



**UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE**

**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA E GEOFÍSICA MARINHA**

**CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOFÍSICA**

**CAROLINA FERREIRA DA SILVA**

**MÉTODO DA ELETRORRESISTIVIDADE APLICADO À ESTABILIDADE DE  
TALUDES**

Niterói – RJ

2017

CAROLINA FERREIRA DA SILVA

**MÉTODO DA ELETRORRESISTIVIDADE APLICADO À ESTABILIDADE DE  
TALUDES**

Trabalho apresentado ao curso de graduação em Geofísica da Universidade Federal Fluminense, como parte da disciplina Projeto Final II e requisito para obtenção do título de Bacharel em Geofísica.

Orientador: Prof. Dr. Gilmar Vital Bueno

Niterói – RJ

2017

S586 Silva, Carolina Ferreira da  
Método da eletrorresistividade aplicado à estabilidade de taludes / Carolina Ferreira da Silva. – Niterói : [s.n.], 2017.  
67 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geofísica) –  
Universidade Federal Fluminense, 2017.

1.Eletrorresistividade. 2.Deslizamentos. 3.Estudos de  
infiltração. 4.Intensidade pluviométrica. I.Título.

CDD 622.154

CAROLINA FERREIRA DA SILVA

**MÉTODO DA ELETRORRESISTIVIDADE APLICADO À ESTABILIDADE DE  
TALUDES**

Trabalho apresentado ao curso de graduação em Geofísica da Universidade Federal Fluminense, como parte da disciplina Projeto Final II e requisito para obtenção do título de Bacharel em Geofísica.

Orientador: Prof. Dr. Gilmar Vital Bueno

Aprovada em \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Gilmar Vital Bueno (Orientador)

Universidade Federal Fluminense (UFF)/ Lagemar

---

Prof. Dr. André Luiz Ferrari

Universidade Federal Fluminense (UFF)/ Lagemar

---

Prof. Me. Paulo Buarque de Macedo Guimarães

Universidade Federal Fluminense (UFF)/ Lagemar

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus por ter me concedido saúde e sabedoria para concluir mais um ciclo da minha vida.

À minha amada avó, Dona Edy (*in memoriam*), por todo carinho, dedicação e palavras de encorajamento nos momentos mais difíceis e, principalmente, por me ensinar o verdadeiro significado da palavra fé.

À minha mãe Eliete, por todo sacrifício e empenho durante toda a minha vida. Por sempre mostrar que o estudo é o caminho a ser seguido e a única herança que ninguém pode nos tirar. Mãe, essa vitória é nossa!

À minha irmã Camila, por torcer incansavelmente pelo meu sucesso e me incentivar a evoluir em todos os âmbitos.

Ao meu pai Ecyr, por sempre acreditar no meu potencial.

Ao meu namorado Diego, por todo amor e companheirismo. Em especial, por ser a minha calma nos momentos de desespero.

Ao meu orientador Gilmar, pelos ensinamentos e cumplicidade.

À minha banca, professores André Ferrari e Paulo Buarque, por toda a atenção e conhecimento transmitido.

Às amigas que conquistei na Universidade, Camila Lima, Clara Porto, Danielle Lopes, Eloíse Helena, Esthephany Oliveira, Laisa Aguiar, Louise Aguiar, Maíra Cordeiro e Monique Chaves. Preciosidades que tornaram essa caminhada mais leve e gratificante.

Às minhas grandes amigas do colégio, pré vestibular e da república por todo carinho e positividade transmitida. Em especial à Dona Marlene.

À secretária Ana Paula e todos os professores do curso de Geofísica.

E a todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para realização desse sonho.

*“O cientista não é o homem que fornece as verdadeiras respostas;*

*É quem faz as verdadeiras perguntas”.*

*(Claude Lévi-Strauss)*

## RESUMO

O embasamento do trabalho consiste em avaliar a aplicabilidade de métodos geofísicos no contexto da suscetibilidade a deslizamentos. Em prol de estimar a vulnerabilidade aos movimentos de massa, foram revisados os principais aspectos, como a geologia local, relevo, vegetação e clima, com destaque ao Município de Niterói. Posterior a esta avaliação, o projeto se voltou para a determinação de um Método Geofísico que se mostrasse eficiente no estudo da subsuperfície. Desta forma, dois trabalhos desenvolvidos foram revisados e descritos como estudo de caso. O primeiro ocorrera em Joinville, Santa Catarina, marcado por escorregamentos atingindo as instalações da Indústria Metalúrgica Pirâmide. O segundo, em Nobres, Mato Grosso, solicitado pela empresa Arena Incorporadora e Construtora Ltda, para construção de um condomínio residencial. O método geofísico aplicado em ambas as regiões foi o da Eletrorresistividade, sendo este não invasivo e eficaz na determinação das camadas de cobertura, presença de blocos, profundidade do embasamento, planos de fratura e direção do fluxo subterrâneo, desta forma tendo seu funcionamento e resultados explicados neste projeto. Por fim, baseando-se em dados de resistividade de um trabalho desenvolvido na Malásia, sobre a determinação da falha de inclinação, foram geradas pseudo-seções de resistividade aparente para comprovação da efetividade do método no estudo de infiltração.

**Palavras-Chave:** Deslizamentos, Intensidade Pluviométrica, Eletrorresistividade, Estudo de Infiltração.

## ABSTRACT

This work's basis is to evaluate an application of geophysical methods in the context of its susceptibility to landslides. In order to estimate the vulnerability to mass movements in the Municipality of Niterói, mainly aspects such as local geology, relief, vegetation and climate were revised. Subsequent to this evaluation, this project focused on determining a Geophysical Method that could show an efficient demonstration of any subsurface study. In this way, two known papers were reviewed and described as a case study each. The first one occurred in Joinville, Santa Catarina, and was marked by landslides that affected the Metallurgical Industry Pyramid. The second one happened in Nobres, Mato Grosso, and was requested by the Arena Incorporadora e Construtora company for the construction of a residential condominium. The geophysical method applied in both regions was the Eletroresistivity, due to its non-invasive property and its efficiency in the determination of coverage actions, presence of blocks, depth of the basement, fracture planes and direction of the underground flow. The performance and the results found in both cases were also explained in this project. Finally, based on resistivity data from a work developed in Malaysia about the determination of slope failure, pseudo-sections of apparent resistivity were generated to prove the effectiveness of this method on infiltration studies.

**Keywords:** Landslides, Pluviometric Intensity, Eletroresistivity, Infiltration Study.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** Localização da área de estudo. Fonte: Google Earth, acessado em 18/05/2017 .....4
- Figura2:** (a) Observa-se as 5 regiões Niteroienses ; (b) Bairros que compõem o Município de Niterói. Fonte: Modificado de Wikipedia.....5
- Figura 3:** Mapa tectônico do Sudeste Brasileiro para visualização da Faixa Ribeira presente no Sistema Orogênico da Mantiqueira. 1) Cráton do São Francisco; 2) Cinturão Brasília; 3) Terreno Cabo Frio; 4) Terreno Oriental – Domínio Costeiro; 5) Terreno Oriental – Arco Magmático Rio Negro; 6) Klippe Paraíba do Sul; 7) Terreno Ocidental; 8) Bacia do Paraná; 9) Corpos alcalinos do Cretáceo Superior e Eoceno; 10) Bacias do Rift Continental do Sudeste do Brasil (RCSB): A – São Paulo; B – Taubaté; C – Resende; D – Volta Redonda; E – Macacu; F – Itaboraí; G – Barra de São João ; 11) Sedimentos cenozóicos indiferenciados; 12) Falhas reversas, nappes; 13) Alinhamento Magmático de Cabo Frio; 14) Limites de grábens do RCSB. Fonte: Riccomini *et al.*(2004)*apud* Suárez (2005). .....6
- Figura 4:** Mapa geológico do Município de Niterói, baseado no Projeto Carta Geológica do Estado do Rio de Janeiro. Fonte: DRM/GEOMITEC (1981) *apud* Suárez (2005). .....7
- Figura 5:** Depósito de tálus/colúvio com exumações de blocos rochosos no sopé da vertente do Morro do Cavalão. Fonte: Ferrari *et al.* (2004). .....10
- Figura 6:** Depósito coluvionar em corte na Rua São Sebastião (Morro do Estado – Ingá). Fonte: Ferrari *et al.* (2004). .....10
- Figura 7:** Campo de Matacões na encosta norte do Morro do Alarico. Fonte: Ferrari *et al.* (2004). .....11
- Figura 8:** Escorregamento Rotacional. Fonte: Avaliação de Riscos (2013).....12
- Figura 9:** Escorregamento Translacional. Fonte: Avaliação de Riscos (2013).....13

<b>Figura 10:</b> Relevo do Setor 1. Fonte: Ferrari <i>et al.</i> (2004). .....	15
<b>Figura 11:</b> Ângulos de maior declividade (gradiente) das encostas do Setor 1. Fonte: Ferrari <i>et al.</i> (2004). .....	16
<b>Figura 12:</b> Exemplo de vegetação arbustiva – arbórea densa. Fonte: Zona Costeira – UFBA. ....	17
<b>Figura 13:</b> Gráfico climático de Niterói, onde as barras azuis representam o índice pluviométrico do Município e a linha vermelha, a temperatura correspondente a cada mês. Fonte: Climate-Data.org. ....	19
<b>Figura 14:</b> Área atingida pelo deslizamento no Morro do Bumba. Fonte: Folha Uol. ....	20
<b>Figura 15:</b> Área atingida pelo deslizamento em Ilha Grande-Angra dos Reis, soterrando a pousada Sankay. Fonte: Acervo O Globo. ....	21
<b>Figura 16:</b> Domínios de risco a escorregamentos do Estado do Rio de Janeiro. Fonte: DRM , 2012. ....	23
<b>Figura 17:</b> Configuração dos eletrodos para medições de resistividade. Fonte: Kearey <i>et al.</i> (2009) .....	26
<b>Figura 18:</b> Principais técnicas de campo utilizadas para mapeamento do subsolo. Fonte: IPT (2012) <i>apud</i> Luz (2016). ....	28
<b>Figura 19:</b> Esquema do arranjo Dipolo-Dipolo utilizado em caminhamentos elétricos. Fonte: Borges (2002).....	29
<b>Figura 20:</b> Arranjo Eletródico Schlumberger. Fonte: Telford <i>et al.</i> (1990) <i>apud</i> Borges (2002).....	29
<b>Figura 21:</b> Localização da região abordada no estudo de caso. Fonte: Xavier (2008).....	30
<b>Figura 22:</b> Pré escorregamento. Fonte: Xavier (2008). ....	31

<b>Figura 23:</b> Pós escorregamento. Fonte: Xavier (2008).....	31
<b>Figura 24:</b> Localização das sondagens geofísicas. Fonte: Xavier (2008).....	32
<b>Figura 25:</b> Imagem elétrica 2D - CE1. Fonte: Xavier (2008).....	33
<b>Figura 26:</b> Imagem elétrica 2D - CE2. Fonte: Xavier (2008).....	34
<b>Figura 27:</b> Imagem elétrica 2D - CE3. Fonte: Xavier (2008).....	35
<b>Figura 28:</b> Modelo geoeétrico interpretado – SEV1. Fonte: Xavier (2008).....	36
<b>Figura 29:</b> Modelo geoeétrico interpretado – SEV2. Fonte: Xavier (2008).....	37
<b>Figura 30:</b> Mapa de localização do município de Nobres- MT, obtida no Google Earth. Fonte: Duarte <i>et al.</i> (2014).....	39
<b>Figura 31:</b> Resistímetro GEOTEST RD 1000 A. Fonte: Duarte <i>et al.</i> (2014).....	40
<b>Figura 32:</b> Mapa da distribuição espacial das linhas de CE na área de estudo, no qual as linhas apresentam direção preferencial NW/SE. Fonte: Duarte <i>et al.</i> (2014).....	41
<b>Figura 33:</b> Pseudo-seção de resistividade aparente , linha 1. Fonte: Modificado de Duarte <i>et al.</i> (2014). .....	42
<b>Figura 34:</b> Pseudo-seção de resistividade aparente , linha 2. Fonte: Modificado de Duarte <i>et al.</i> (2014).....	42
<b>Figura 35:</b> Pseudo-seção de resistividade aparente , linha 3. Fonte: Modificado de Duarte <i>et al.</i> (2014).....	42

<b>Figura 36:</b> Parâmetros da pseudo-seção. ....	45
<b>Figura 37:</b> Arranjo, número de eletrodos e espaçamento utilizados na modelagem. ....	45
<b>Figura 38:</b> Parâmetros da modelagem representando solo seco. ....	47
<b>Figura 39:</b> Modelagem direta representando solo seco. ....	47
<b>Figura 40:</b> Parâmetros da modelagem representando solo úmido. ....	48
<b>Figura 41:</b> Modelagem direta representando solo úmido. ....	48
<b>Figura 42:</b> Parâmetros da modelagem representando solo molhado. ....	49
<b>Figura 43:</b> Modelagem direta representando solo molhado. ....	49
<b>Figura 44:</b> Síntese das Modelagens 2D referente a infiltração. Observa-se a evolução em um solo seco, úmido e molhado. ....	50

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Pontos mais altos do Município de Niterói e suas respectivas altitudes. Fonte: Modificado de Nitivistas. ....	14
<b>Tabela 2:</b> Classes de suscetibilidade a deslizamentos com destaque as principais coberturas vegetais. Fonte: Modificado de Ferrari <i>et al.</i> (2004). ....	18
<b>Tabela 3:</b> Números expressivos relacionados ao risco a deslizamentos dos Municípios que se encontram em situação crítica no Estado do Rio de Janeiro. Fonte: Modificado de DRM, 2012. ....	23
<b>Tabela 4:</b> Coordenadas Geográficas das linhas de Caminhamento Elétrico (CE). Fonte: Duarte <i>et al.</i> (2014). ....	41
<b>Tabela 5:</b> Relação consistência do solo <i>versus</i> resistividade. Fonte: Modificado de Awang <i>et al.</i> (2015). ....	46

## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	V
RESUMO.....	VII
ABSTRACT.....	VIII
LISTA DE FIGURAS.....	IX
LISTA DE TABELAS.....	XIII
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
3. ESTUDO DE CASO SEM APLICAÇÃO DA ELETRORRESISTIVIDADE.....	4
3.1 Contexto Geológico.....	5
3.2 Relevo.....	13
3.3 Vegetação.....	16
3.4 Clima.....	19
3.5 Dados Estatísticos e Medidas Preventivas.....	22
4. MÉTODO GEOFÍSICO IMPLEMENTADO NOS ESTUDOS DE CASO.....	26
4.1 Método da Eletrorresistividade.....	26
4.2 Aplicação da Eletrorresistividade em Joinville, SC.....	30
4.2.1 Resultados obtidos em Joinville, SC.....	32
4.2.2 Conclusões obtidas em Joinville, SC.....	37
4.3 Aplicação da Eletrorresistividade em Nobres, MT.....	38
4.3.1 Resultados obtidos em Nobres, MT.....	40
4.3.2 Conclusões obtidas em Nobres, MT.....	43
5. APLICABILIDADE DO MÉTODO.....	44
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
7. CONCLUSÃO.....	51
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52
8.1 Sites Consultados.....	53

## 1. INTRODUÇÃO

Deslizamento é um fenômeno provocado pelo escorregamento de materiais sólidos, como solos, rochas, vegetação e/ou material de construção ao longo de terrenos inclinados, denominados de encostas. Na ocorrência de deslizamentos, pode-se considerar três fatores de influência: o tipo de solo (sua constituição, granulometria e nível de coesão); a declividade da encosta e a água de embebição (que contribui para aumentar o peso específico das camadas; reduzir o nível de coesão e o atrito, responsáveis também pela consistência do solo, e lubrificar as superfícies de deslizamento).

Se o deslizamento ocorrer na presença de chuva, em locais íngremes com transporte de fragmentos de rocha e solo identificáveis, dizemos que ocorreu um “escorregamento” de terra. Já se o deslizamento ocorrer com presença intensa de água a ponto de não se poder identificar a parte líquida da sólida, dizemos que ocorreu uma “corrida de massa” ou simplesmente “corrida” ou “fluxo”. A massa de detritos escorre por vários quilômetros com velocidade variável dependendo da inclinação, altitude do local e quantidade de água, mas se a velocidade for muito alta e envolver uma grande quantidade de detritos dizemos que houve uma “avalanche”.

Esses fenômenos naturais e/ou antrópicos, causam problemas imediatos para a população, independente de sua condição social, e também para o meio ambiente. É notório que os escorregamentos em encostas e morros urbanos vêm ocorrendo com uma frequência alarmante nestes últimos anos, devido ao crescimento desordenado das cidades, com a ocupação de novas áreas de risco, principalmente pela população mais carente.

A época de ocorrência dos deslizamentos coincide com o período das chuvas, intensas e prolongadas, visto que as águas escoadas e infiltradas vão desestabilizar as encostas. As chuvas intensas somadas à retirada da vegetação ou cortes irregulares no terreno, ampliam a vulnerabilidade da população a esse tipo de risco. Tais eventos são responsáveis por inúmeras vítimas fatais e grandes prejuízos materiais, como os observados em Angra

dos Reis no réveillon de 2010 e a tragédia no Morro do Bumba, em Niterói, na noite do dia 7 de abril do mesmo ano.

Anterior a esses desastres ambientais, alguns indícios se manifestam, tais como: aparecimento de fendas, depressões no terreno, rachaduras nas paredes das casas, inclinação de tronco de árvores, de postes e o surgimento de minas d'água. Mediante estes sinais de que a qualquer momento podem ocorrer deslizamentos de terra, é recomendado que o corpo de bombeiros ou a defesa civil sejam imediatamente avisados, visando uma correta evacuação da área.

## 2. OBJETIVOS

O embasamento deste projeto consiste na análise dos fatores relevantes ao movimento de massa, como: geologia, vegetação, relevo e clima; com destaque para o Município de Niterói. A fim de evitar a ocorrência desses eventos, diversos métodos geofísicos podem ser implementados para o entendimento da mecânica dos solos.

Através de revisões bibliográficas, o Método da Eletrorresistividade se mostrou eficiente, sendo então descrito e aplicado neste trabalho. Desta forma foi possível confirmar sua veracidade no que diz respeito à compreensão da subsuperfície.

### 3. ESTUDO DE CASO SEM APLICAÇÃO DA ELETORRESISTIVIDADE

O município de Niterói, localizado no estado do Rio de Janeiro (Figura 1), na Região Sudeste do Brasil, abrange uma área aproximada de 129,3 km<sup>2</sup> e uma população estimada em 497.893 habitantes, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2016).

Niterói é limitado pelos municípios de São Gonçalo, Maricá e Rio de Janeiro e se subdivide em 5 regiões (Figura 2a), sendo elas Praias da Baía, Norte, Oceânica, Pendotiba e Leste, totalizando 52 bairros (Figura 2b).

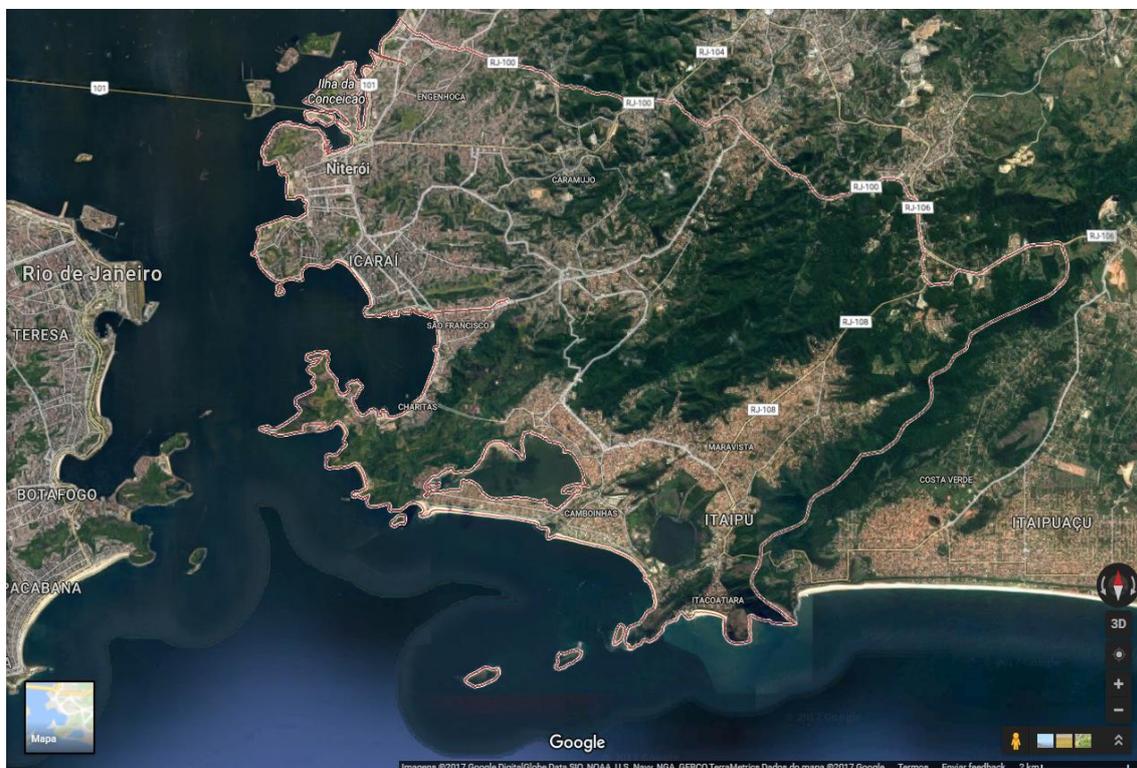


Figura 1: Localização da área de estudo. Fonte: Google Earth, acessado em 18/05/2017.

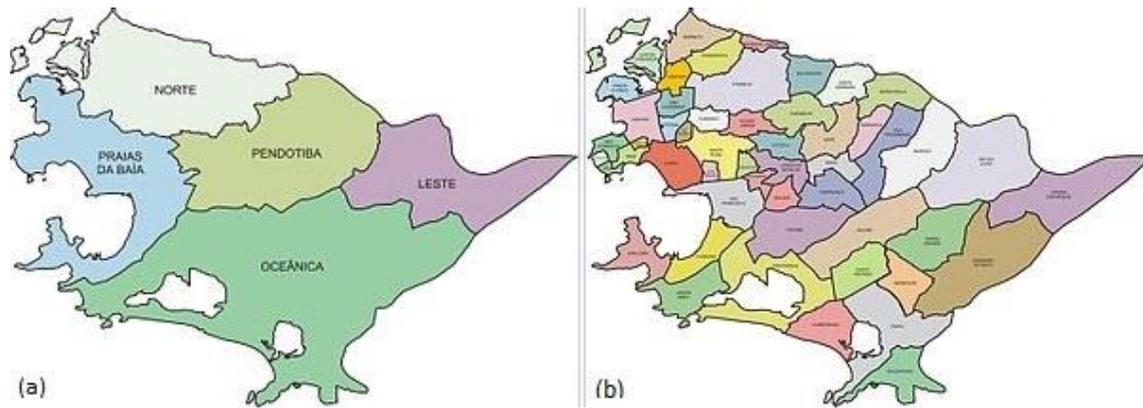


Figura 2: (a) Observa-se as 5 regiões Niteroienses ; (b) Bairros que compõem o Município de Niterói. Fonte: Modificado de Wikipedia.

### 3.1 Contexto Geológico

Segundo Ferrari *et al.*(2004), em nível regional, a área ocupada pelo Município de Niterói está geologicamente situada sobre terrenos de evolução policíclica, relacionados ao denominado Cinturão Móvel Costeiro ou Faixa Ribeira, onde estão expostas rochas granitóides e metamórficas de um embasamento profundo aflorante devido à denudação. A Faixa Ribeira por sua vez, apresenta uma extensão de aproximadamente 1400 km ao longo da costa sudeste Brasileira e corresponde a uma subdivisão do Sistema Orogênico da Mantiqueira (Figura 3).

Formada durante o fim do Pré-Cambriano e início do Paleozóico, a Faixa Ribeira é constituída principalmente por ortognaisses, migmatitos e granitóides sin-, tardi- e pós-tectônicos, que na área é representado por rochas granitóides bastante deformadas por um tectonismo dúctil/rúptil (Zona de cisalhamento Niterói de Hippert, 1990) que afetou rochas graníticas em quase todo o Município de Niterói (Ferrari *et al.*, 2004).

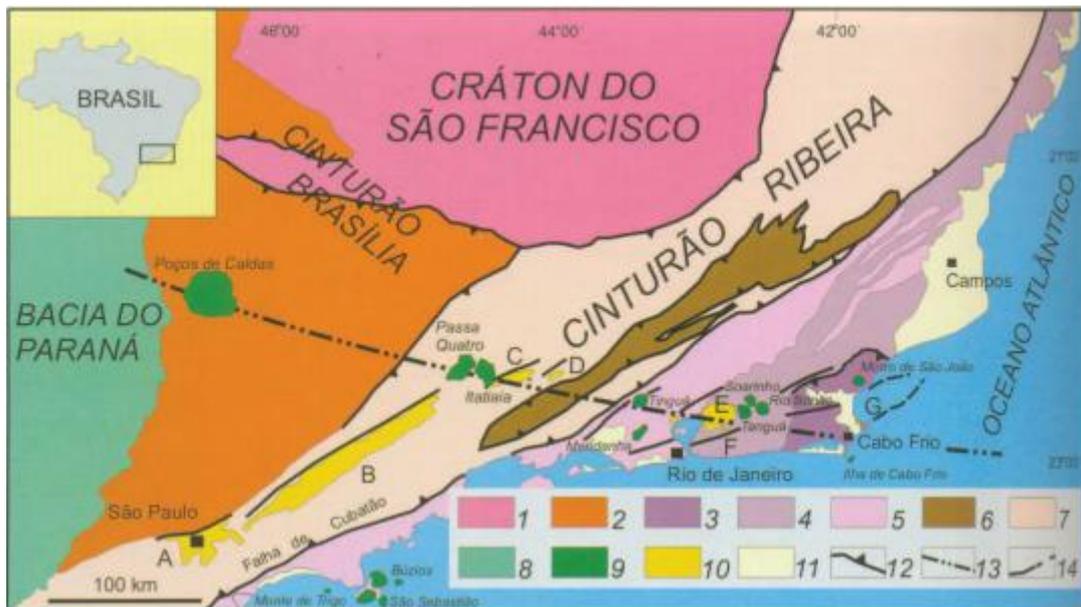


Figura 3: Mapa tectônico do Sudeste Brasileiro para visualização da Faixa Ribeira presente no Sistema Orogênico da Mantiqueira. 1) Cráton do São Francisco; 2) Cinturão Brasília; 3) Terreno Cabo Frio; 4) Terreno Oriental – Domínio Costeiro; 5) Terreno Oriental – Arco Magmático Rio Negro; 6) Klippe Paraíba do Sul; 7) Terreno Ocidental; 8) Bacia do Paraná; 9) Corpos alcalinos do Cretácio Superior e Eoceno; 10) Bacias do Rift Continental do Sudeste do Brasil (RCSB): A – São Paulo; B – Taubaté; C – Resende; D – Volta Redonda; E – Macacu; F – Itaboraí; G – Barra de São João ; 11) Sedimentos cenozóicos indiferenciados; 12) Falhas reversas, nappes; 13) Alinhamento Magmático de Cabo Frio; 14) Limites de grábens do RCSB. Fonte: Riccomini *et al.* (2004) *apud* Suárez (2005).

Segundo Hippertt (1990) *apud* Suárez (2005) , a Zona de Cisalhamento Dúctil de Niterói (ZCDN) é composta por uma faixa de rochas miloníticas com mais de 10 km de largura, na qual, estruturalmente, pode-se identificar sete zonas principais de falhas (Figura 4), sendo elas: a do Gragoatá, a da Praia das Flexas, a do Cavalão, a do Santo Inácio, a Sapezal – Pendotiba, a de Piratininga e a de Itaipu.

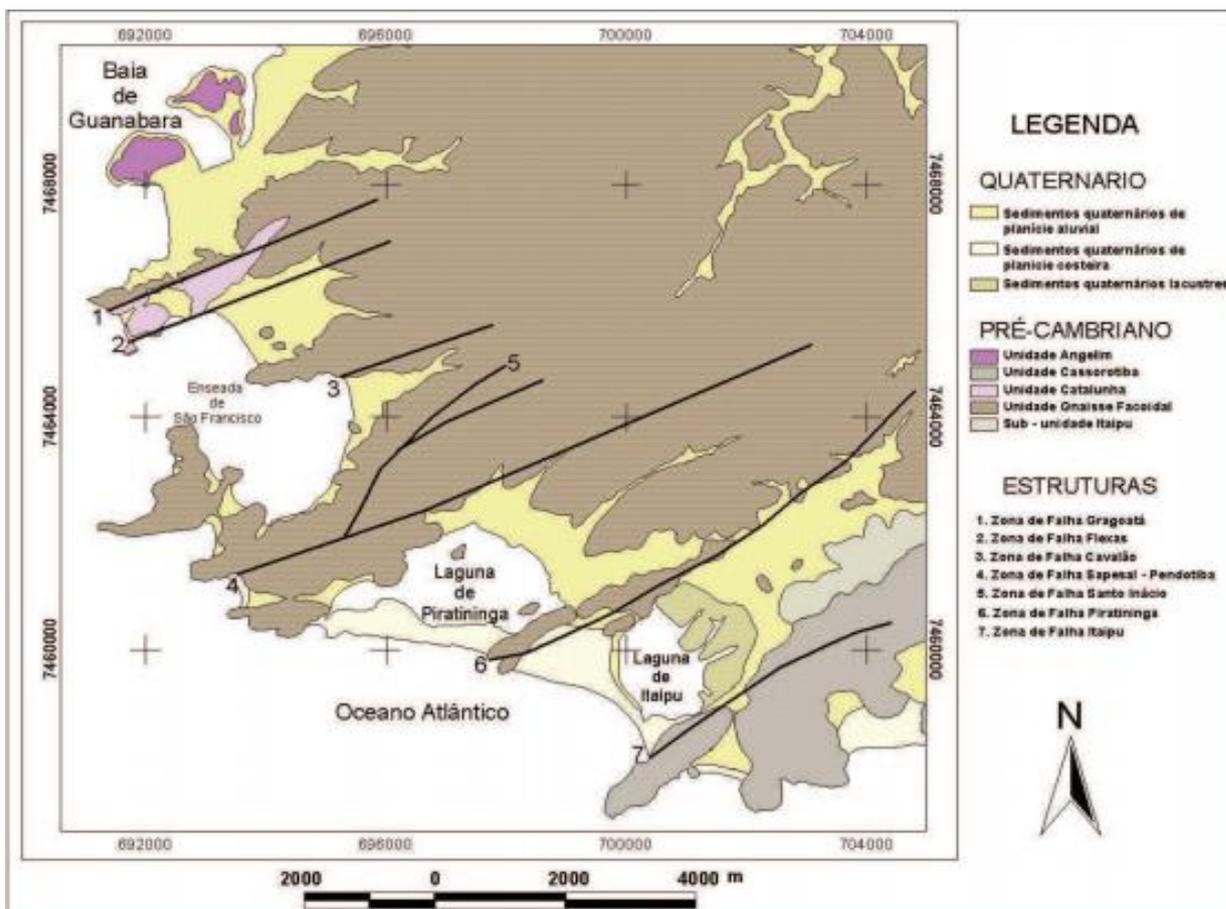


Figura 4: Mapa geológico do Município de Niterói, baseado no Projeto Carta Geológica do Estado do Rio de Janeiro. Fonte: DRM/GEOMITEC(1981) *apud* Suárez (2005).

Como descritos nos trabalhos de Ferrari *et al.* (1982) e pelo Departamento de Recursos Minerais (DRM) *apud* Suárez (2005) através do Projeto Carta Geológica do Estado do Rio de Janeiro, litologicamente, a região de Niterói pode ser apresentada nas seguintes unidades (Figura 4):

- Unidade Angelim:

Ocorre a ocidente de Niterói, no lado norte da Ilha da Conceição e proximidades. Abrange granada-biotita-(microlina)-quartzo-plagioclásio gnaisses homogêneos, com notáveis domínios heterogêneos migmáticos. Apresentam, em geral, coloração cinza escuro com rochas de grãos que variam entre 0.1 e 10mm.

- Unidade Catalunha:

Ocorre em formato de cunha no domínio do gnaiss facoidal em Gragoatá, São Domingos e Morro da Boa Vista, sendo exposta em afloramentos bastante intemperizados, em contato abrupto com o gnaiss facoidal envolvente. No geral, é representada por um gnaiss cinzento escuro, bem foliado, bandado em faixas de composições minerais, texturais e cores distintas, sendo as faixas mais escuras ricas em biotita e as mais leucocráticas ricas em granada.

- Unidade Gnaiss Facoidal:

É a que predomina no Município de Niterói, formando quase todos os maciços rochosos junto ao mar. É uma rocha homogênea, constituída de grãos grossos, variando a coloração de cinza a rosada, tipicamente porfiroblástica (“augen” gnaisses), com megafeldspatos potássicos, no geral microlina. A matriz compreende essencialmente plagioclásio, quartzo e biotita, podendo também ser composta por granada.

- Unidade Cassorotiba:

Apresenta incerteza quanto a sua real localização, estando presente, a priori, na região da Serra da Tiririca (Figura 4). Entretanto, segundo Penha *et al.* (2001), nesta serra se apresenta um granitóide porfirítico de composição diferente ao tipo de rochas que definem a unidade em questão. Assim Penha *et al.* (2001) denomina tal granitóide como Unidade Granito Itacoatiara. Por fim, a Unidade Cassorotiba abrange rochas charnockíticas grossas de coloração esverdeada a caramelada, semelhantes aos que ocorrem no Gnaiss Facoidal (Suárez, 2005) .

- Sub - unidade Itaipu:

Ocorre em uma faixa relativamente estreita ao SE da Baía de Guanabara e compreende granada-biotita-quartzo-feldespato e gnaisses leucocráticos (Suárez, 2005).

Uma importante análise para melhor compreensão da área de estudo, está associada a interpretação das formações superficiais, que recobrem as encostas. Tais formações podem ser de natureza geológica ou antropogênica, sendo de suma importância para a geotécnica.

No município de Niterói, iremos considerar as seguintes formações superficiais: Depósitos de Tálus/Colúvio e Campos de Matacões/Blocos Rochosos. Segundo Ferrari *et al.* (2004), há uma grande semelhança entre tálus e colúvio, sendo entendido como tálus um amontoado de detritos rochosos no sopé das encostas escarpadas e desnudas, composto de seixos, pedregulhos, blocos e matacões, apresentando tamanho variado, mal selecionado e sub-angulosos.

Tálus são formados por ação da gravidade sobre fragmentos soltos nos paredões rochosos, desmembrados da rocha *in situ*, por processos intempéricos (Figura 5). São instáveis e apresentam um gradiente acentuado, sendo facilmente desestabilizados por ação antrópica. Logo, conclui-se que são áreas de alto risco para ocupação.

Os depósitos de encosta conhecidos como colúvios, são formados por material heterogêneo, resultante de uma mistura de fragmentos de rocha intemperizada (Figura 6).



Figura 5: Depósito de tálus/colúvio com exumações de blocos rochosos no sopé da vertente do Morro do Cavalão. Fonte: Ferrari *et al.* (2004)



Figura 6: Depósito coluvionar em corte na Rua São Sebastião (Morro do Estado – Ingá). Fonte: Ferrari *et al.* (2004)

Os campos de Matacões e Blocos Rochosos aparecem em grande parte nas encostas do gnaissé facoidal em aglomerações ou isolados, apresentando

tamanhos e formas variadas (Figura 7). Se originam inicialmente pela ação do intemperismo químico, em geral ao longo de fraturas, sendo removidos pela ação da erosão e acumulados na superfície.



Figura 7: Campo de Matações na encosta norte do Morro do Alarico. Fonte: Ferrari *et al.* (2004)

Cabe destacar que sob a ação de um meio de transporte violento, como enxurradas, chuvas torrenciais ou até mesmo em uma região de alta declividade, esses matações podem ser facilmente deslocados. Associado ao desmatamento e a ocupação antrópica, são locais impróprios para habitação, tendo em vista que são áreas propícias à escorregamentos.

Dependendo da ruptura tangencial ou geometria da superfície a que dão origem, os escorregamentos podem ser classificados em dois tipos: rotacionais ou translacionais.

- Rotacionais

Também conhecido como escorregamentos circulares, ocorrem ao longo de superfícies de ruptura curvas, geralmente, em meios homogêneos e isotrópicos. Neste tipo de movimentos, as massas de

solo ou rocha deslizam sob a superfície de ruptura, predispostas pela perda de resistência ao corte, com a secção transversal curva e côncava. Quanto à ruptura, esta pode ser superficial ou profunda, associado, principalmente, a intensidade da precipitação. Este tipo de escorregamento é frequente no sudeste brasileiro, e tem como início a erosão causada pela chuva na base das montanhas e/ou morros; e cortes feitos nas encostas por meio de ação humana (Figura 8).

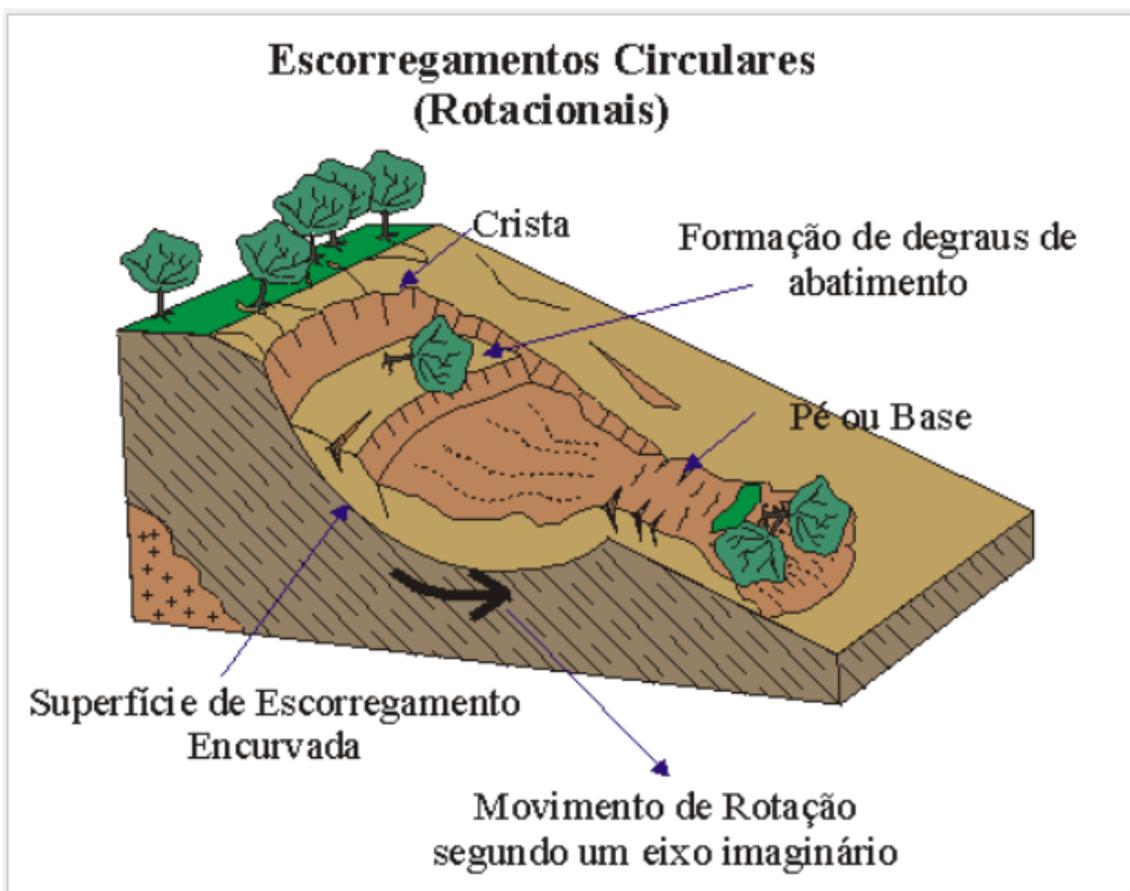


Figura 8: Escorregamento Rotacional. Fonte: Avaliação de Riscos (2013).

- Translacionais

Também conhecido como escorregamentos planares, ocorrem ao longo de superfícies de ruptura planares ou pouco onduladas. Os escorregamentos translacionais podem ser classificados de acordo com o tipo de material que é movimentado. Pode-se encontrar, desta forma, escorregamentos translacionais de rocha, de solo e de ambos

os materiais. Este tipo de escorregamento acontece, geralmente, logo após ou durante períodos de chuvas intensas. A chuva age na superfície das encostas e as rupturas ocorrem em um curto espaço de tempo. Esse tipo de escorregamento é o mais comum e são freqüentes nas encostas serranas brasileiras (Figura 9).

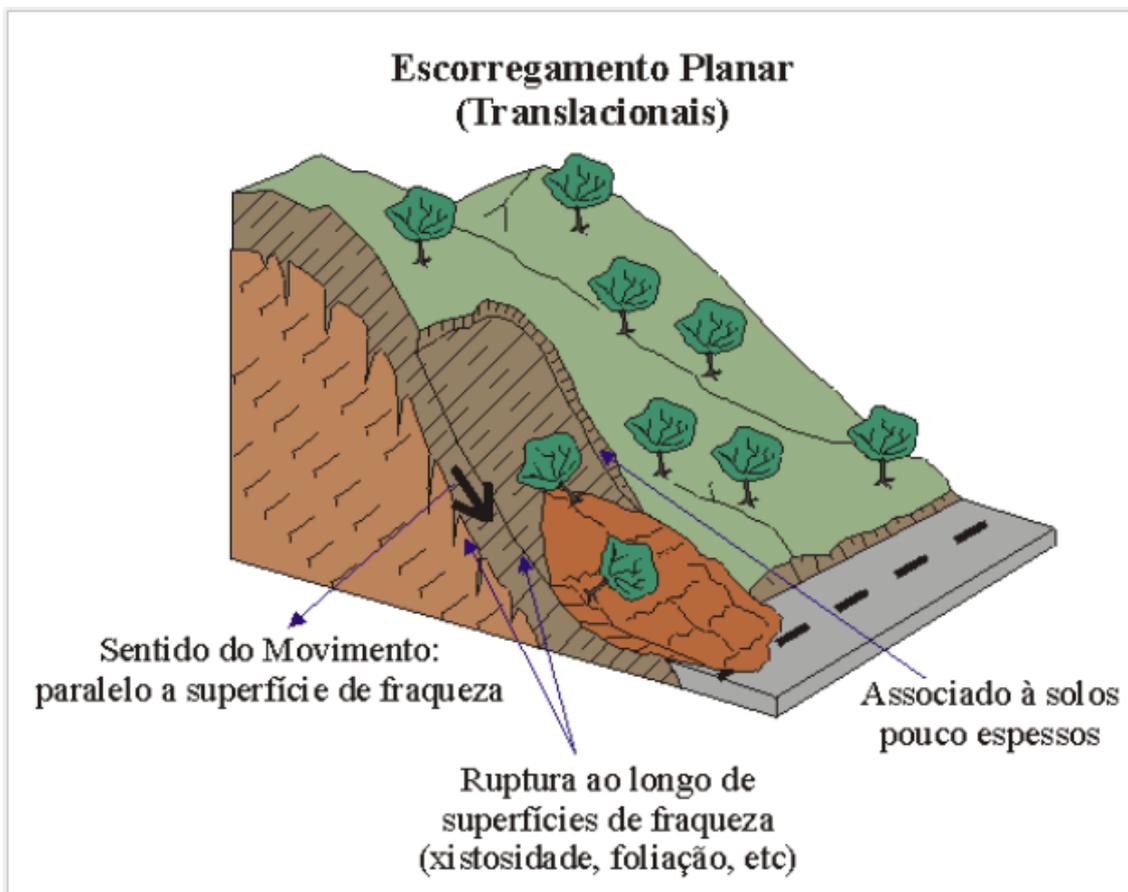


Figura 9: Escorregamento Translacional. Fonte: Avaliação de Riscos (2013).

### 3.2 Relevo

O relevo do Município de Niterói caracteriza-se pela conjugação de extensas faixas de planícies, notadamente junto ao litoral, que são interrompidas por conjuntos alongados de morros que alcançam altitudes da ordem de algumas centenas de metros (Tabela 1). A porção do Município de Niterói descrita neste trabalho conhecida como Setor 1 (Figura 10)

corresponde à sua região mais ocidental, desde Jurujuba e Charitas ao sul, até o Barreto e Engenhoca ao Norte (Ferrari *et al.* 2004).

<b>Morro</b>	<b>Altitude</b>
<b>Pedra do Elefante (Alto Morão)</b>	<b>412 m</b>
<b>Morro do Santo Inácio</b>	<b>348 m</b>
<b>Pedra do Cantagalo</b>	<b>314 m</b>
<b>Parque da Cidade</b>	<b>267 m</b>
<b>Costão de Itacoatiara</b>	<b>217 m</b>
<b>Morro da Andorinha</b>	<b>196 m</b>

Tabela 1: Pontos mais altos do Município de Niterói e suas respectivas altitudes. Fonte: Modificado de Nitivistas.

Verifica-se que as Zonas Central, Norte e Sul do Município (Figura 10), conhecidas como Setor 1, apresentam distribuição de relevo bastante irregular, com a ocorrência de faixas de transição estreitas e em altos gradientes entre os compartimentos mais abatidos e mais elevados. Portanto, devido a mudança brusca de gradiente, as encostas deste Setor estão suscetíveis a sofrerem erosão e movimento de massa, exceto em áreas em que há pouca espessura de material alterado ou pela presença de proteção natural ou de engenharia.

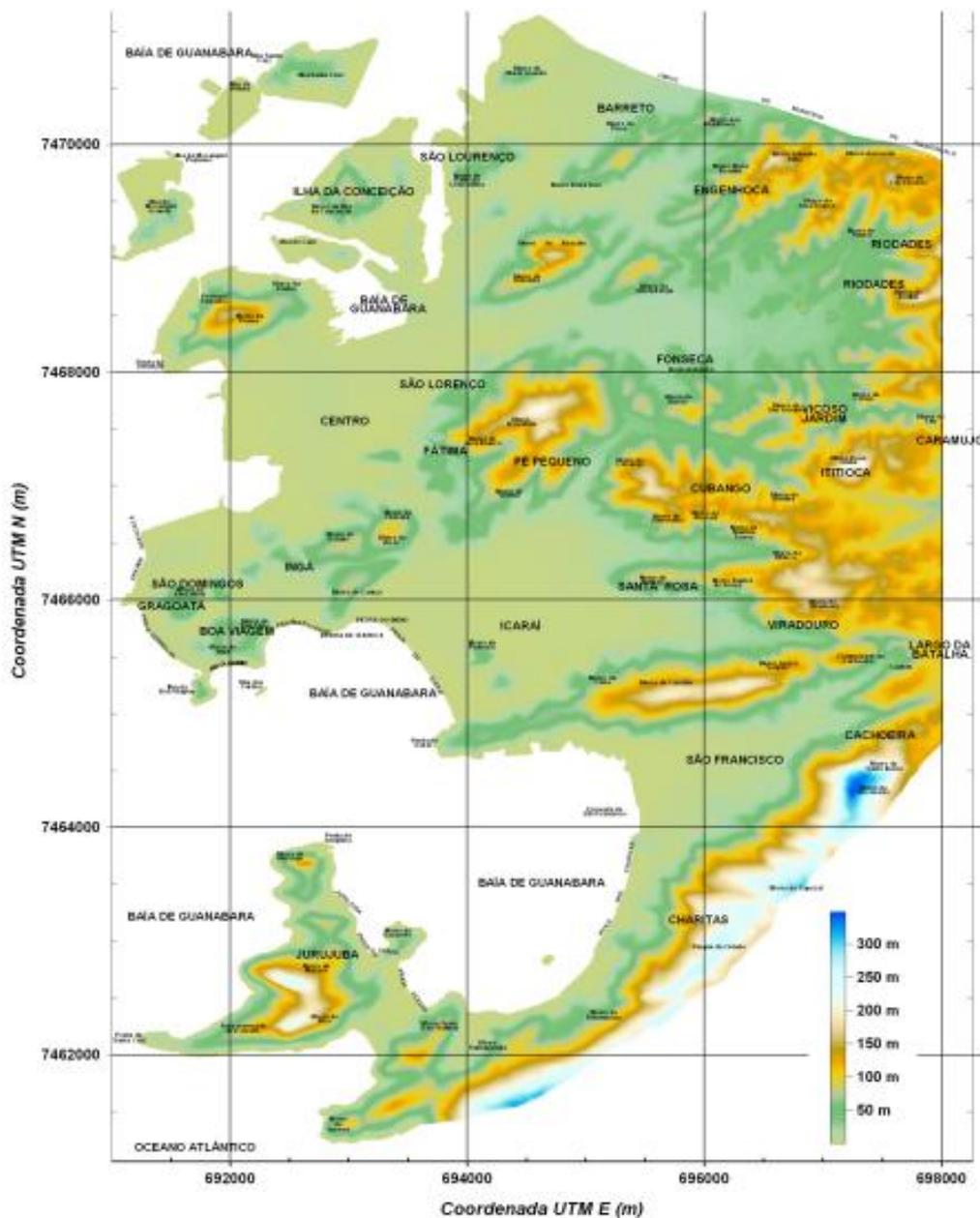


Figura 10: Relevo do Setor 1. Fonte: Ferrari *et al.* (2004)

Cabe destacar a ocorrência de morros isolados no Ingá, São Lourenço e Centro, inseridos na ampla área de planícies compreendido desde Icaraí ao Sul até a Ilha da Conceição, São Lourenço e Barreto ao Norte. Neste Setor, os gradientes observados variam de 0 a 80°, no qual grande parte se caracteriza por apresentar valores que superam os 15° (Figura 11).



A vegetação original do Município de Niterói é típica da Mata Atlântica, que hoje só está preservada em poucos locais, como, por exemplo, a Serra da Tiririca. O Município também conta com campos inundáveis, mangue e restinga. Cabe ressaltar que a Mata Atlântica é uma floresta com características tropicais, ou seja, é perenifólia (não costuma perder suas folhas) (Guia de Niterói).

Considerando a área de estudo analisada no Projeto de Avaliação das Encostas de Niterói com Vista aos Fenômenos de Deslizamentos – Setor 1 (Zonas Centro, Norte e Sul), 1815 ha dos 3963,5 ha total, correspondem a área com cobertura vegetal nas encostas, totalizando 45,8%. As classes destacadas foram a Floresta Densa (11,5%), Floresta Secundária em Estágio Inicial (17,1%), Campo Herbáceo (17,1%), Floresta Secundária em Estágio Médio (19,5%) e Pomar (20,8%).

Os resultados indicam o predomínio da cobertura arbustiva a arbórea (Figura 12), sendo estas fundamentais para minimizar os efeitos negativos promovidos pela urbanização. Segundo Falcón (2007) *apud* Ávila (2016), esse tipo de cobertura vegetal em equilíbrio com outros elementos como solo, água e fauna, geram, entre outros benefícios, a redução da contaminação atmosférica, absorvendo gás carbônico e liberando oxigênio ao meio.



Figura 12: Exemplo de vegetação arbustiva – arbórea densa. Fonte: Zona Costeira – UFBA.

Além da vegetação, fatores como relevo, tipo e profundidade do solo e a intensidade pluviométrica devem ser considerados no estudo do movimento de massa. Desta forma, observa-se em Ferrari *et al.* (2004) as principais classes de mapeamento vegetal agrupadas conforme a capacidade de influenciar a suscetibilidade do terreno à ocorrência de deslizamentos (Tabela 2).

Suscetibilidade	Classe de Cobertura Vegetal	Área (ha)	% Total
Alta	Vegetação Herbáceo-Arbustiva - VHA Campo Herbáceo – CH *	370,0	20,4
Média	Floresta Secundária em Estágio Inicial - FSI * Floresta Secundária Estágio Inicial + Pomar - FSI + P Campo Herbáceo + Afloramento CH + AF Reflorestamento Eucalipto - RE Pomar - P *	877,9	48,4
Baixa	Floresta Secundária em Estágio Médio - FSM * Vegetação Rupestre - VR	567,2	31,2

Tabela 2: Classes de suscetibilidade a deslizamentos com destaque das principais coberturas vegetais descritas no presente trabalho, com uso de \* na cor vermelha. Fonte: Modificado de Ferrari *et al.* (2004).

A classificação das coberturas vegetais quanto à suscetibilidade a deslizamentos, leva em consideração o porte das espécies, relacionado diretamente com a taxa de interceptação da água da chuva, produção de matéria orgânica e de transpiração. Vegetação de baixo porte oferece uma proteção baixa contra os deslizamentos e, conseqüentemente, uma alta suscetibilidade, como é o caso dos Campos Herbáceos.

A Floresta Secundária em Estágio Inicial e o Pomar, são exemplos de coberturas vegetais de médio a alto porte, apresentando assim uma proteção um pouco maior do que as coberturas vegetais supracitadas, caracterizando uma média suscetibilidade a deslizamentos. Coberturas vegetais como Floresta Densa e Floresta Secundária em Estágio Médio, oferecem uma baixa suscetibilidade a deslizamentos, pois são considerados de alto porte, apresentando uma maior proteção.

### 3.4 Clima

No Brasil predomina o clima tropical, com grandes índices pluviométricos no verão, sendo nesta estação, os maiores registros de desastres ambientais relacionados ao movimento de massa. Quando ocorrem as precipitações, o solo absorve uma parcela da água, no entanto, outra parte se locomove em forma de enxurrada na superfície do terreno. A parte da água que se infiltra no solo se confronta com alguns tipos de rochas impermeáveis, no qual a água não encontra passagem e começa acumular-se em único local tornando, dessa forma, o solo saturado de umidade que não consegue suportar o peso e se rompe, desencadeando deslizamentos.

Segundo o Climate-Data, o Município de Niterói apresenta um clima classificado como Aw (clima tropical com inverno seco) de acordo com a Köppen e Geiger, no qual chove muito menos no inverno que no verão. Em Niterói a temperatura média é 23.4 °C com pluviosidade média anual de 1204 mm. Julho, considerado o mês mais seco, apresenta uma precipitação aproximada de 50 mm, enquanto Março, se classifica como o mês mais chuvoso por apresentar uma precipitação média de 147 mm (Figura 13).

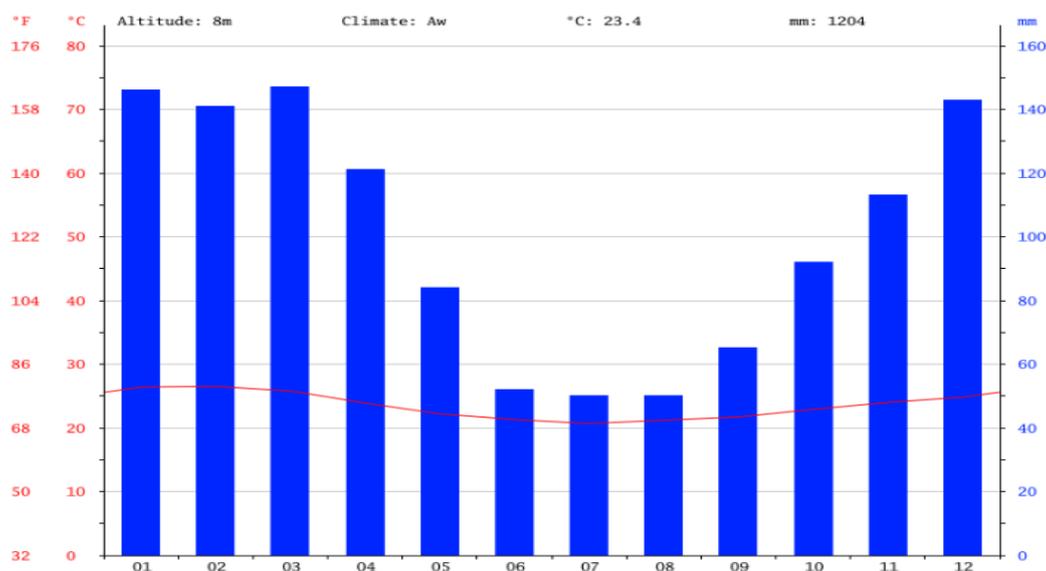


Figura 13: Gráfico climático de Niterói, onde as barras azuis representam o índice pluviométrico do Município e a linha vermelha, a temperatura correspondente a cada mês. Fonte: Climate-Data.org

Abaixo, observa-se alguns eventos de grande repercussão no país, que ocorreram nos meses com maior índice pluviométrico, indicando que a precipitação combinados com outros elementos, são desencadeadores de desastres ambientais como os deslizamentos. Os eventos em destaque se tornaram conhecidos como: tragédia no Morro do Bumba e tragédia em Angra dos Reis.

- Tragédia no Morro do Bumba:

Ocorrida no dia 7 de abril de 2010, no bairro Viçoso Jardim, periferia de Niterói/RJ. O desastre ocorrera pelo deslizamento de uma encosta em região que abrigara um antigo lixão da cidade. O desfecho trágico deveu-se à intensa ocupação da área atingida, com um elevado número de vítimas fatais e centenas de famílias desabrigadas. As causas da tragédia giram em torno do grande volume de chuvas do período e da fragilidade do solo, por conta de sua destinação no passado (VI Encontro Nacional da Anppas, 2012). Segundo informações da Defesa Civil, uma extensão de 600 metros de terra foram deslocados, soterrando cerca de 40 casas e gerando 48 vítimas fatais (Figura 14).



Figura 14: Área atingida pelo deslizamento no Morro do Bumba. Fonte: Folha Uol.

- Tragédia em Angra dos Reis:

Ocorrida no réveillon de 2010, inúmeros deslizamentos de terra ocorreram nas regiões de Angra dos Reis, no Sul Fluminense, devido a forte chuva nos dias anteriores. Com destaque a pousada Sankay, soterrada na Enseada do Bananal, na Ilha Grande (Figura 15). Toneladas de terra e pedras soterraram as instalações, matando 31 pessoas. Nos dois últimos dias de 2009, 220 bilhões de litros de água caíram na região, um volume que daria para encher 116 mil piscinas olímpicas.

A chuva do réveillon encontrou um território já encharcado e o resultado foi uma sequência de deslizamentos (Jornal O Globo). Segundo dados da Defesa Civil, sete casas nas vizinhanças também sumiram no deslizamento. No continente, a chuva fez mais estragos. Parte do Morro da Carioca, no centro de Angra dos Reis, veio abaixo. Outras 22 pessoas morreram e mais de 250 famílias tiveram que abandonar suas casas.



Figura 15: Área atingida pelo deslizamento em Ilha Grande-Angra dos Reis, soterrando a pousada Sankay. Fonte: Acervo O Globo.

Em anos anteriores, o Estado do Rio também já havia sofrido com as fortes chuvas do início de ano. Em janeiro de 1966, foram mais de 100 mortos.

Vinte e dois anos depois, em 1988, após 15 dias de tempestades, cerca de 350 morreram em diversos pontos do estado. Em 1996, o volume de chuva impressionou os moradores da capital: foram 201 milímetros em um único dia. O total de mortos ultrapassou 60 pessoas (Jornal O Dia).

Nos meses de Dezembro à Abril, período mais chuvoso, os relatos são cada vez mais freqüentes, em especial na Região Serrana do Estado, em Petrópolis, Teresópolis e Nova Friburgo. Sempre com a combinação de fatores como fortes chuvas com condições geológicas específicas da região, sendo agravada pela ocupação irregular do solo e a falta de infraestrutura adequada.

### **3.5 Dados Estatísticos e Medidas Preventivas**

Os dois episódios descritos anteriormente, reforçam a necessidade de medidas preventivas, como por exemplo, a remoção de famílias que vivem em áreas de risco ou até mesmo a intervenção com medidas estruturais e não estruturais. Entretanto, anterior a qualquer ação, é necessário uma análise prévia do terreno. Tal análise foi executada pelo Departamento de Recursos Minerais (DRM), que mapeou as encostas de 67 municípios fluminenses e aponta a situação crítica de Niterói, em relatório elaborado em Dezembro de 2012. Segundo o DRM, Niterói se enquadra entre os Municípios com mais de 200 setores de risco eminente, destacado com a cor vermelha (Figura 16).

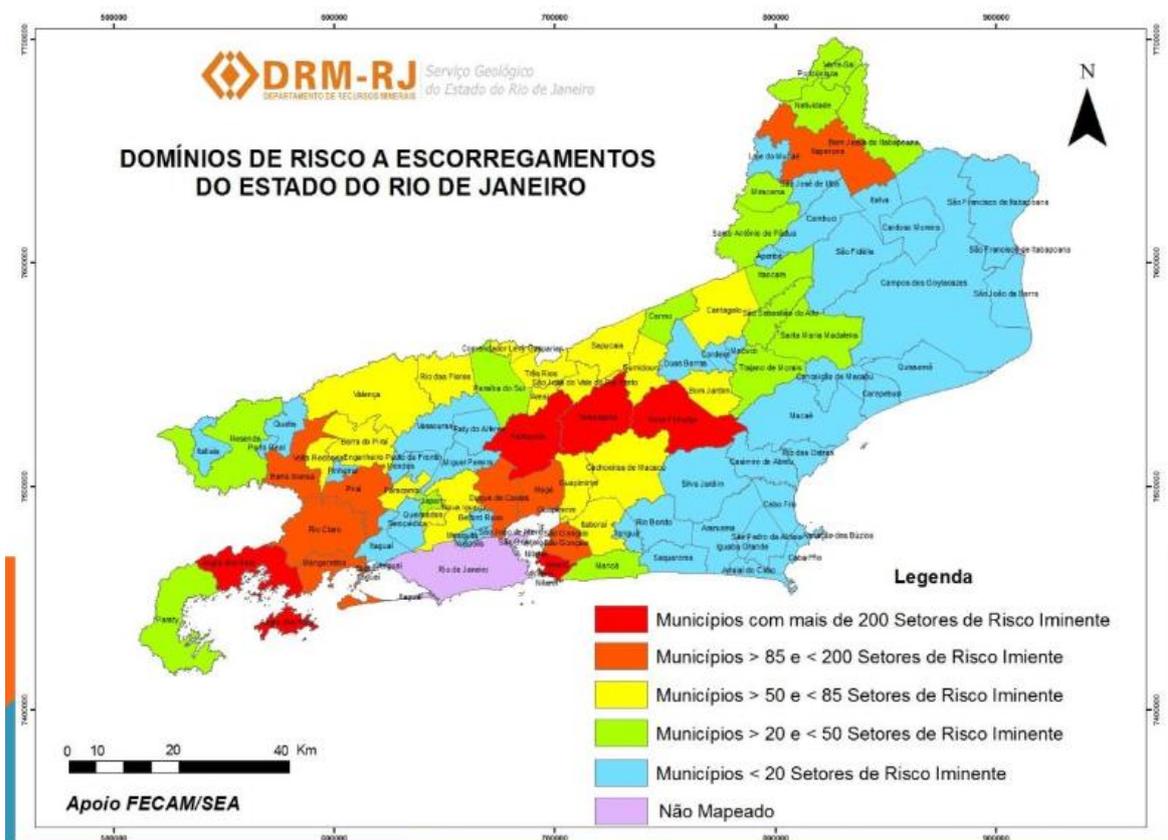


Figura 16: Domínios de risco a escorregamentos do Estado do Rio de Janeiro. Fonte: DRM , 2012.

O Departamento de Recursos Minerais, completa sua pesquisa com um quantitativo do risco iminente a desastres associados a escorregamentos nos Municípios do Estado do Rio de Janeiro. Niterói se apresenta como o 3º Município no ranking de pessoas que moram em áreas de risco, totalizando 8904 cidadãos, perdendo apenas para Petrópolis e Nova Friburgo (Tabela 3).

Município	Setores de risco iminente	# total de casas em risco (iminente)	# total de pessoas em risco (iminente)
<b>Petrópolis</b>	<b>132</b>	<b>4500</b>	<b>18000</b>
<b>Nova Friburgo</b>	<b>131</b>	<b>5687</b>	<b>12991</b>
<b>Teresópolis</b>	<b>121</b>	<b>1300</b>	<b>4940</b>
Angra	430		
<b>Niterói</b>	<b>42</b>	<b>2226</b>	<b>8904</b>
Itaperuna	66	224	877
São Gonçalo	48	417	1752
Barra Mansa	37	226	905
Mangaratiba	45	196	769

Tabela 3: Números expressivos relacionados ao risco a deslizamentos dos Municípios que se encontram em situação crítica no Estado do Rio de Janeiro. Fonte: Modificado de DRM, 2012.

Mediante tal situação, foi elaborado um Plano de Contingência, que é um documento onde estão definidas as responsabilidades estabelecidas em uma organização, para atender a uma emergência e também contém informações detalhadas sobre as características da área ou sistemas envolvidos. No setor ambiental, o Plano de Contingência estabelece as ações, recursos e responsabilidades para prevenção de desastres naturais e gerenciamento de emergências.

Segundo o DRM, as seguintes medidas estão presentes no Plano de Contingência:

- Acompanhamento dos dados de chuva do INEA (Instituto Estadual do Ambiente) e das previsões das chuvas do SIMERJ (Sistema de Meteorologia do Estado do Rio de Janeiro);
- Mobilização da equipe técnica sempre que a chuva acumulada no período de 72h somada a chuva prevista no período de 24h alcançar 115mm.
- A comunicação ao CESTAD (Centro Estadual de Administração de Desastres) sobre o posicionamento do DRM quando o Alerta for emitido, indicando que a chuva acumulada no período de 1 mês somada a previsão de chuva nas próximas 24h, totalizar 270mm ou mais. Além da emissão do Alarme quando a chuva acumulada no período de 23h alcançar 70mm somado a previsão da próxima hora ser de no mínimo 30mm (totalizando 100mm em 24h).

Constatada a situação de emergência, bases de operações serão montadas em locais próximos e responsabilidades serão definidas para o atendimento emergencial.

Segundo a Prefeitura de Niterói, desde 2014 que o Município já conta com o Sistema de Alerta e Alarme por Sirenes da Defesa Civil, uma parceria entre a municipalidade e o governo estadual. Integram esse sistema, 30 sirenes que estão posicionadas em 25 comunidades da cidade, além de uma estação meteorológica e dez pluviômetros.

As 30 sirenes para prevenir desastres provocados por chuvas em áreas de riscos de deslizamento na cidade estão instaladas nas localidades de Alarico de Souza (Zulu), Bairro de Fátima, Beltrão, Biquinha, Boa Vista, Bonfim, Coronel Leôncio, Dr. March (Morro do Castro), Grota do Surucucu, Iara, Igrejinha, José Leomil, Maceió, Martins Torres, morros da Penha, Palácio e Estado, Pé Pequeno, Retiro Saudoso, Santa Bárbara, São José 340, Teixeira de Freitas, Viçoso Jardim e Viradouro.

Os dez pluviômetros que medem a quantidade de chuva estão acoplados às sirenes no Bairro de Fátima, Beltrão, Viçoso Jardim, Bonfim, Coronel Leôncio, Igrejinha, Morro do Estado, Preventório, Santa Bárbara e Doutor March. Niterói conta também com 26 pluviômetros automáticos e semi-automáticos em uma parceria entre o município e o Cemaden (Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais) do Governo Federal. Já a estação meteorológica está instalada no Parque das Águas, no centro da cidade.

No entanto, uma matéria do Jornal O Globo, realizada em 2016, mostrou que muitas comunidades do estado do Rio de Janeiro que têm sistemas de alerta para desastres naturais instalados não podem contar com a tecnologia. O serviço, que era prestado até março de 2016, foi interrompido por falta de pagamento aos fornecedores. A situação preocupa já que o período entre dezembro e março é considerado crítico pela quantidade de chuva. Apesar de as sirenes ainda estarem instaladas, o monitoramento não está sendo feito.

Mediante números tão alarmantes, a Geofísica cada vez mais ocupa um lugar de destaque no quesito monitoramento e, conseqüentemente, prevenção a desastres naturais. Seus métodos e ferramentas são de suma importância para o conhecimento da subsuperfície e dinâmica dos solos, podendo assim identificar áreas de risco. Desta forma, um dos importantes métodos geofísicos aplicados nessa área denomina-se Eletrorresistividade. Para comprovação de sua efetividade, 2 estudos de caso que utilizaram a Eletrorresistividade foram descritos neste trabalho, no capítulo a seguir.

## 4. MÉTODO GEOFÍSICO IMPLEMENTADO NOS ESTUDOS DE CASO

O método geofísico descrito neste trabalho será a Eletrorresistividade. Trata-se de um método investigativo, não invasivo e que não gera nenhum movimento de solo ou subsolo na área ou seu entorno. Combinado com o estudo geológico da região, possibilita a investigação e definição da espessura do solo, posição da rocha, nível freático, presença de blocos, direção preferencial do fluxo subterrâneo e planos preferenciais de escorregamentos (Xavier, 2008). Através da análise de todos esses fatores é possível propor direcionamentos que auxiliem na prevenção ou remediação dos eventos naturais.

### 4.1 Método da Eletrorresistividade

Segundo Elis (2002) *apud* Xavier (2008), o método da eletrorresistividade emprega uma corrente elétrica artificial que é introduzida no terreno através de dois eletrodos (denominados A e B), com objetivo de medir a diferença de potencial gerada em outros dois eletrodos (denominados C e D). Desta forma é possível inferir a resistividade real ou aparente em subsuperfície (Figura 17).

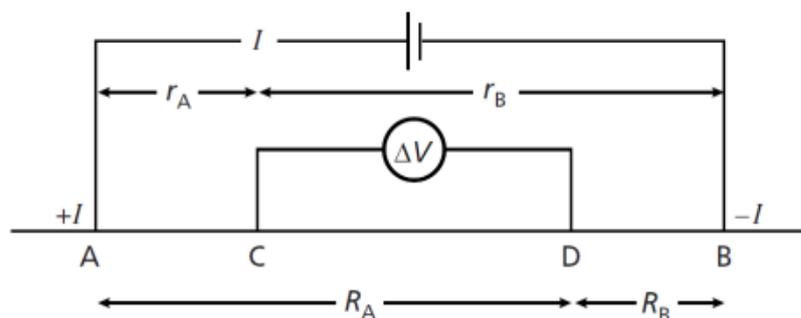


Figura 17: Configuração dos eletrodos para medições de resistividade. Fonte: Kearey *et al.* (2009).

Em geral, a propagação de corrente elétrica em solos e rochas se dá devido ao deslocamento de íons dissolvidos na água contida nos poros e fissuras, sendo afetada principalmente pela composição mineralógica, porosidade, teor em água e quantidade e natureza dos sais dissolvidos (Apparao,1991 *apud* Xavier, 2008).

O equipamento utilizado nos levantamentos de eletrorresistividade denomina-se Resistímetro, composto por uma fonte controlada para emissão de corrente elétrica e medidores para a corrente e a diferença de potencial gerada. Segundo Kearey *et al.*(2009), existem dois tipos principais de procedimentos empregados em levantamentos de eletrorresistividade, sendo eles: Sondagem Elétrica Vertical (SEV) e Caminhamento de Separação Constante (CST) (Figura 18).

- Sondagem Elétrica Vertical (SEV):

Também conhecida como sondagem elétrica ou sonda de expansão, é usada principalmente no estudo de interfaces horizontais ou quase horizontais. A corrente e os eletrodos de potencial são mantidos no mesmo espaçamento relativo, e o arranjo todo é progressivamente expandido ao redor de um ponto fixo central. Esta técnica é amplamente usada para determinar a espessura do capeamento e na definição de camadas porosas.

- Caminhamento de Separação Constante (CST):

Também conhecido como Caminhamento Elétrico (CE) ou Perfilagem Elétrica, é usada para determinar variações verticais de resistividade. A corrente e os eletrodos de potencial são mantidos a uma separação fixa e todo o conjunto se move lateralmente, realizando as medidas de resistividade aparente. Esta técnica é empregada na localização de falhas, zonas de cisalhamento e corpos de condutividade anômala.

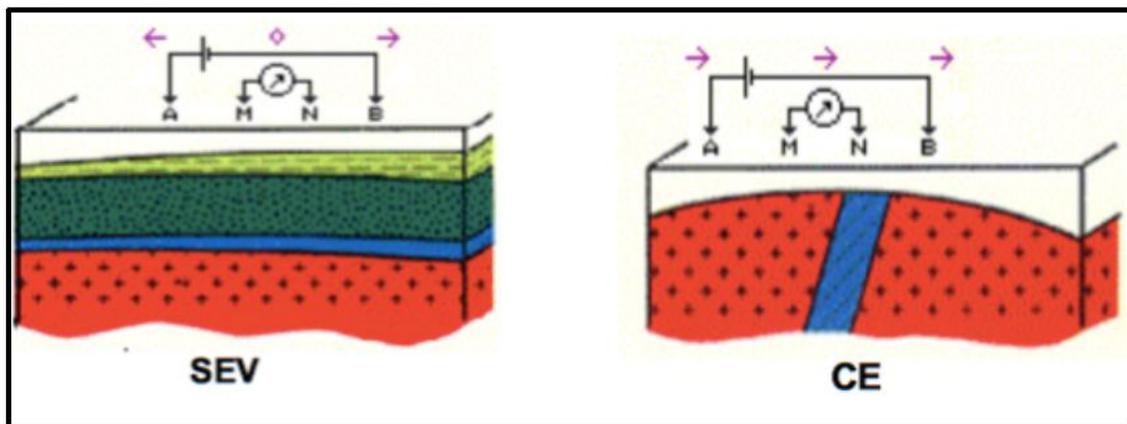


Figura 18: Principais técnicas de campo utilizadas para mapeamento do subsolo.

Fonte: IPT (2012) *apud* Luz (2016).

A SEV é um método muito conveniente para determinação da profundidade do embasamento para fundações, e também fornece informações sobre o grau de saturação dos materiais de superfície. O CST pode ser usado para determinar discontinuidades laterais, e pode também indicar a presença de condições de solos potencialmente instáveis (Kearey *et al.*, 2009).

Dentro dessas técnicas de levantamentos existe uma grande variedade de configurações possíveis de eletrodos, como o arranjo Dipolo-Dipolo, Polo-Dipolo, Polo-Polo, Wenner e Schlumberger, conferindo ao método grande versatilidade. Nos estudos de caso descritos neste trabalho, foram abordados os seguintes arranjos: Dipolo-Dipolo para técnica CST e Schlumberger para técnica SEV.

- Arranjo Dipolo-Dipolo

Cabe destacar a importância do arranjo Dipolo-Dipolo, podendo ser usado tanto em Sondagens quanto em Caminhamentos Elétricos, sendo o mais adequado para perfis 2D. Segundo Borges (2002), neste arranjo os eletrodos AB de injeção de corrente e MN de potencial são dispostos segundo uma linha e o arranjo é definido pelos espaçamentos entre os eletrodos  $X=AB=MN$ . A profundidade de investigação cresce com a distância entre os eletrodos de potencial e os de corrente. As medidas são efetuadas em várias profundidades de investigação ( $n$ ), isto é,  $n$  é o ponto de interseção entre uma linha que parte

do centro do arranjo de eletrodos AB e outra que parte do centro do arranjo MN, com ângulos de  $45^\circ$  (Figura 19).

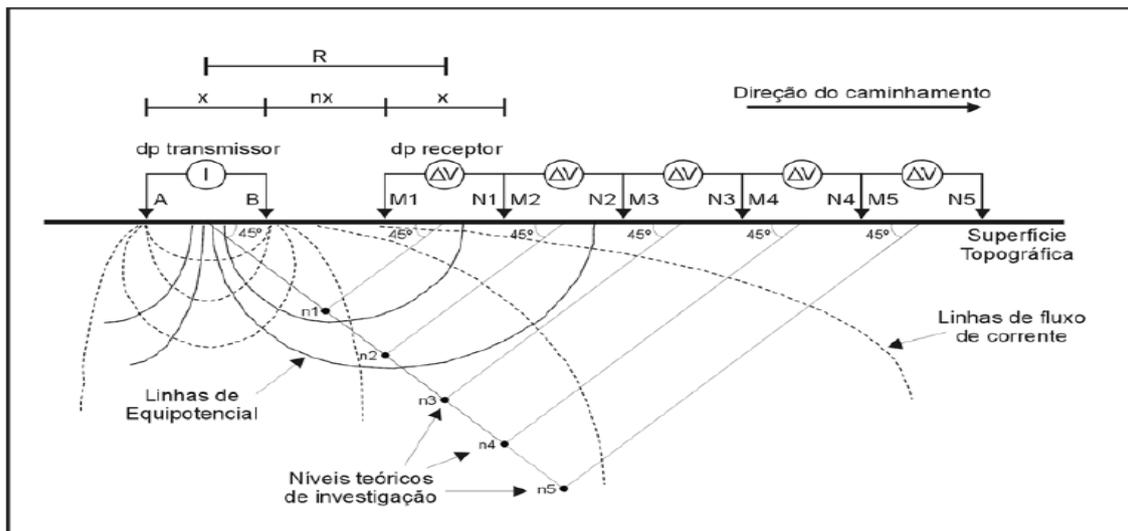


Figura 19: Esquema do arranjo Dipolo-Dipolo utilizado em caminhamentos elétricos. Fonte: Borges (2002)

- Arranjo Schlumberger

Segundo Borges (2002), no arranjo Schlumberger empregado principalmente em Sondagens Elétricas Verticais (SEV's), os quatro eletrodos são dispostos em linha, sendo que os eletrodos de potencial (MN) são fixos e colocados entre os de corrente (AB). Cabe destacar que a distância MN deve ser menor que a distância  $AB/2$  (Figura 20). O uso deste arranjo tem como vantagem a redução do tempo de aquisição, tendo em vista a necessidade de mover apenas os dois eletrodos de corrente.

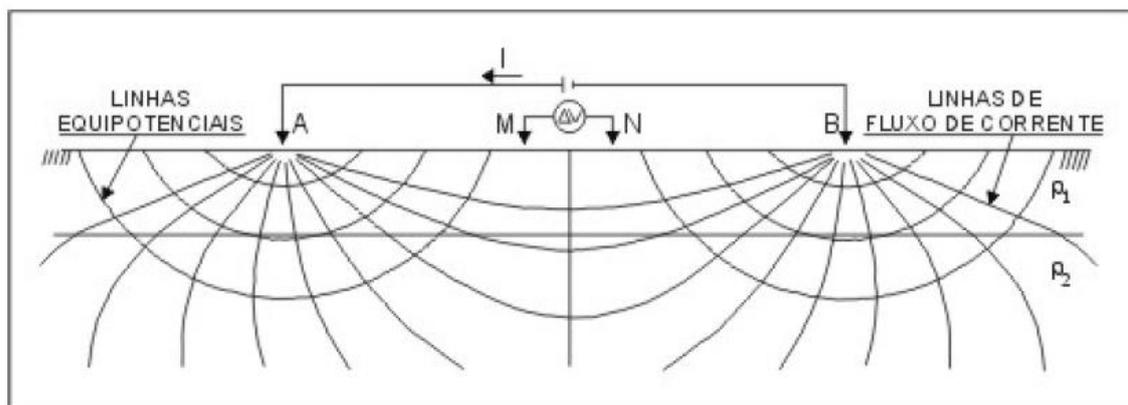


Figura 20: Arranjo Eletródico Schlumberger. Fonte: Telford *et al.*(1990) *apud* Borges (2002)

## 4.2 Aplicação da Eletroresistividade em Joinville, SC

O método da eletroresistividade foi aplicado no Distrito Industrial de Joinville, SC, na Rua Santos Dumont nº 3800 de propriedade e ocupação da Indústria Metalúrgica Pirâmide (Figura 21). O estudo foi fomentado após um escorregamento, para que pudesse ser feita uma investigação de estabilidade de taludes, visando o conhecimento dos riscos futuros e ações a serem tomadas a curto, médio e longo prazo.

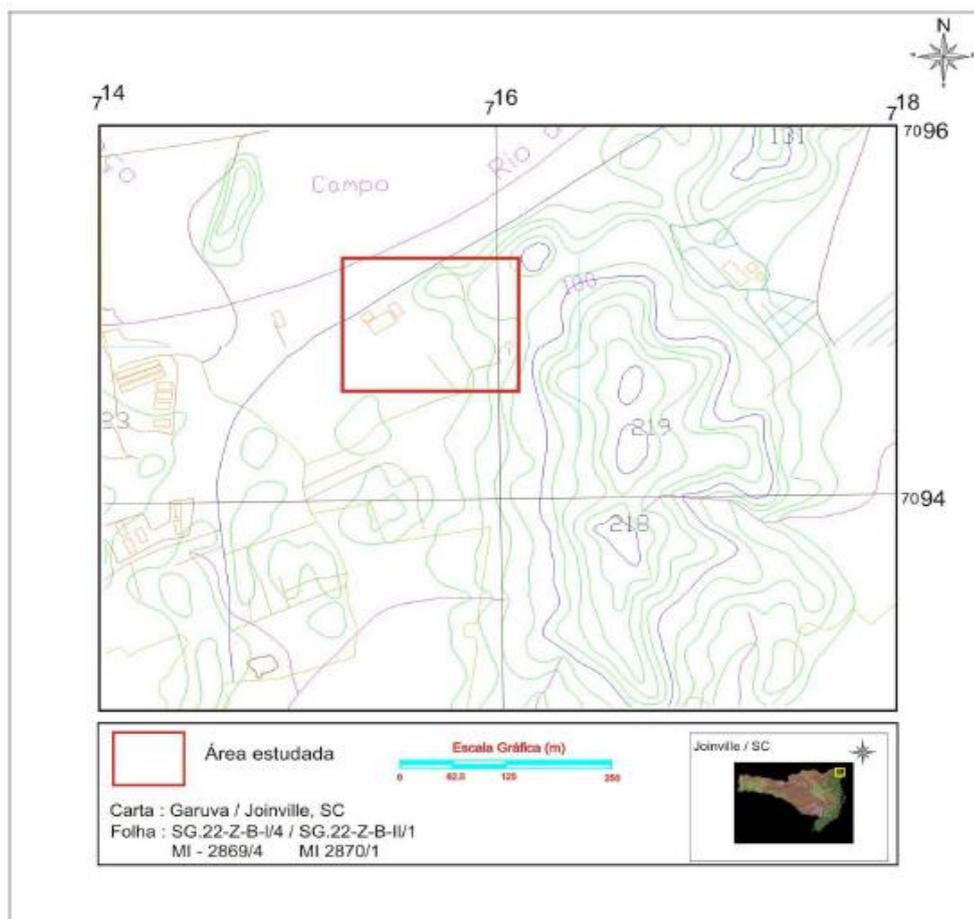


Figura 21: Localização da região abordada no estudo de caso. Fonte: Xavier (2008).

A área de estudo (180m x 240m) está inserida no contexto geológico de rochas gnáissicas do Complexo Granulítico de Santa Catarina, composto por uma granulação extremamente variável, desde fina a grosseira, predominando os tipos finos a médios. As principais características geotécnicas destas rochas dizem respeito à textura maciça a grosseiramente bandada nas porções de textura média, finamente bandada nas porções de textura mais fina, solos

espessos e pouco friáveis, alteração em forma de blocos e matacões, erosão diferencial e escorregamentos do tipo circular (Xavier, 2005 *apud* Xavier, 2008).

Abaixo, verifica-se as imagens do local, contrastando o pré e pós escorregamento (Figuras 22 e 23).



Figura 22: Pré escorregamento.

Figura 23: Pós escorregamento.

Fonte: Xavier (2008).

Os estudos geolétricos realizados na região se basearam nas duas técnicas da eletrorresistividade (CST e SEV), no qual na técnica CST foi utilizado o arranjo dipolo-dipolo, que segundo Gallas (2000) *apud* Xavier (2008), se trata de um arranjo simétrico, sendo mais fácil a interpretação de uma pseudo-seção, principalmente para se determinar com segurança a posição de uma anomalia. Os caminhamentos elétricos foram realizados paralelamente a encosta no azimute NW. O espaçamento dos eletrodos foi de 15m com 6 níveis de investigação.

Já na técnica SEV foi utilizado o arranjo Schlumberger que, segundo Apparao (1991) *apud* Xavier (2008), os eletrodos de corrente são regulares e simetricamente expandidos com relação ao ponto investigado.

Tais técnicas cobriram 1200m lineares de Caminhamentos Elétricos (distribuídos em 6CEs, entretanto apenas 3 imagens foram selecionadas, já que representavam o perfil da encosta, alvo principal do estudo) e 2

Sondagens Elétricas Verticais (AB máximo de 200m) (Figura 24). A potência da fonte utilizada foi de 150 Watts.

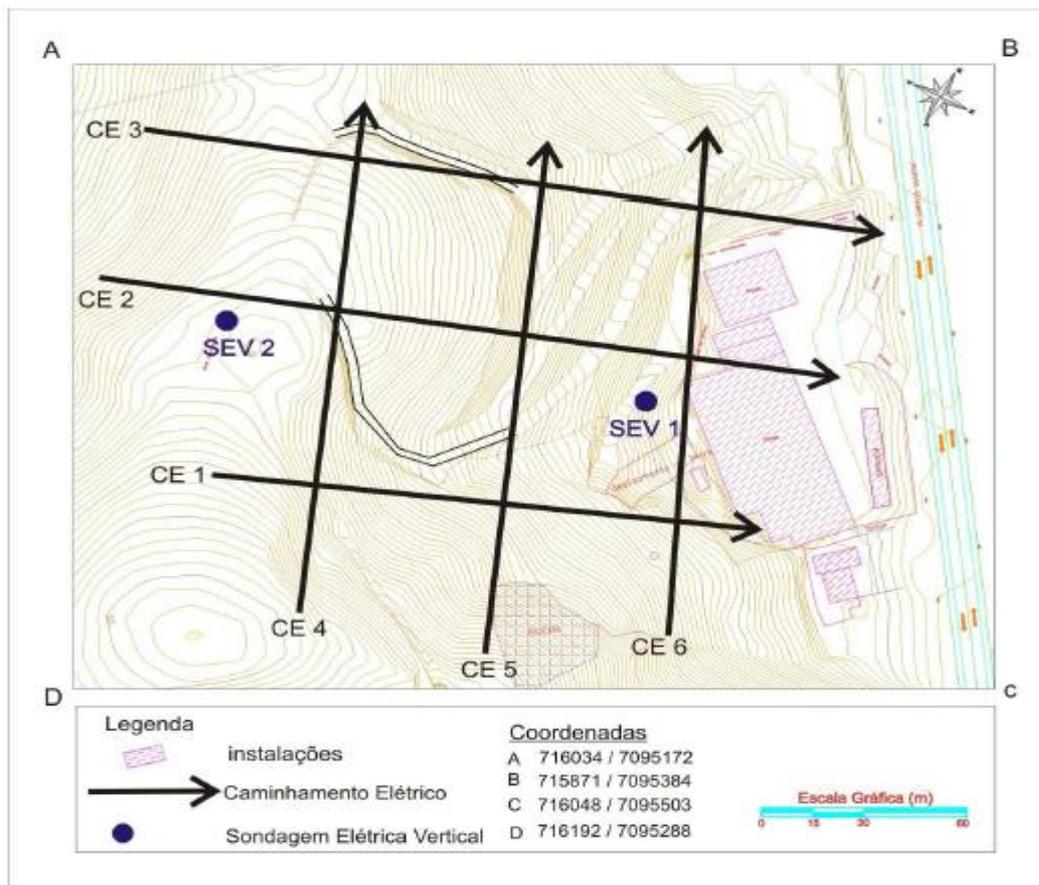


Figura 24: Localização das sondagens e caminhamentos geofísicos. Fonte: Xavier (2008).

#### 4.2.1 Resultados obtidos em Joinville, SC

Com a utilização do *software* RES 2D foram geradas imagens elétricas 2D, apresentadas em 3 CEs distintas, compreendendo o estudo dos materiais em profundidade, propiciando uma vista em perfil da área (Figuras 25, 26 e 27).

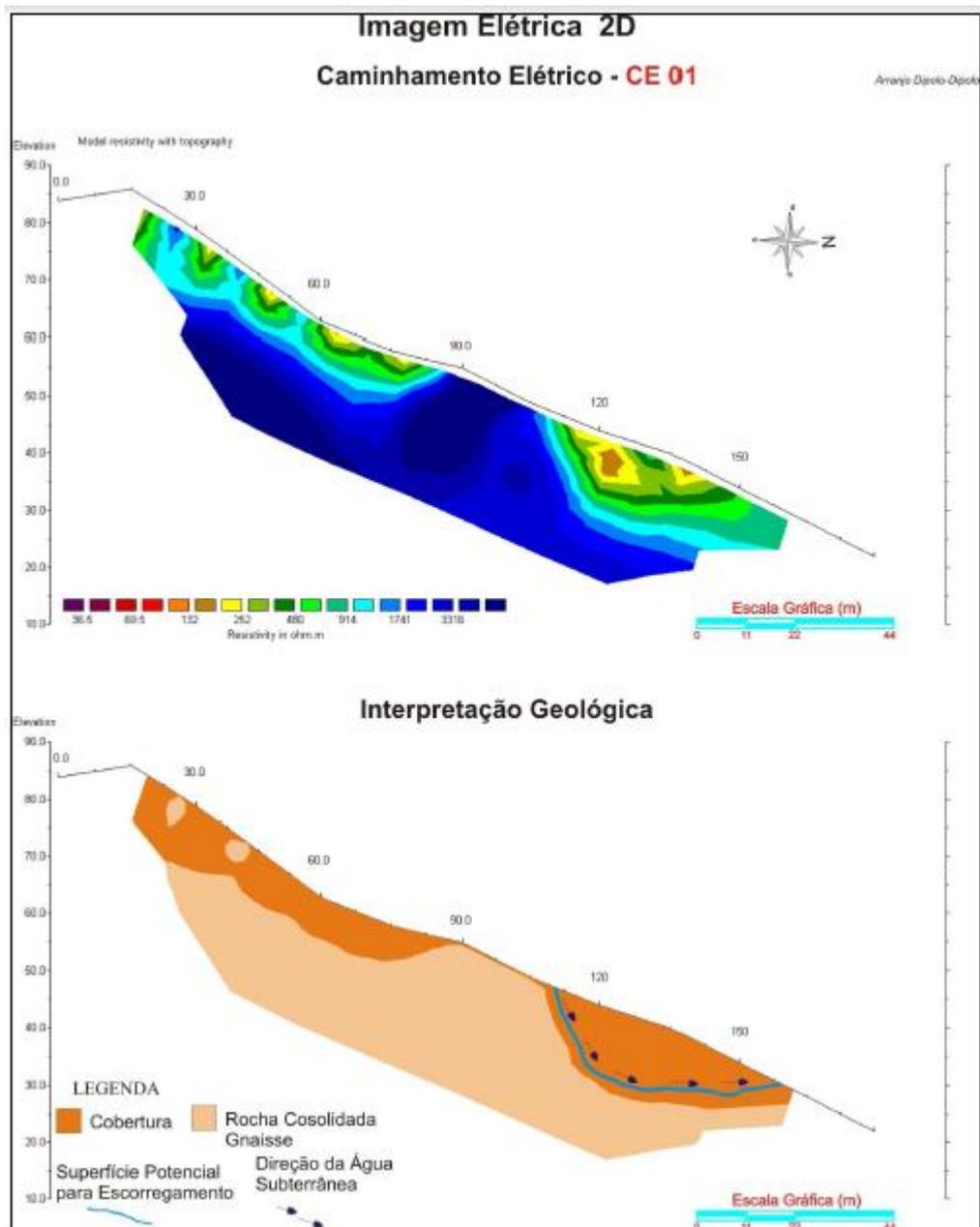


Figura 25: Imagem elétrica 2D – CE1. Fonte: Xavier (2008).

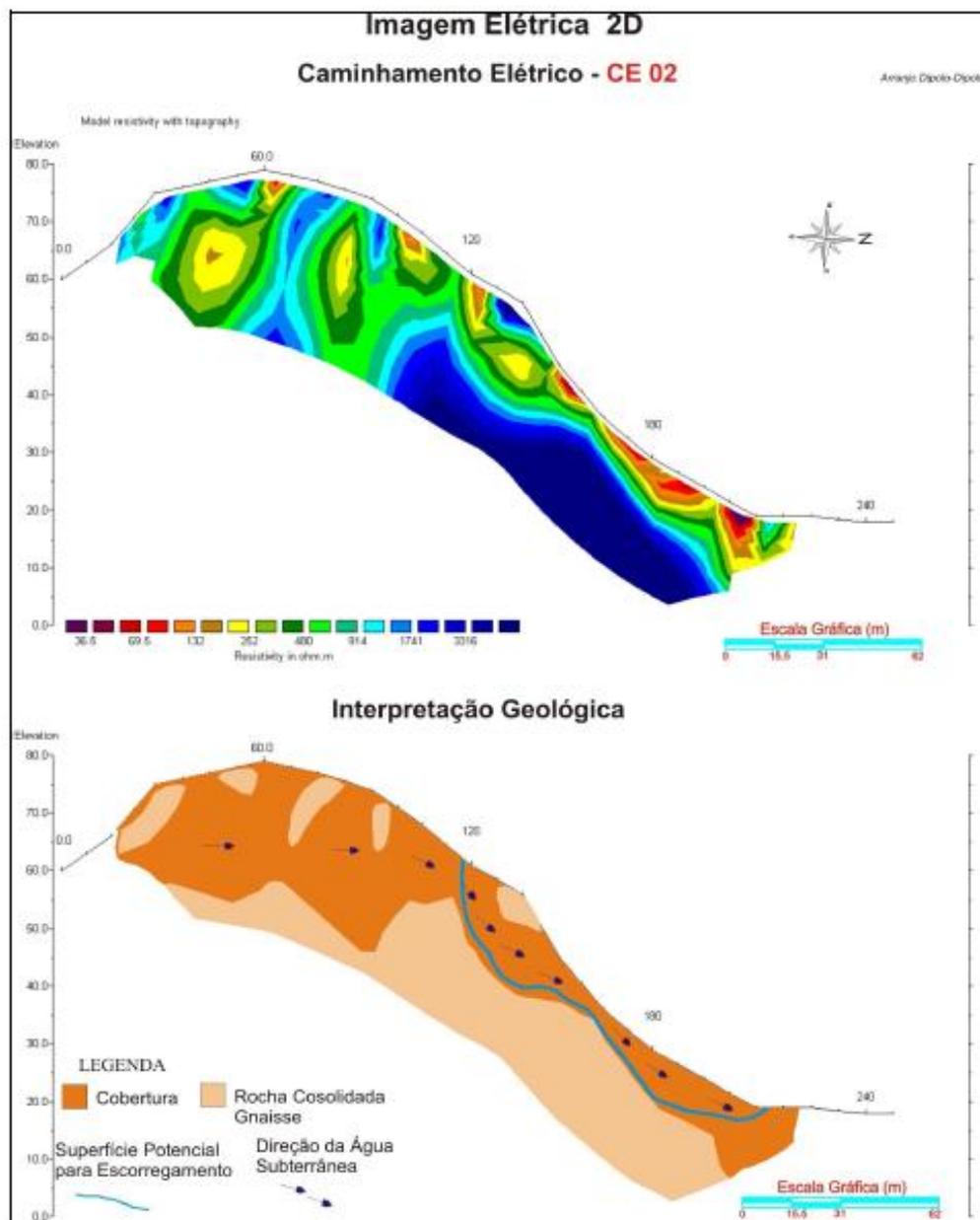


Figura 26: Imagem elétrica 2D – CE2. Fonte: Xavier (2008).

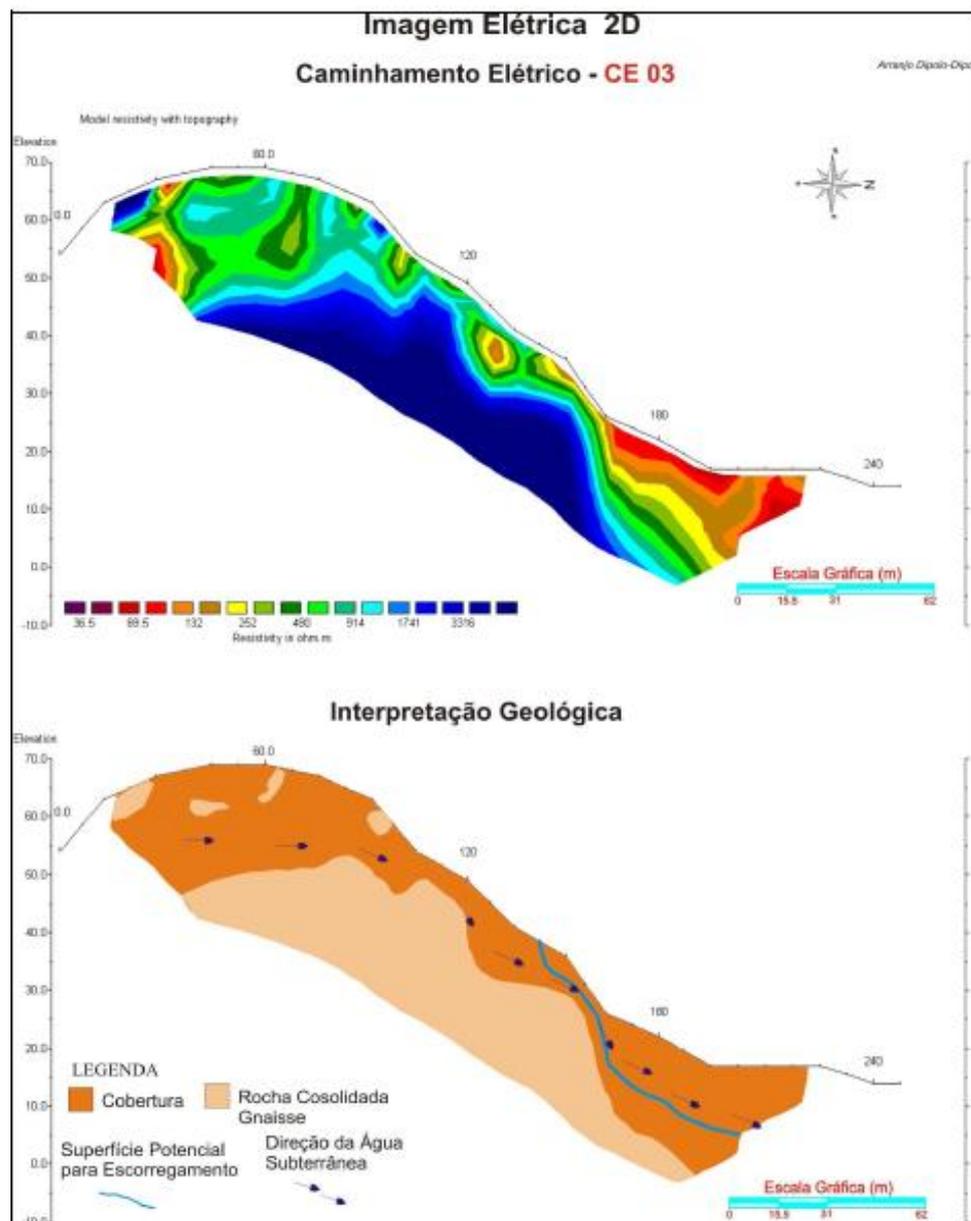


Figura 27: Imagem elétrica 2D – CE3. Fonte: Xavier (2008).

Através das seções de resistividade geradas, foi possível realizar uma interpretação geológica do local. Os valores de resistividade compreendidos entre 34 ohm.m e 450 ohm.m foram atribuídos ao material argilo-arenoso. O material rochoso alterado/fraturado, compreende-se entre 450 ohm.m e 900 ohm.m, e por fim valores de resistividades acima de 900 ohm.m, refere-se a rocha sã.

As imagens acima (Figuras 25, 26 e 27) indicaram que o substrato rochoso tem forma ondulada. Esta forma ondulada apresenta uma superfície de contato com o solo que pode se constituir em plano sujeito a movimentos de

massa (por exemplo, escorregamento circular). Os “caminhos” da água subterrânea são identificados pelos baixos valores de resistividade como também pela geometria da imagem, da encosta (côncavo-convexa) e do substrato rochoso (Xavier, 2008).

As duas Sondagens Elétricas Verticais foram tratadas no *software* IX 1D, sendo a SEV 1 realizada na base do talude e a SEV 2 no topo da encosta (Figuras 28 e 29). Para uma melhor interpretação, o modelo de quatro camadas foi o que melhor se ajustou as curvas.

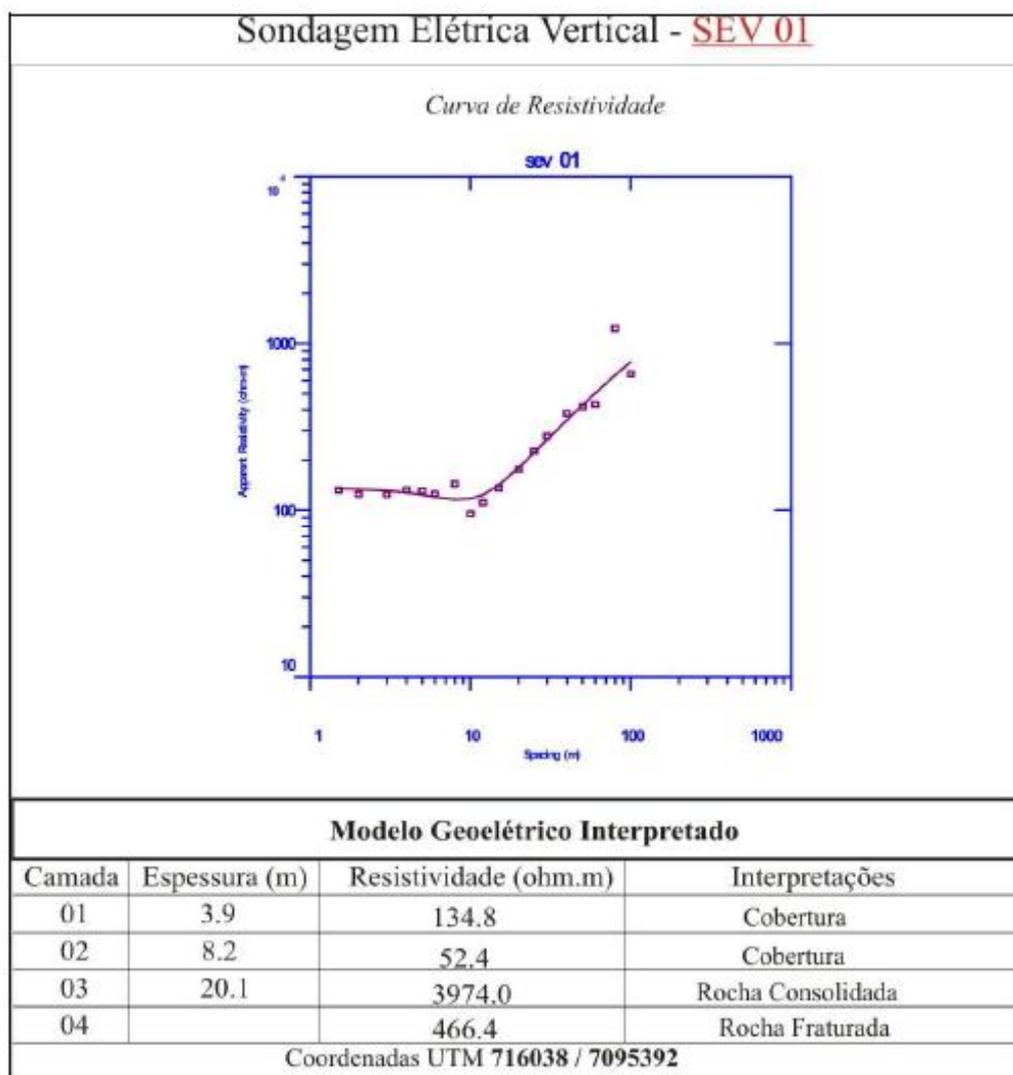


Figura 28: Modelo geométrico interpretado – SEV1. Fonte: Xavier (2008).

## Sondagem Elétrica Vertical - **SEV 02**

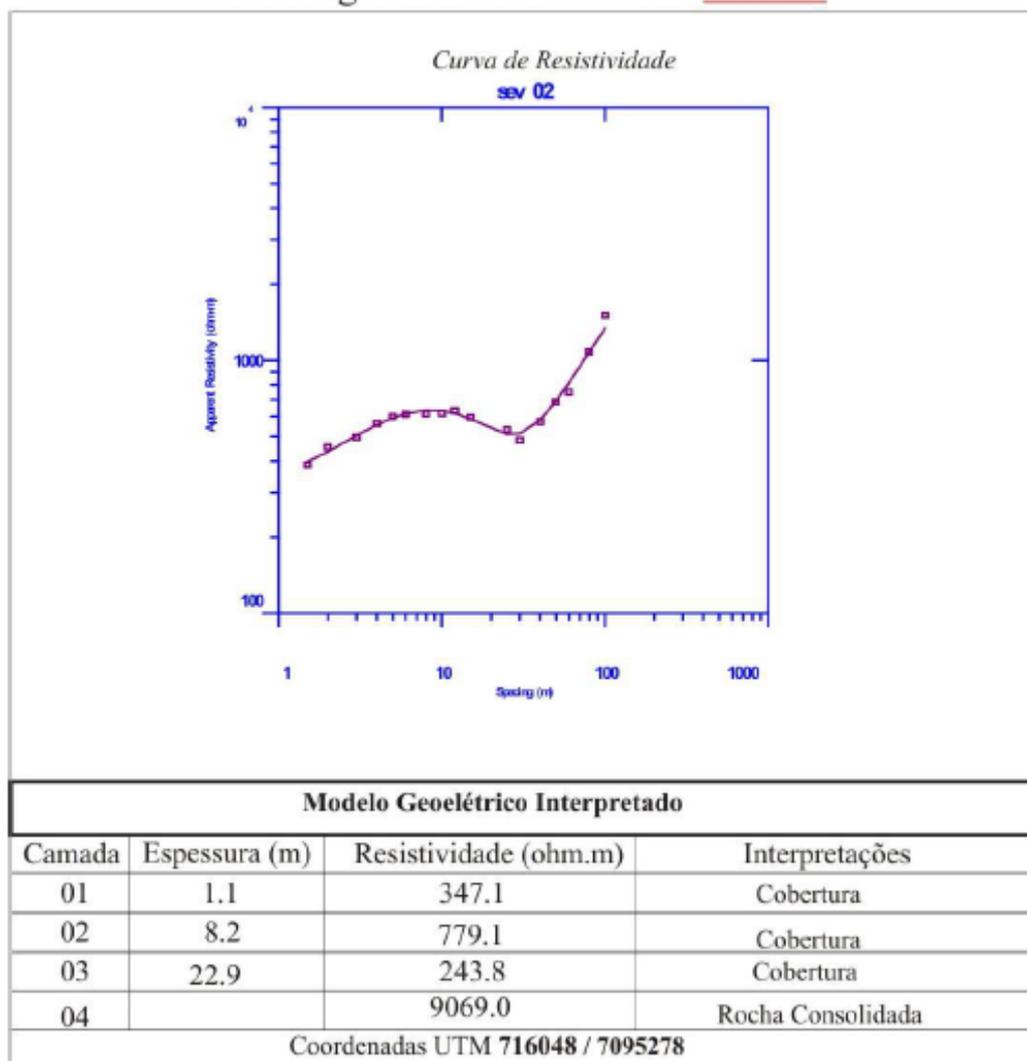


Figura 29: Modelo geoelétrico interpretado – SEV2. Fonte: Xavier (2008).

Com a interpretação das SEVs foi possível observar uma diferença na espessura da cobertura após o evento, sendo muito mais espessa na SEV 2 (topo da encosta – 22,9m) no que na SEV 1 (base do talude – 8,2m).

### 4.2.2 Conclusões obtidas em Joinville, SC

O Método da Eletorresistividade, além de ter gerado resultados confiáveis, como observados no estudo de caso, se mostrou eficiente por mapear o subsolo sem interferir no ambiente, por ser um método não invasivo. A combinação do método com o modelo utilizado e a interpretação geológica

foram fundamentais na definição dos principais parâmetros de avaliação dos processos de formação dos movimentos de massa, como por exemplo, a posição das rochas e os planos preferenciais de escorregamento. Desta forma colaborando na correta ação preventiva ou em intervenções posteriores (Xavier, 2008).

Os imageamentos elétricos 2D identificaram as camadas e sua distribuição lateral. Foi possível inferir que os materiais variam de cobertura argilosa saturada até a rocha consolidada. Além de permitir a visualização da forma do substrato, sendo este ondulado. Tal forma ondulada contribui para movimentos de massa, gerando planos preferenciais, principalmente no contato solo-rocha.

Já a técnica SEV permitiu definir a espessura dos materiais de cobertura, a zona saturada, a profundidade do lençol freático e a posição da rocha consolidada. A posição do maciço rochoso foi obtida através da ascensão da curva de resistividade a aproximadamente 45°.

### **4.3 Aplicação da Eletroresistividade em Nobres, MT**

O presente trabalho foi desenvolvido pelo Grupo Geoeste, em solicitação da Arena Incorporadora e Construtora Ltda. Foi aplicada a técnica de Caminhamento Elétrico (CE), também conhecida como Caminhamento de Separação constante (CST), na área de interesse da Arena, para construção de um residencial em Nobres – MT, cuja área territorial situa-se sobre terrenos cársticos. O estudo geofísico foi aplicado com intuito de conhecer as condições geotécnicas do terreno, através da caracterização qualitativa das estruturas como falhas, vazios ou cavidades cársticas (Duarte *et al.* 2014).

A área de estudo situa-se na porção centro-sul do estado de Mato Grosso, localizada no município de Nobres, distante 160 km de Cuiabá. O acesso é realizado a partir de Cuiabá pela BR- 251 e BR – 163 (Figura 30).

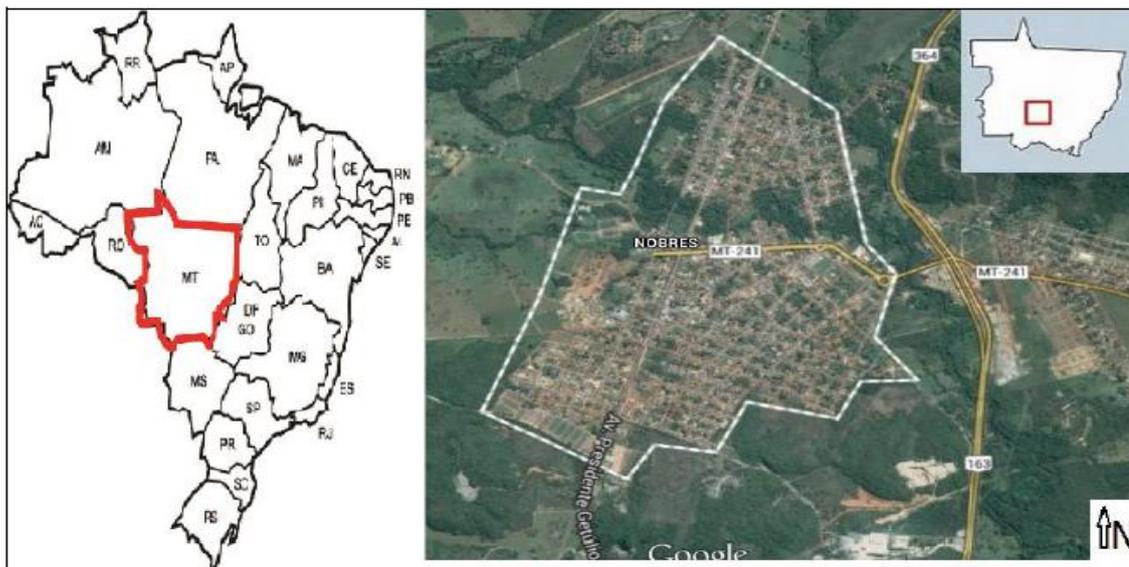


Figura 30: Mapa de localização do município de Nobres- MT, obtida no Google Earth.  
Fonte: Duarte *et al.* (2014)

Segundo Duarte *et al.* (2014), geologicamente a área de estudo localiza-se ao SW do Cráton Amazônico, na zona externa da Faixa Paraguai, na região centro sul do Estado de Mato Grosso em uma área dominada por metassedimentos proterozóicos. A cidade de Nobres se sobrepõe as rochas do Grupo Alto Paraguai. A região apresenta solo argilo-arenoso, material argiloso. É importante ressaltar que as rochas da área investigada apresentam propriedades físicas (baixa resistividade) que frequentemente dificultam a obtenção e interpretação dos dados geofísicos.

No desenvolvimento do trabalho foram realizadas três linhas de CE, com 700 metros de distância e profundidade teórica de investigação de 45 metros, localizadas no Jardim Primavera no município de Nobres-MT. O arranjo utilizado para pesquisa foi o Dipolo- Dipolo, o arranjo mais indicado para investigação da resistividade em meio cristalino.

O equipamento utilizado foi um medidor de resistividade terrestre- Resistímetro GEOTEST RD 1000 A (Figura 31), composto por uma unidade transmissora ligada a duas baterias de 45 Ampéres em série, totalizando 24 volts. E outra unidade receptora alimentada por oito baterias de hidreto de níquel (NI-MH), tamanho AA de 1,2 volts. Em campo foram utilizados eletrodos

de aço inoxidável, e quatro bobinas cada uma com 400 metros de fio elétrico 16 AWG.



Figura 31: Resistivímetro GEOTEST RD 1000 A. Fonte: Duarte *et al.* (2014)

#### 4.3.1 Resultados obtidos em Nobres, MT

Os dados de campo foram tratados e interpretados com o uso de planilhas de cálculos, editor de texto e o *software Surfer*, indicados para amostragem 2D das linhas de Caminhamento Elétrico (CE). O processamento foi feito no *software Res2dinv*, resultando em pseudo-seções de resistividade aparente. Cada ponto na pseudo- seção indica o ponto investigado ao longo do perfil, e a coloração indica a variação dos valores de resistividade aparente.

Os resultados obtidos são produtos da interpretação do comportamento geológico das rochas, analisada através das pseudo-seções de resistividade. Na realidade, não se apresentam seções reais, pois as profundidades demonstradas correspondem a profundidades teóricas, e a resistividade calculada é aparente. A Figura 32 apresenta a distribuição espacial das linhas 1, 2 e 3 de Caminhamento Elétrico (CE) na área, e a Tabela 4 apresenta as coordenadas geográficas de cada perfil de CE.



Figura 32: Mapa da distribuição espacial das linhas de CE na área de estudo, no qual as linhas apresentam direção preferencial NW/SE. Fonte: Duarte *et al.* (2014)

CE	Coordenadas Geográficas	
Linha 1	14°43'51.40"S	56°20'23.67"O
	14°43'40.85"S	56°20'42.68"O
Linha 2	14°43'53.53"S	56°20'24.36"O
	14°43'42.43"S	56°20'43.60"O
Linha 3	14°43'55.64"S	56°20'25.06"O
	14°43'44.62"S	56°20'45.49"O

Tabela 4: Coordenadas Geográficas das linhas de Caminhamento Elétrico (CE). Fonte: Duarte *et al.* (2014)

Os perfis de caminhamento elétrico apresentam 700 metros de comprimento com separação de 15 metros entre os eletrodos de corrente e de potencial. A distância entre as linhas de caminhamento elétrico é de aproximadamente 60 m. Os resultados correspondem a 5 níveis de investigação, com profundidade teórica máxima de 45 metros, conforme as figuras 33, 34 e 35 (Duarte *et al.* 2014).

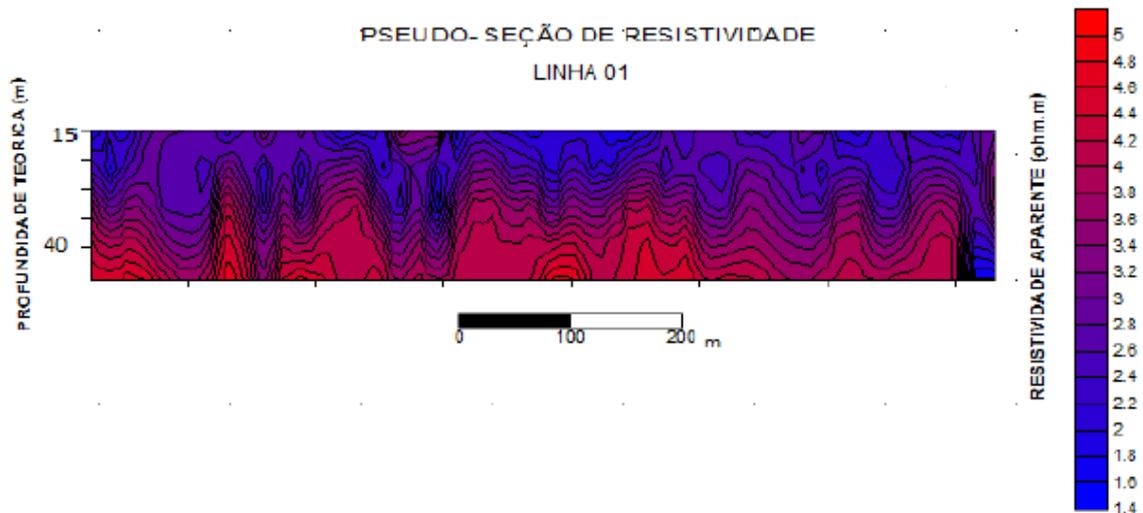


Figura 33: Pseudo-seção de resistividade aparente , linha 1. Fonte: Modificado de Duarte *et al.* (2014).

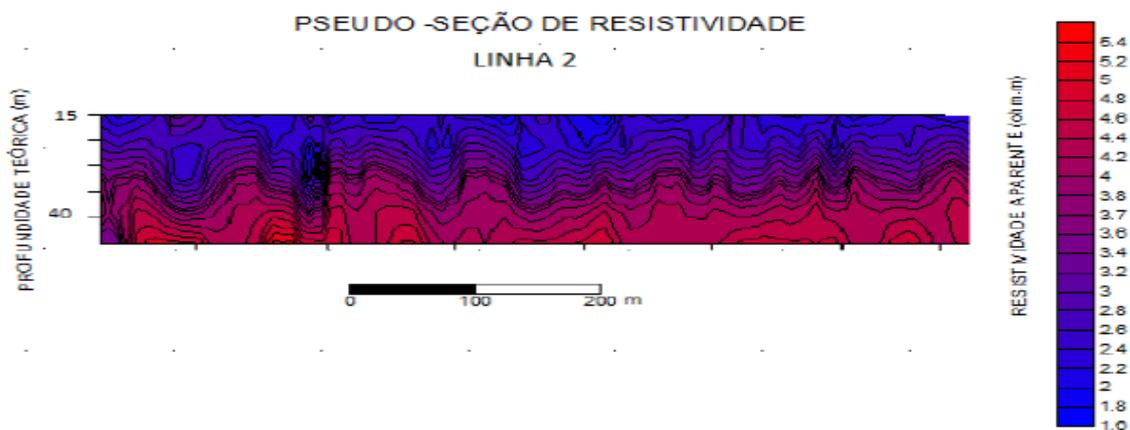


Figura 34: Pseudo-seção de resistividade aparente , linha 2. Fonte: Modificado de Duarte *et al.* (2014)

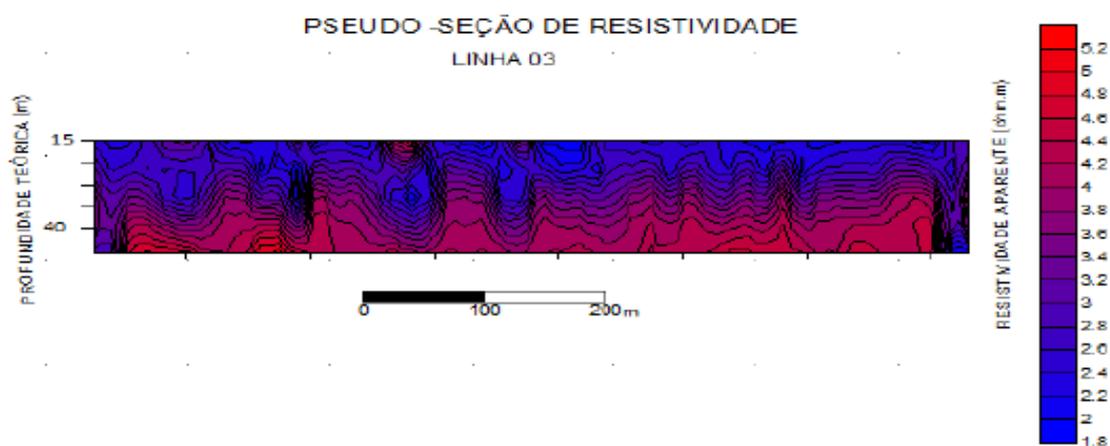


Figura 35: Pseudo-seção de resistividade aparente , linha 3. Fonte: Modificado de Duarte *et al.* (2014)

### **4.3.2 Conclusões obtidas em Nobres, MT**

Segundo Duarte *et al.* (2014), com base nos resultados apresentados acima, conclui-se que até a profundidade teórica de 45 metros observou-se zonas de anomalias em pontos superficiais do perfil, o que pode ser correlacionado a zona de alteração pedológica onde se há acúmulo de fluidos superficiais, que tendem a baixar a resistividade aparente do meio.

Entretanto observa-se também que nas zonas inferiores do perfil há ocorrência de baixa ou média resistividade, apontando para a possibilidade de existência de substrato rochoso são. Logo, para objetivar uma melhor interpretação do meio sugere-se a realização de sondagens de simples reconhecimento para complementar o estudo geofísico auxiliando na correlação dos parâmetros observados em relação ao meio.

## 5. APLICABILIDADE DO MÉTODO

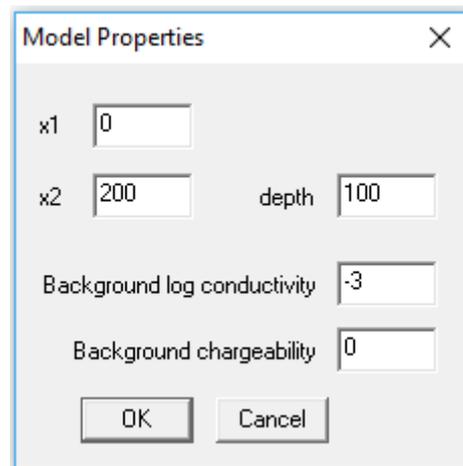
Para elaboração deste projeto foram traçadas três principais vertentes: uma revisão sobre os fatores relevantes ao deslizamento, baseando-se no Município de Niterói, e tendo como referência principal o trabalho desenvolvido por Ferrari *et al.* (2004), denominado Projeto Avaliação das Encostas de Niterói com Vista aos Fenômenos de Deslizamentos – Setor 1 (Zonas Centro, Norte e Sul).

Posterior ao conhecimento prévio da região, o estudo se voltou para a determinação de um método geofísico que se mostrasse eficaz ao identificar parâmetros relevantes aos movimentos de massa. Logo, através da análise de dois estudos de caso, o primeiro em Joinville-SC, contratado pela Indústria Metalúrgica Pirâmide, e o segundo em Nobres-MT, por solicitação da Arena Incorporadora e Construtora Ltda, o Método da Eletrorresistividade gerou resultados positivos, sendo assim, descrito neste trabalho.

Por fim, a terceira e última vertente a ser seguida consistiu na modelagem direta 2D através do programa **dcip2d**. Nesta etapa foram elaboradas pseudo-seções de resistividade aparente para análise do comportamento do solo mediante a infiltração. Os valores de resistividade utilizados se basearam no trabalho de Awang *et al.* (2015). Foram realizadas 3 modelagens distintas, simulando níveis de infiltração em uma área hipotética:

- Solo Seco: Resistividade = 300 ohm.m
- Solo Úmido: Resistividade = 60 ohm.m
- Solo Molhado: Resistividade = 8 ohm.m

A modelagem 2D realizada considerou uma área de 200m de extensão por 100m de profundidade, e a condutividade do embasamento na ordem de  $10^{-3}$  (Figura 36). Nas 3 modelagens foi utilizado o arranjo Dipolo-Dipolo, com 5 eletrodos espaçados de 15m (Figura 35).



Model Properties

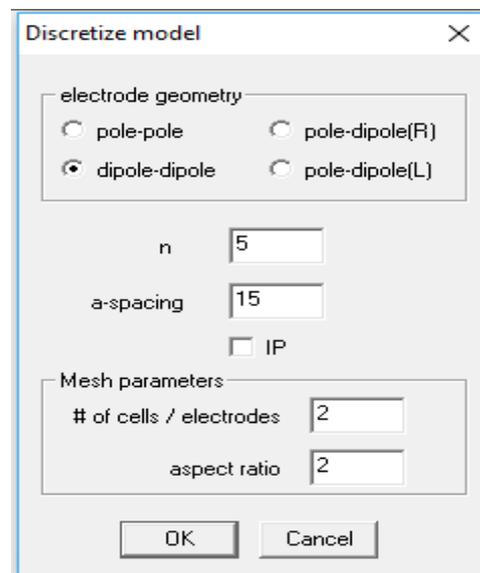
x1

x2  depth

Background log conductivity

Background chargeability

Figura 36: Parâmetros da pseudo-seção.



Discretize model

electrode geometry

pole-pole  pole-dipole(R)

dipole-dipole  pole-dipole(L)

n

a-spacing

IP

Mesh parameters

# of cells / electrodes

aspect ratio

Figura 37: Arranjo, número de eletrodos e espaçamento utilizados na modelagem.

Posterior a essas etapas, foram geradas pseudo-seções para cada tipo de solo. Os resultados e as interpretações estão descritos no próximo capítulo.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Modelagens 2D foram realizadas com o objetivo de comprovar a efetividade do Método da Eletrorresistividade no estudo de infiltração. Foram consideradas 3 situações distintas: solo seco, solo úmido e solo molhado. Para construção desses modelos, variou-se as resistividades e então, foi feita uma análise da resposta do solo.

A resistividade que um terreno apresenta possui uma relação inversa à porcentagem de umidade contida no mesmo. Ao aumentar a umidade, diminui a resistividade e, conseqüentemente, a consistência do solo. Em qualquer caso, sempre que é acrescentada água a um terreno, diminui a sua resistividade com relação à que teria em seco.

Desta forma, os valores utilizados para geração dos modelos, se basearam na tabela 5 criada por Awang *et al.* (2015). Verifica-se que solos menos consistentes estão associados a menores resistividades, neste caso, associado a um maior nível de umidade.

<b>Soil hardness</b>	<b>Resistivity (<math>\Omega.m</math>)</b>
Soft	0-20
Stiff	20-100
Very stiff	100-400
Hard	>400

Tabela 5: Relação consistência do solo *versus* resistividade. Fonte: Modificado de Awang *et al.* (2015)

- Solo Seco :

Para modelagem representando solo seco, foi desenhado uma camada com maior valor de resistividade (300  $\Omega.m$ ), conseqüentemente, menos condutiva. A extensão da camada variou de 50m à 150m, e sua profundidade atingiu os 20 m. Os parâmetros da modelagem e o resultado da pseudo-seção, podem ser observados nas imagens a seguir (Figuras 38 e 39).

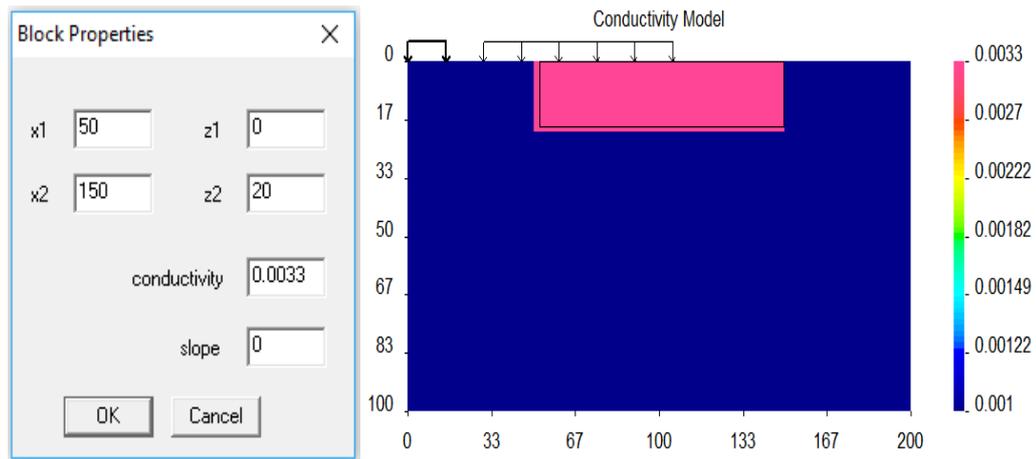


Figura 38: Parâmetros da modelagem representando solo seco.

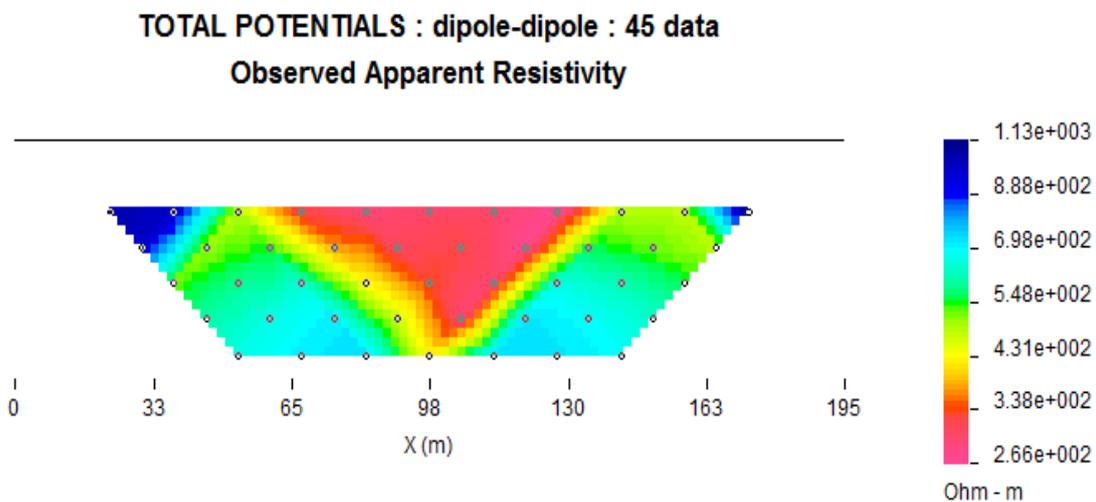


Figura 39: Modelagem direta representando solo seco.

- Solo Úmido

Para modelagem representando solo úmido, foi desenhado uma camada com valor de resistividade intermediária ( $60 \Omega.m$ ), sendo esta um pouco mais condutiva do que a modelagem anterior. A extensão da camada manteve a variação de 50m à 150m, e sua profundidade atingiu os 40m. Os parâmetros da modelagem e o resultado da pseudo-seção, podem ser observados nas imagens a seguir (Figuras 40 e 41).

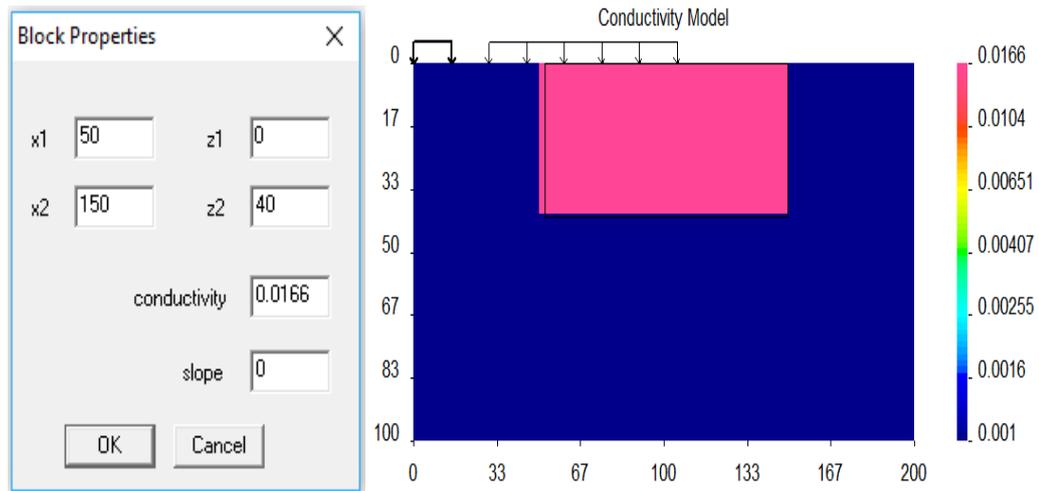


Figura 40: Parâmetros da modelagem representando solo úmido.

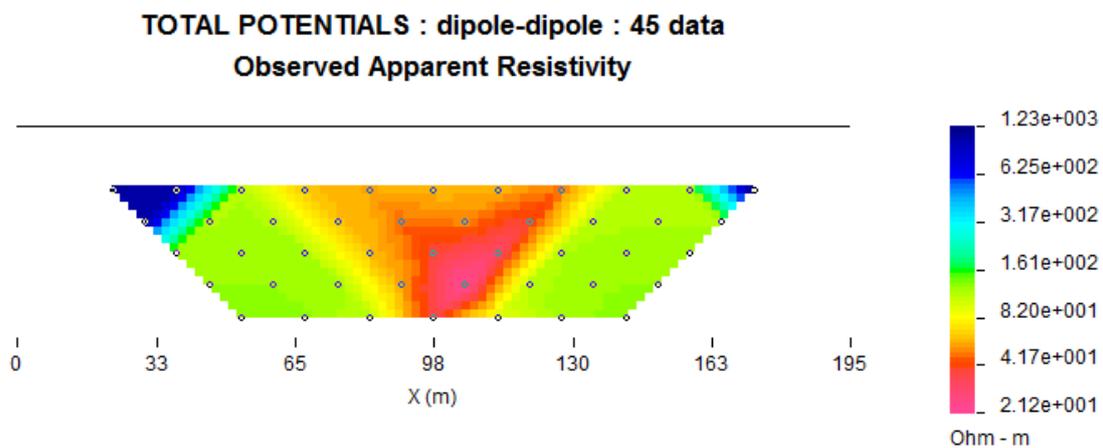


Figura 41: Modelagem direta representando solo úmido.

- Solo Molhado

Para modelagem representando solo molhado, foi desenhado uma camada com menor valor de resistividade ( $8 \Omega.m$ ), sendo esta a mais condutiva de todas. A extensão da camada manteve a variação de 50m à 150m, e sua profundidade atingiu os 60 m. Os parâmetros da modelagem e o resultado da pseudo-seção, podem ser observados nas imagens a seguir (Figuras 42 e 43).

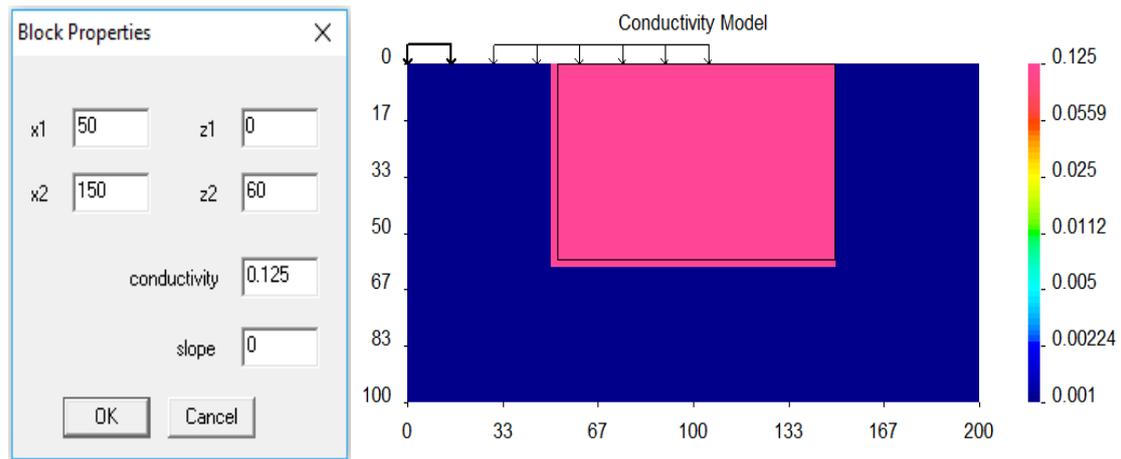


Figura 42: Parâmetros da modelagem representando solo molhado.

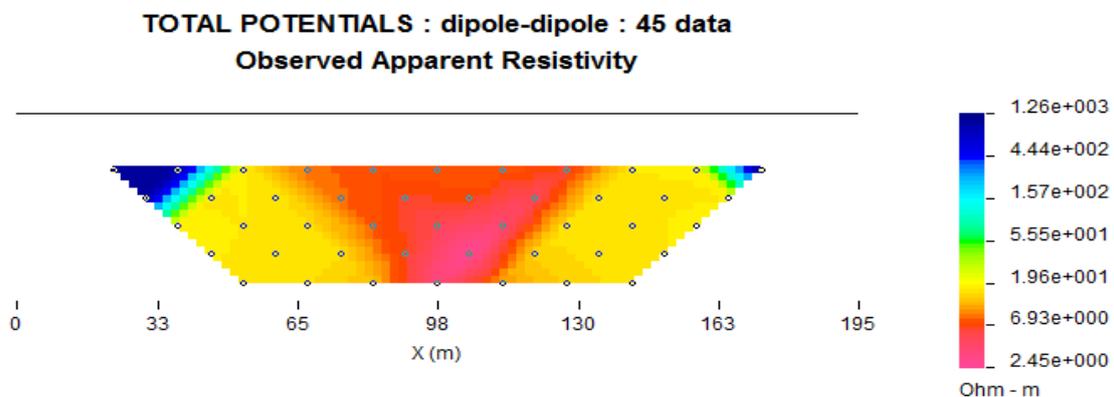


Figura 43: Modelagem direta representando solo molhado.

Nas 3 modelagens, os parâmetros referentes a espessura foram os mesmos, variando-se apenas os valores de resistividade e a profundidade de penetração, proporcional a um maior ou menor nível de infiltração. Na primeira modelagem, referente ao solo seco, é possível verificar uma menor infiltração, tendo em vista a profundidade atingida com coloração rosa, que indica a parte saturada. Sendo confirmada, predominantemente, pela coloração azul da cobertura ao seu redor, representando um solo mais resistivo.

Na segunda modelagem, referente ao solo úmido, é possível verificar uma maior infiltração, com uma área de coloração rosa mais profunda e a cobertura ao seu redor sofre um decréscimo de resistividade, variando a coloração de verde a amarelo. Já na terceira modelagem, referente ao solo molhado, é visível a maior infiltração, sendo explicado pelo aumento da penetração da área rosa e pela diminuição da resistividade da cobertura ao seu redor, passando de verde e amarelo para laranja.

Abaixo, seguem as 3 modelagens referente ao solo seco, úmido e molhado, respectivamente (Figura 44). É possível verificar a penetração da área de cor rosa, e o decréscimo da resistividade da cobertura ao seu redor, passando de azul a laranja. Evidenciando um aumento no nível de infiltração.

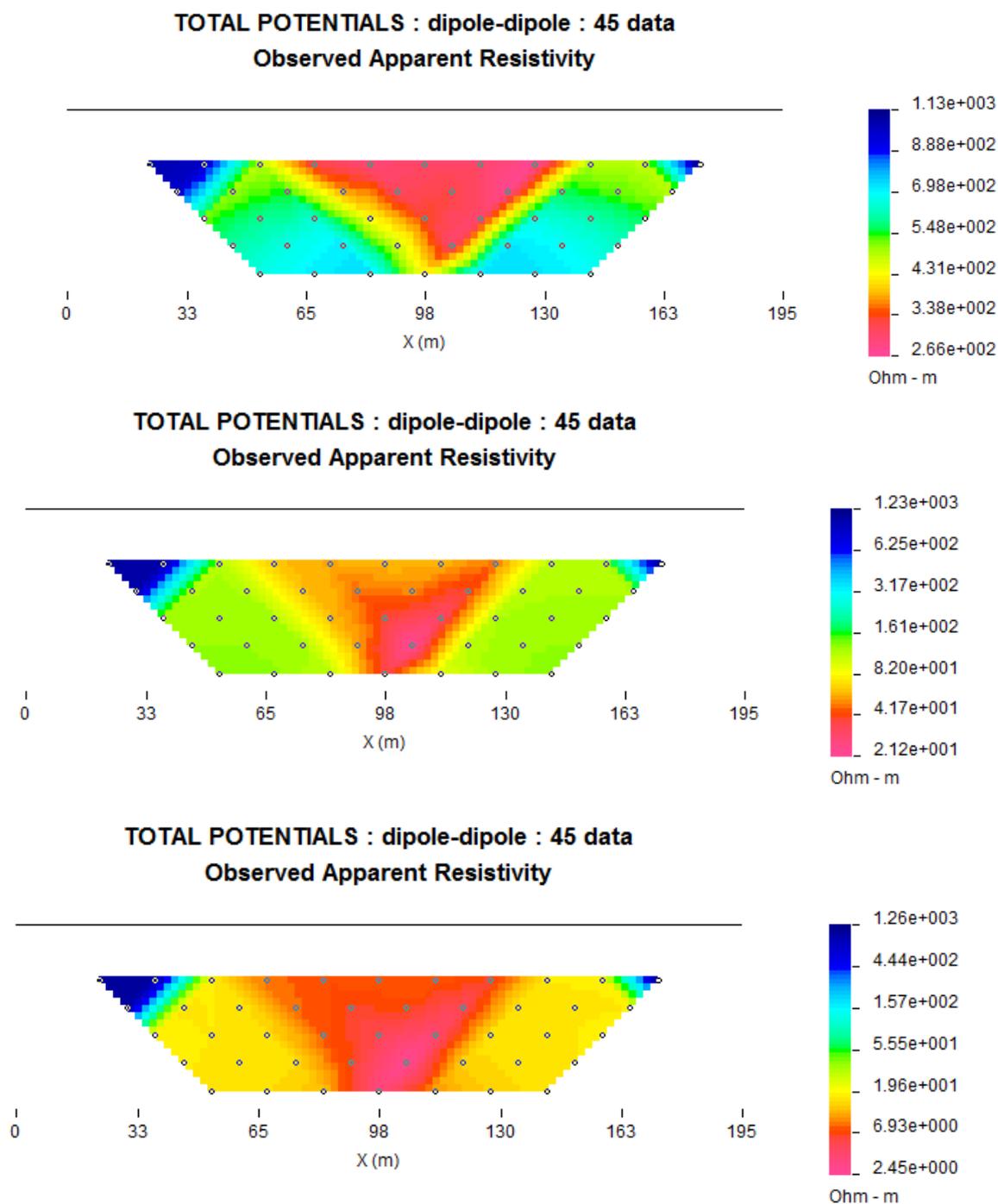


Figura 44: Síntese das Modelagens 2D referente a infiltração. Observa-se a evolução em um solo seco, úmido e molhado.

## 7. CONCLUSÃO

É notório que com o crescimento desordenado das cidades e, conseqüentemente, o mau uso e ocupação do solo, os impactos ambientais têm se tornado cada vez mais evidentes. No decorrer deste trabalho, foi possível compreender a relevância da geologia, da vegetação, do relevo e da intensidade pluviométrica na ocorrência dos movimentos de massa.

O Município de Niterói é marcado por uma litologia predominantemente argilo-arenosa, que apresenta uma diminuição da espessura do solo como reflexo do intemperismo. Associado à altas declividades, variando predominantemente de 15° a 80°, somado a substituição da vegetação original em algumas áreas para uso urbano, industrial ou agrícola, aterros, queimadas, entre outros, o Município se torna vulnerável a escorregamentos. Tais desastres se acentuam nos meses com chuvas mais intensas, de Dezembro à Abril, vitimizando a população sem distinção de classes.

Métodos Geofísicos vêm sendo cada vez mais requisitados para estudos geotécnicos. Sua aplicação se mostrou eficiente nos estudos de caso descritos neste projeto, sendo capaz de determinar a espessura do solo, profundidade do embasamento, o caminho preferencial do fluxo e planos de escorregamentos.

A modelagem elétrica 2D desenvolvida neste trabalho, permitiu comprovar a efetividade do método no estudo de infiltração. No qual a diminuição dos valores de resistividades estão diretamente ligados ao aumento da pluviosidade, representando assim um solo mais encharcado. Tendo em vista que a saturação do solo é um dos principais fatores a serem analisados quando o assunto é movimento de massa.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ÁVILA, M.R.; PANCHER, A.M. **Os benefícios da cobertura vegetal arbórea e arbustiva no meio ambiente urbano.** XVIII Encontro Nacional de Geógrafos. p. 5-6. Jun. 2016.
- AWANG, H. et al. 2015. **Slope Failure Investigation Using Electrical Resistivity Profiling.** Institut for Infrastructure Engineering & Sustainable Management, Faculty of Civil Engineering, Universiti Teknologi MARA, Shah Alam, Malaysia.
- BORGES WR. 2002. **Investigações geofísicas na borda da Bacia Sedimentar de São Paulo, utilizando-se GPR e Eletroresistividade.** Dissertação de Mestrado. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- DRM, 2012. **Políticas, Programas e Planos de Gestão de Riscos voltadas à prevenção, preparação, resposta, reabilitação e reconstrução de desastres associados a Escorregamentos: resultados alcançados, esperados e pretendidos.** SAERJ – Ciclo de Palestra. Rio de Janeiro, 2012.
- DUARTE, R. S. S. *et al* 2014. **Aplicação do Método de Eletroresistividade (CE) em área de risco geotécnico em terreno cárstico, Nobres – MT.**XVIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. São Paulo, 2014.
- FERRARI, A. L. *et al* 2004. **Projeto Avaliação das Encostas de Niterói com Vista aos Fenômenos de Deslizamentos. Setor 1 (Zonas Centro, Norte e Sul).** Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Niterói, RJ.
- KEAREY, P.; BROOKS, M.; HILL, I., 2009.**Geofísica de Exploração.** Traduzido por Maria Cristina Moreira Coelho, Oficina de Textos. São Paulo.

- LUZ, A.P.O, 2016. **Métodos Geofísicos Aplicados à Obras de Engenharia**. Graduação em Geofísica. Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2016.
- LOGUERCIO, J.F.; ZAMBONI, V. **Estudo de Caso do Bairro Viçoso Jardim em Niterói-RJ**. VI Encontro Nacional da Anppas. Setembro, 2012.
- SUÁREZ, B.E.S, 2005. **Análise Morfotectônica e Morfométrica do Município de Niterói –RJ**. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geofísica Marinha) – Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro.
- XAVIER, F. F. & XAVIER, D. S., 2008. **Geofísica Elétrica Aplicada a Geotecnia para Investigação de Estabilidade de taludes**. 7º Simpósio de Práticas da Engenharia Geotécnica da Região Sul – GeoSul. Paraná, 2010.

## 8.1 Sites Consultados

- AVALIAÇÃO DE RISCO. São Paulo, 2013. Disponível em: <<http://avaliacaoriscosbc.blogspot.com.br/2013/03/tipos-de-escorregamentos.html>>. Acesso em: 8 jan. 2018
- CLIMATE DATA. Niterói, 2016. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/location/1772/>>. Acesso em: 5 abr. 2017
- ENCICLOPÉDIA livre. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Niter%C3%B3i>>. Acesso em: 10 abr. 2017
- ENCICLOPÉDIA livre. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Lista\\_de\\_bairros\\_de\\_Niter%C3%B3i](https://pt.wikipedia.org/wiki/Lista_de_bairros_de_Niter%C3%B3i)>. Acesso em: 12 abr. 2017

ENCICLOPÉDIA livre. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Classifica%C3%A7%C3%A3o\\_clim%C3%A1tica\\_de\\_K%C3%B6ppen-Geiger](https://pt.wikipedia.org/wiki/Classifica%C3%A7%C3%A3o_clim%C3%A1tica_de_K%C3%B6ppen-Geiger)>. Acesso em: 7 jun. 2017

GUIA NITERÓI. Geografia. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <<http://www.guianiteroi.com.br/a-cidade/geografia-2>>. Acesso em: 3 mai. 2017.

NITVISTA o portal. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <[http://www.nitvista.com/index\\_frame.php?url=%2Fnfma.php%3Fitem%3D5](http://www.nitvista.com/index_frame.php?url=%2Fnfma.php%3Fitem%3D5)>. Acesso em: 2 mai. 2017

IBGE. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=330330&search=rio-de-janeiro|niteroi>>. Acesso em: 4 mai. 2017

O DIA, portal. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <<http://odia.ig.com.br/portal/rio/h%C3%A1-um-ano-220-mortos-nas-trag%C3%A9dias-de-niter%C3%B3i-e-angra-1.280489>>. Acesso em: 3 jun. 2017

O GLOBO. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <<http://acervo.oglobo.globo.com/rio-de-historias/na-virada-do-ano-temporal-cao-53-mortes-em-angra-dos-reis-9244851#ixzz4jBNDOm5a>>. Acesso em: 3 jun. 2017

O GLOBO. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <<http://g1.globo.com/Noticias/Rio/0,,MUL1561509-5606,00-AREA+DE+DESLIZAMENTO+EM+NITEROI+ERA+ANTIGO+LIXAO+DIZ+GOVERNO.html>>. Acesso em: 7 jun. 2017

O GLOBO. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <<http://g1.globo.com/rio-de-janeiro/noticia/2011/01/tragedia-em-angra-dos-reis-no-rj-completa-um-ano-neste-sabado.html>> . Acesso em: 7 jun. 2017

O GLOBO. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <<https://g1.globo.com/rio-de-janeiro/noticia/rj-tem-150-sistemas-de-alertas-em-comunidades-sem-funcionar-em-epoca-de-chuva.ghtml>>. Acessado em: 2 nov. 2017

PREFEITURA DE NITERÓI. Niterói, 2014. Disponível em: <[http://www.niteroi.rj.gov.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=2645:2014-10-15-18-56-43](http://www.niteroi.rj.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=2645:2014-10-15-18-56-43)> . Acessado em: 2 nov. 2017

ZONA COSTEIRA, restinga. UFBA, 2009. Disponível em: <<http://www.zonacosteira.bio.ufba.br/vrestinga.html>>. Acesso em: 26 mai. 2017.