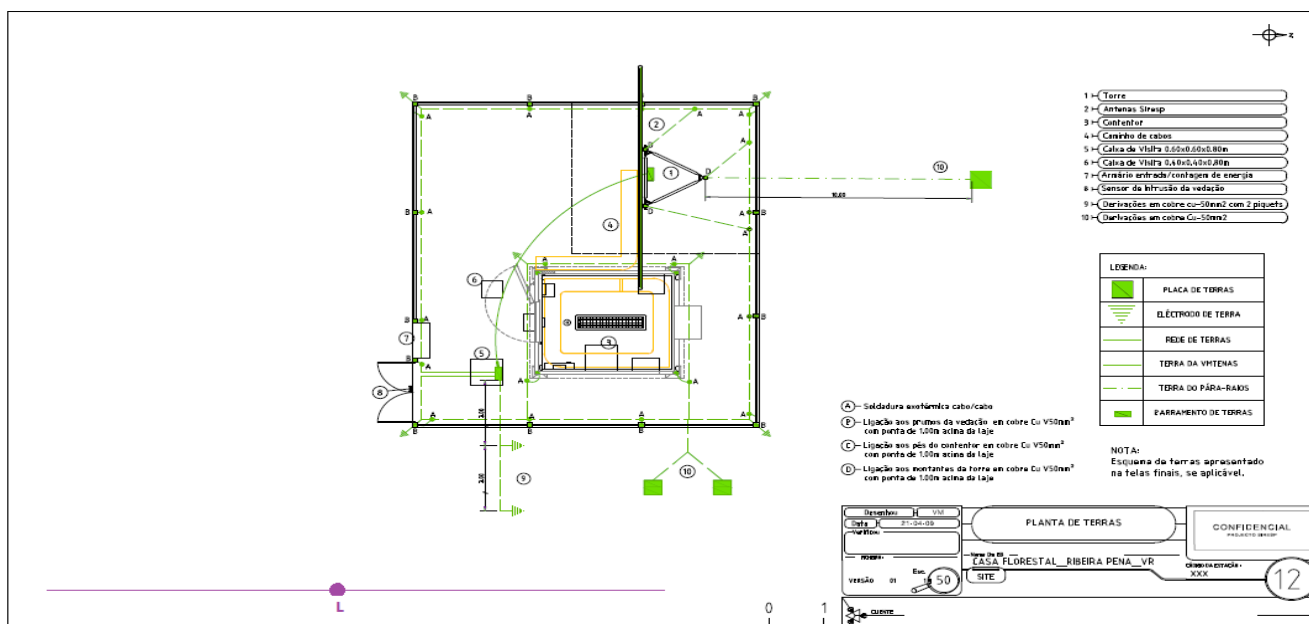


Figura 5.58 – Localização da linha de medição

Da análise aos valores da resistividade do solo, conclui-se que a resistividade diminui com a profundidade, apontando numa solução para o eléctrodo de terras em profundidade.

Tendo em conta que o solo é praticamente rochoso e que não existe muito espaço na periferia do site, foi proposto a realização de 2 furos artesianos com 32 metros de profundidade na periferia da estação, de forma a verificar este tipo de solução. Para as simulações foi utilizado o valor da resistividade do solo de 1029,75Ω.m.

Recorrendo ao programa de simulação Erico - GEM e efectuando a simulação para este tipo de eléctrodo, é possível obter um valor de resistência de 16,14Ω como se pode na figura 5.59.

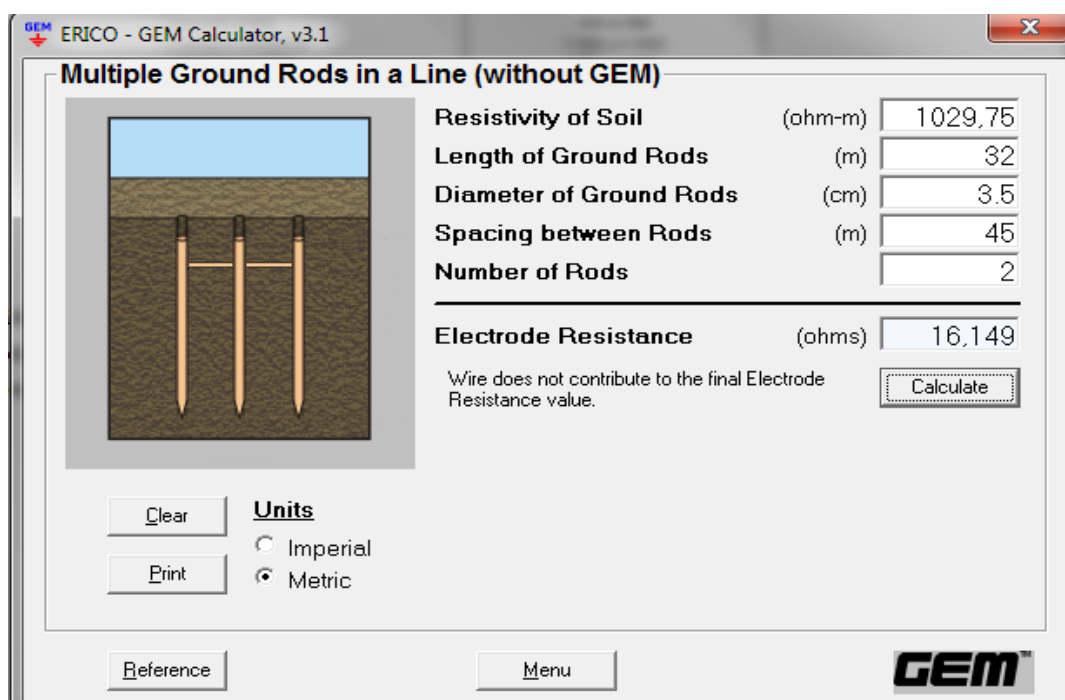


Figura 5.59 – Valor da resistência de terra para 2 eléctrodos verticais com 32 metros

De forma a obter-se uma resistência de terra inferior a 10Ω, procedeu-se à simulação 7. Foi possível verificar que através da simulação para se obter um valor inferior a 10Ω, seria necessária a realização de 4 eléctrodos verticais com 32 metros o que implicaria uma área total de sensivelmente 2025m² para implementar esta solução.

Como se pode verificar, a realização de uma rede de eléctrodos com esta dimensão é praticamente inviável pois não existe área envolvente para a realização do mesmo.

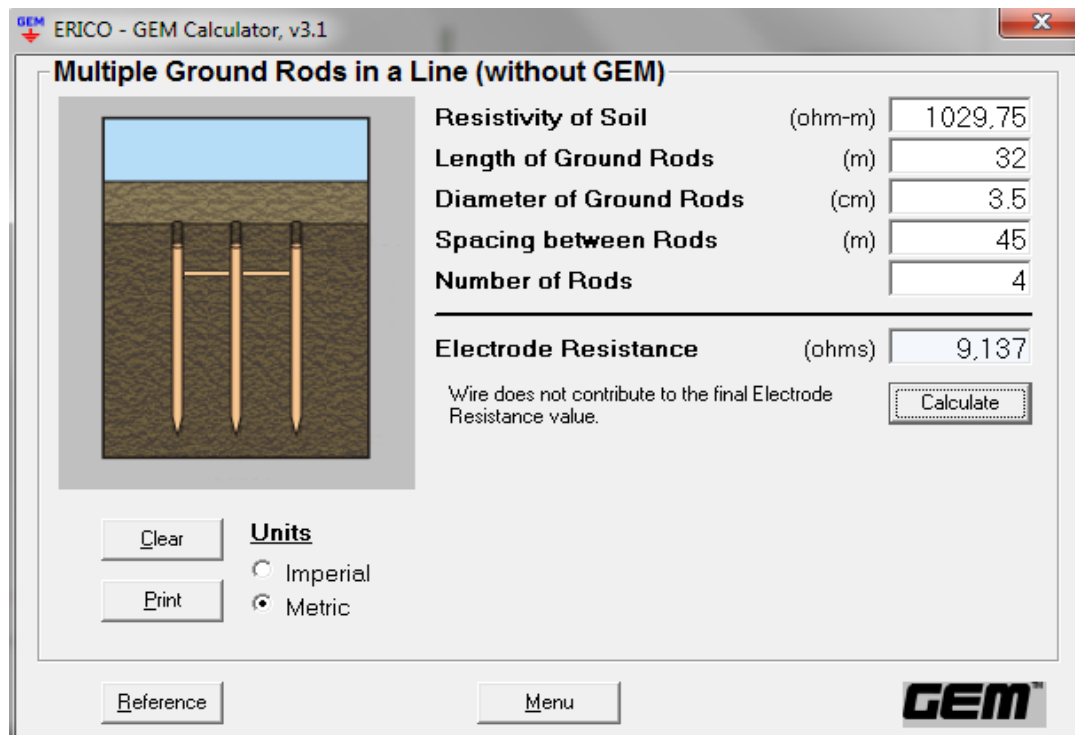


Figura 5.60 – Valor da resistência de terra para 4 eléctrodos verticais com 32 metros

5.3.1.3 Constituição do Eléctrodo Inicial – Rede de terras standard

Neste site foi realizada uma rede constituída por eléctrodos e placas de cobre situadas na periferia da estação. Os eléctrodos foram interligados entre si através de soldaduras exotérmicas, cabo/cabo e cabo/eléctrodo de forma a garantir uma boa interligação entre equipamentos. Todas as terras foram interligadas no barramento geral de terras, alojada na caixa de visita situada na entrada da estação.

De salientar que nesta obra foram colocados 2 eléctrodos de cobre com 2 metros e 3 chapas de cobre. Foram colocados mais 4 eléctrodos na fundação da torre, os quais foram interligados com a estrutura do maciço, pode ver-se todo o processo nas figuras 5.61, 5.62, 5.63, 5.64 e 5.65.



Figuras 5.61, 5.62, 5.63, 5.64 e 5.65 – Rede de terras standard

5.3.1.4 Medição de Terras após execução de eléctrodo de terra Standard - 20-05-2013

Após concluída a rede de terras inicial (standard) de acordo com o disposto no projecto de infra-estrutura, o valor da resistência de terras tomou um valor mais baixo na ordem dos 99Ω . Valor este que demonstra a dificuldade de obtenção dos valores de resistência de terra pretendidos.

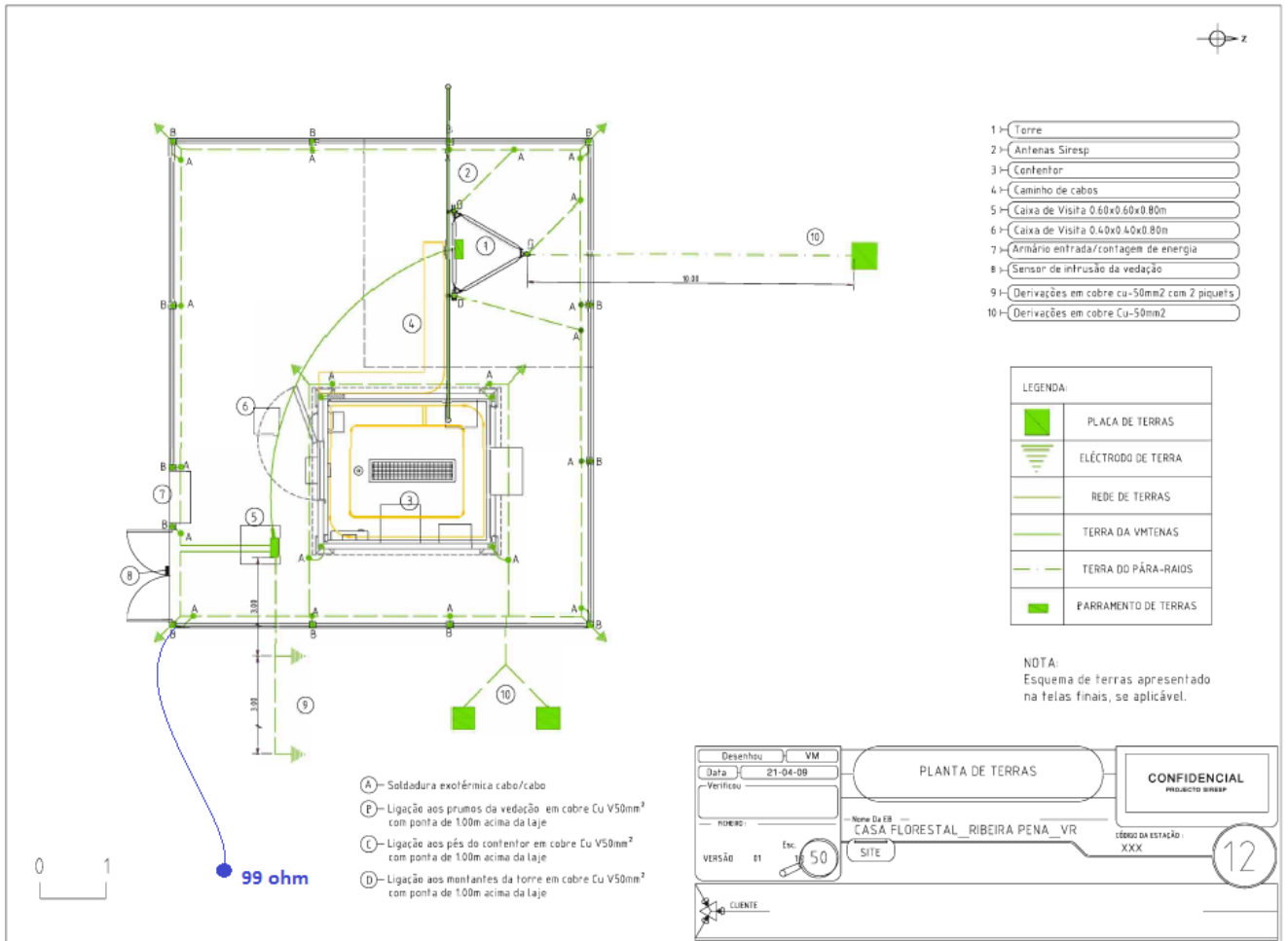


Figura 5.66 – Pontos de medida da Resistência de terra inicial

Verifica-se após medição da resistência de terra que o valor pretendido (Figura 5.57) ainda se encontra algo distante do valor obtido através das simulações e para tal partiu-se para a realização de furos artesanais, visto ser a solução mais eficaz.



Figura 5.67 – Valor obtido após melhoria de terras

5.3.1.5 Realização dos Furos artesanais – 23-06-2013

De forma a obter-se valores mais consideráveis para a rede de terras que anteriormente apresentava uma resistência de terras de 99Ω , partiu-se para a realização de dois eléctrodos verticais de grande profundidade.

Tabela 5.9 – Características dos furos artesanais

Equipamento	Descrição
Número Furos Artesianos	2
Furo Artesiano \varnothing - 160mm	160mm
Profundidade do eléctrodo (m)	32
Tipo de Eléctrodo	Tubo Cobre 35mm^2
Material de Melhoramento	Mistura de Carvão e Terra Vegetal

A localização dos furos artesanais é evidenciada na planta seguinte:

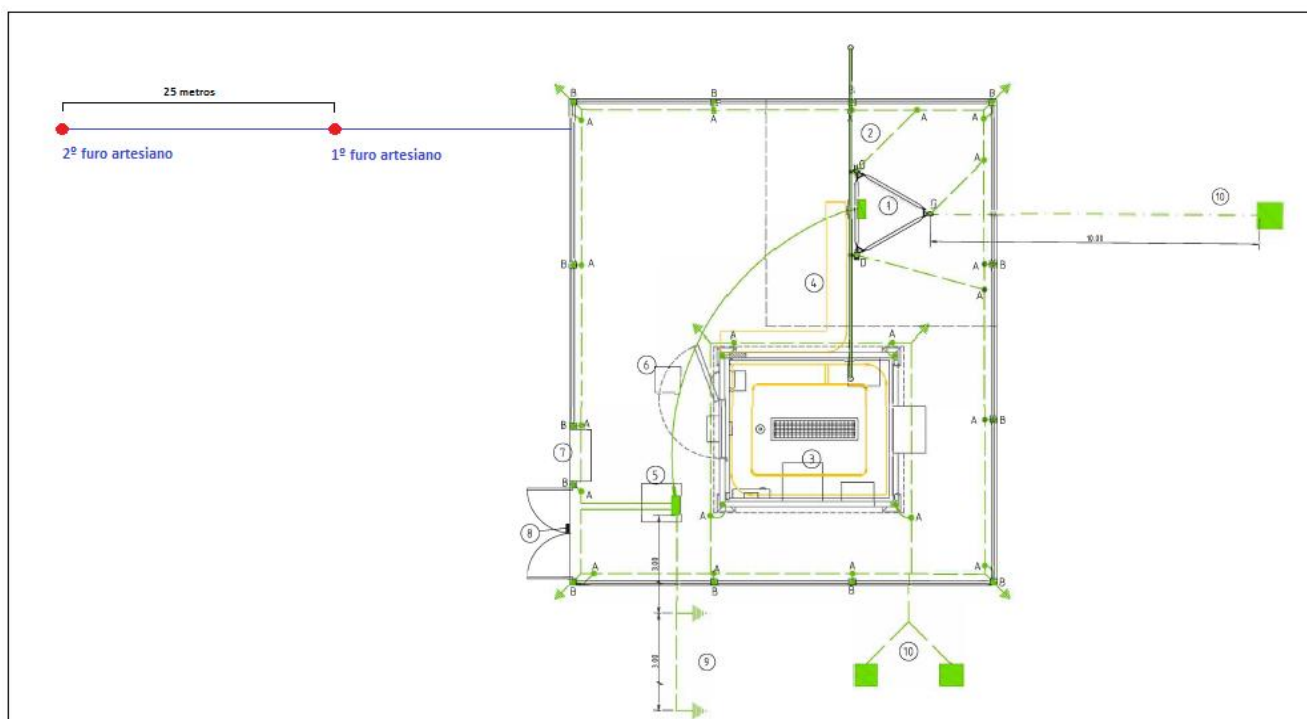


Figura 5.68 – Localização dos furos artesanais

O eléctrodo foi realizado na zona posterior da estação, neste caso, a cerca de 15 metros da estação.



Figura 5.69 – Realização do primeiro furo artesiano



Figura 5.70 - Colocação do eléctrodo de cobre no primeiro furo artesiano



Figura 5.71 - Colocação de carvão e terra vegetal no primeiro furo artesiano



Figura 5.72 – Realização do segundo furo artesiano



Figura 5.73 - Colocação do eléctrodo de cobre no segundo furo artesiano



Figura 5.74 - Colocação de carvão e terra vegetal no segundo furo artesiano

O eléctrodo de terra vertical de grande profundidade é constituído por um tubo de cobre envolvido por uma mistura de terra e carvão vegetal. O tubo de cobre é descido pelo furo artesiano anteriormente aberto, sendo este envolvido pela mistura de terra e carvão, para que seja aumentada a superfície de contacto entre o tubo e o solo envolvente. Este enchimento proporciona também uma boa condução entre a superfície do tubo e as paredes do furo artesiano. O eléctrodo de cobre instalado tem diversas características tal como a facilidade de instalação, resistência à corrosão e a sua elevada condutibilidade.

A interligação dos eléctrodos de terra com a rede de terras standard, foi realizada através de cabo de cobre nu de 50mm^2 de secção, enterrado a uma profundidade de 0,80m, para que seja garantida a protecção contra as tensões de passo.

5.3.1.6 Medição de Terras após execução de melhoria de terras

Após a interligação dos eléctrodos de terra com a rede de terras e a estação, no dia 25 de Junho de 2013, obteve-se o valor final da resistência de terra na ordem dos 10Ω :



Figura 5.75 – Valor da Resistência de terras final

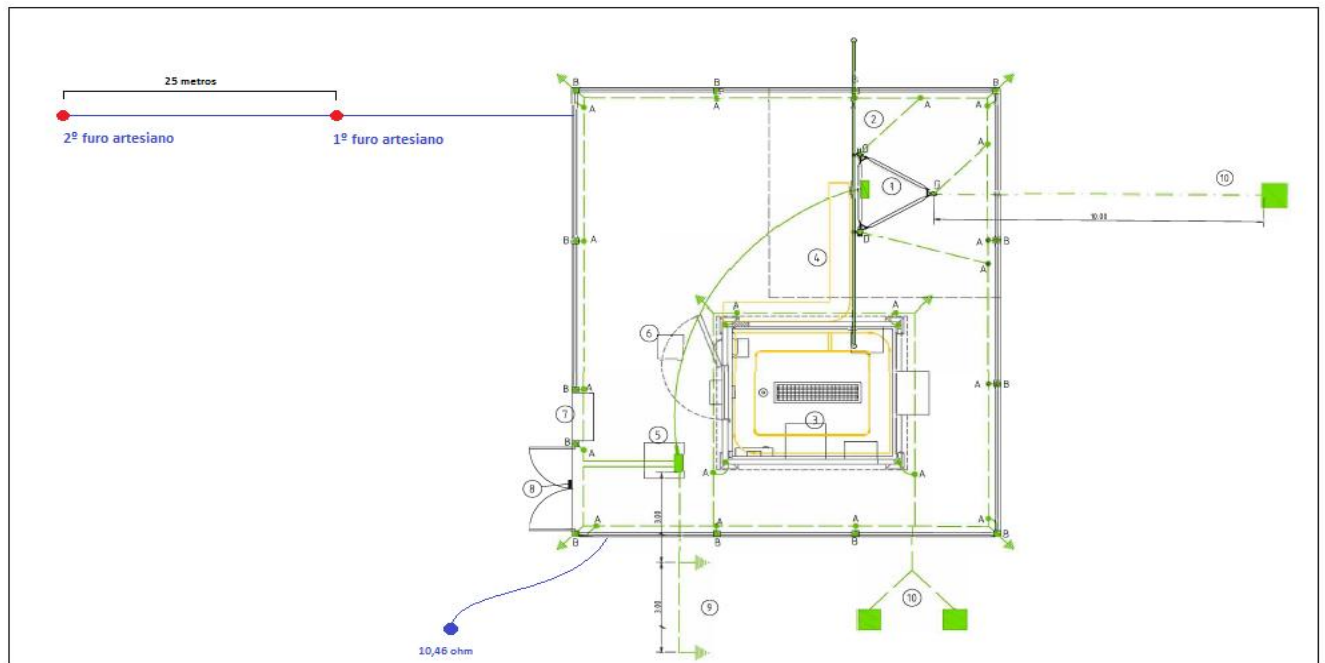


Figura 5.76 - Local de medida da resistência final

5.3.1.7 Conclusão da terceira implementação prática

Tal como se pode verificar, o terreno onde está implementada a estação de telecomunicações é de considerável resistividade, assentando sobre um solo maioritariamente rochoso. A procura da solução mais adequada prende-se sobretudo com dois factores: exequibilidade e viabilidade económica. Perante os valores da resistividade do solo e as condicionantes do solo identificadas, a solução que nos foi possível implementar no local foi a inclusão de um eléctrodo em profundidade com 32m, de modo a beneficiar das melhores camadas do solo.

A tabela 5.10 resume a rede de terras criada para a estação assim como os valores obtidos com o melhoramento realizado.

Tabela 5.10 – Tabela resumo da rede de terras

Descrição	Material	Quantidade	Valor de resistência terra	
Redes de Terra STANDARD	Vareta de aço cobreado 250µm com 2 metros	6	99 Ω	
	Chapas de cobre onduladas (1000mmx500mmx5mm)	3		
	Carvão Vegetal (sim/não)	Não		
	Terra Vegetal (sim/não)	Não		
	Material de Melhoramento (GEM) (sim/não)	Não		
1º Melhoramento de Terras	Furos Artesianos	Diâmetro Furo (mm)	160	10,4 Ω
		Número de furos artesianos	2	
		Profundidade do eléctrodo (metros)	32	
		Vala de 0,8m de profundidade (metros)	25	
		Tipo de eléctrodo	Tubo de cobre nu Ø35mm ²	
		Material de melhoramento	Mistura de carvão e terra vegetal	

A exposição efetuada demonstra que foram já realizados os esforços técnicos razoáveis à melhoria de terras do local, tendo inclusivamente sido já atingido os compromissos contratuais a nível das melhorias da rede de terras por recurso a dois furos artesianos. É

assim nosso entendimento que foi já realizado o esforço técnico - financeiro razoável neste local.

Tabela 5.11 - Tabela resumo do que seria necessário para obter valores inferiores a 10 Ω

Valor teórico Ω	Nº eléctrodos verticais	Profundidade (m)	Total eléctrodo vertical (m)	Área teórica necessária (m²)
9,137	4	32	128	2025

Com efeito dos múltiplos trabalhos de melhoramento efectuados, das medições de terra realizadas, dos constrangimentos técnicos verificados e da combinação de todos os factores supra mencionados, submete-se para validação o valor de resistência do eléctrodo de terra de 10,4 Ω .

Pode ver-se na tabela 5.12 a comparação dos 3 casos práticos de forma resumida.

Tabela 5.12 – Comparação compilada dos três casos práticos

Comparação casos	1º Caso		2º Caso		3º Caso	
	RET 1	RET2	RET 1	RET2	RET 1	RET2
	47 Ω	43 Ω	22,2 Ω	11,8 Ω	99 Ω	10,4 Ω
Dispêndio dinheiro	Maior dispêndio		Menor dispêndio		Médio dispêndio	

No 1º caso de estudo, realizando estudo prévio, simulando e calculando, os dados indicavam-nos para irmos de encontro à realização de uma segunda rede de terras com eléctrodos dispostos na horizontal, sendo que nós não conhecemos a terra a 100% os resultados foram fracos visto apenas termos diminuído a RET de 47ohm para 43ohm. Considerarmos este esforço pouco ou nada significativo, tivemos dispêndio de dinheiro, de varetas de cobre e chapas e a operadora apesar de não estar satisfeita, percebeu o esforço.

No 2º caso de estudo e através dos mesmos meios utilizados para o 1º caso, verificamos que a estratégia passava pela realização de um eléctrodo de terras em

profundidade e aí partimos para uma estratégia de furo artesiano. Melhor do que isso foi fazer a interligação a um furo artesiano já existente de outra operadora, ficou-nos mais barato pedir um “aluguer” à outra operadora do que obviamente realizar um novo furo artesiano. Os resultados foram satisfatórios e visíveis e ligando à nossa rede de terras standard passamos de 22,2ohm para 11,8ohm o valor da RET.

No 3º Caso de estudo temos a presença de um caso de sucesso face ao desenvolvido. Em nada foi descurada a minuciosidade do estudo prévio do terreno, simulação com o ERICO de forma rigorosa e implementação prática cautelosa. As características geológicas do solo eram essencialmente graníticas, pensamos estar num patamar de um novo problema. Os estudos apontavam-nos para a implementação de um eléctrodo de terras em profundidade, era importante demonstrar à operadora que tudo estava alinhado e que era importante ganharmos mais projectos face à nossa credibilidade. Ao implementar a solução de 2 furos artesianos com 32m de profundidade cada e uma interligação entre eles de 25m com uma profundidade de vala de 0,8m os resultados foram extraordinários. Com a realização da rede terras standard tínhamos um elevado valor de $RET=99ohm$ e com a implementação do método que eu fielmente considerei. Baixamos a RET para os 10,4ohm, foi motivo de orgulho para a empresa.

6. CONCLUSÕES

Com o constante desenvolvimento dos métodos de melhoria das redes de terras e não apenas assente nas bases teóricas, constatamos factos práticos neste projecto que nos fazem tirar algumas ilações no que ao futuro diz respeito.

Um estudo prévio do terreno ou solo onde a estação técnica poderá ser implementada é muito importante para obter valores técnico-financeiros perfeitamente aceitáveis por parte da operadora de telecomunicações, neste caso, do nosso cliente.

Não obstante da importância de toda a construção do anel de terras nas ET's, é-nos fulcral o estudo posterior acerca de trabalhos que possam ser implementados, como a realização de valas com eléctrodos estendidos, a realização de furos artesianos e a procura de boas soluções químicas. Isto traduziu em melhorias algo significativas em todos os casos práticos executados, mesmo que de pequenas dimensões nalguns casos.

O uso da ferramenta informática ERICO de forma inesgotável, permitiu-nos um apoio contínuo diário através da sua diversidade de simulações que se tornou imprescindível, uma vez que os resultados traduziram-nos informações importantes a conceber nas redes. Esta comparação teórica com a implementação prática permitiu abranger uma quantidade exorbitante de métodos a seguir e/ou evitar. Contudo uma

ferramenta informática equivalente ou uma melhoria no ERICO poderiam dar uma ajuda ainda maior neste caso prático, por exemplo, a inserção de mais materiais condutores além do cobre e mais materiais químicos. É uma boa melhoria para alguém que queira continuar a desenvolver melhorias neste tema.

Em suma, constatou-se que nem sempre o uso de uma grande quantidade de cobre ou produtos químicos são fundamentais para obtermos valores de Resistência de terra significativos para as operadoras. Esta informação foi-lhes transmitida ao longo do projecto pois poderia despende-se muito dinheiro e teríamos pouca eficácia. Considero este tema algo que poderá ser explorado por quem queira aprofundar esta temática.

Ao efetuarmos medições de resistividade, estudo prévio do terreno e o complemento com a simulação, pudemos verificar que algumas condições justificariam a implementação de estratégias de forma a baixar os valores da Resistência de terra mas que outras não. Percebemos então a ingratidão de um trabalho que é cada vez mais detalhado, mas por sua vez, o esforço é por vezes recompensado pela melhor estratégia apresentada e esta foi a maior utilidade que a empresa retirou do meu estudo, uma vez que apresentei sempre uma estratégia de boa competência técnica e financeira. Há ainda muito trabalho a desenvolver nesta área, os materiais têm custos elevados e face à situação económica actual é preciso encontrar alternativas mais baratas.

Estas alternativas passam por quem vem a seguir, ter um contacto constante com estas morfologias geológicas e o contacto com projectos equivalentes.

A maior vantagem neste tema é que podemos contactar com diversas morfologias, vastas experiências com energia e sistemas de protecção que levam cada vez mais ao aperfeiçoamento na realização da rede de terras. Uma boa organização permite à empresa realizar mais projectos em menos tempo e assim cumprir com os prazos dados destacando-se da concorrência.

Tenho como uma perspectiva futura, a facilidade em encontrar materiais a preço acessível e o uso de equipamentos que verifiquem a profundidade à qual será encontrada água (Boa condutividade) e com isso se poupe na realização de furos artesanais em locais de pouco interesse.

Estudar materiais com custos mais baixos e eficácia semelhante, estudar previamente o terreno com maquinaria própria (que envolva menos gastos) de forma a assentar a ET num local com boa cobertura de rede futura ditando boa capacidade para ter a melhor RET possível, são todas um conjunto de medidas essenciais a seguir.

Referências Documentais

Arthur, James “*IEEE Power engineering society – Institute of electrical and electronics engineers*”, Inc, 3 Arthur, 4 August 2000;

<http://www.anacom.pt/render.jsp?categoryId=2> – (Manual ITED, 2007)

Cesar, Maria

“http://www.projotoderedes.com.br/artigos/artigo_comunicacao_via_satelite.php”, 2007

Associação Brasileira Novas técnicas, “*NBR 5419 (Proteção de Estruturas contra Descargas Atmosféricas) Técnicas (ABNT)*”, 2001;

Santos, M. e Cunha, “*Infra-estruturas em sistemas de telecomunicações - Instituto de Estudos Superiores da Amazônia – IESAM*”, 2010.

Sam, “http://pt.wikipedia.org/wiki/Estação_Radio_Base” - “*Todos os tipos de ERB's*”, 2013)

Ferreira, Eurico, “Manual de Infra-estruturas em Estações telecomunicações”, Jan 2012.

Man, Caddy “<http://www.eric.com/products/GEM.asp>”, 2009

Pinto, Ernesto “*RSSPTS – Regulamento de Segurança de Subestações e Postos de Transformação e Seccionamento, artigo 58º*”, 2011

Leite, António “*Capítulo VI - Métodos normalizados para medição de resistência de aterramento, Aterramentos elétricos*”, 2008

Italia, HT CEO, “*Professional power quality analyzer compliance with EN50160*”, 2009

Motorola, “*Métodos e complementos melhoria terras*”, 2010

Portugal. Direcção-Geral de Geologia e Energia, RTIEBT regras técnicas das instalações eléctricas de baixa tensão vol. 1ª edição anotada. [S.l.]: Direcção-Geral de Geologia e Energia, 2006

ANEXOS

