

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**DETERMINAÇÃO DA VULNERABILIDADE FÍSICA EM  
ÁREA DE RISCO DE DESLIZAMENTO A PARTIR DO  
POSICIONAMENTO GNSS, COM TÉCNICA RTK-NTRIP**

**EDILCE FIGUEIREDO BURITY**

**ORIENTADOR: HERNÁN EDUARDO M. CARVAJAL**

**TESE DE DOUTORADO EM GEOTECNIA**

**PUBLICAÇÃO: G.TD - 125/16**

**BRASÍLIA / DF: 30 DE SETEMBRO / 2016.**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**DETERMINAÇÃO DA VULNERABILIDADE FÍSICA EM  
ÁREA DE RISCO DE DESLIZAMENTO A PARTIR DO  
POSICIONAMENTO GNSS, COM TÉCNICA RTK-NTRIP**

**EDILCE FIGUEIREDO BURITY**

TESE DE DOUTORADO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL DA  
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A  
OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR.

**APROVADA POR:**

---

**HERNÁN EDUARDO MARTINEZ CARVAJAL, D. Sc (ENC/UNB)  
(ORIENTADOR)**

---

**LUIZ GUILHERME RODRIGUES DE MELLO, D. Sc (ENC/UNB)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

---

**MANOEL PORFÍRIO CORDÃO NETO, D. Sc (ENC/UNB)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

---

**SONIA MARIA ALVES COSTA SILVA, D. Sc (DGC/IBGE)  
(EXAMINADOR EXTERNO)**

---

**SILVIO JACKS DOS ANJOS GARNÉS, D. Sc (DECART/UFPE)  
(EXAMINADOR EXTERNO)**

**DATA: BRASÍLIA/DF, 30 DE SETEMBRO DE 2016.**

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

BURITY, EDILCE FIGUEIREDO

Determinação da Vulnerabilidade Física em Áreas de Risco de Deslizamento a partir do Posicionamento GNSS, com Técnica RTK-NTRIP. [Distrito Federal] 2016

xxviii 315 p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Doutor, Geotecnia, 2016)

Tese de Doutorado - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil

1. Movimentos de Massa

2. Vulnerabilidade

3. Deslizamentos

4. Sistema Global de Posicionamento por Satélite

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

## **REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

BURITY, E.F. (2016). Determinação da Vulnerabilidade Física em Áreas de Risco de Deslizamento a partir do Posicionamento GNSS, com Técnica RTK-NTRIP. Tese de Doutorado, Publicação G.TD - 125/16, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 315p.

## **CESSÃO DE DIREITOS**

NOME DO AUTOR: Edilce Figueiredo Burity

TÍTULO DA TESE DE DOUTORADO: Determinação da Vulnerabilidade Física em Áreas de Risco de Deslizamento a partir do Posicionamento GNSS, com Técnica RTK- NTRIP

GRAU / ANO: Doutor/2016

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta tese de doutorado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta tese de doutorado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

---

Edilce Figueiredo Burity  
Rua Doutor Geraldo de Andrade, n° 75, apto 501.  
Espinheiro. Recife/PE – Brasil  
CEP 52021-220

## DEDICATÓRIA

*A minha amada filha Olívia Beatriz,  
ao meu esposo Júlio Cesar e aos meus pais  
Cléonice e Zito Burity (in memoriam).*

## AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, da Universidade de Brasília, pela oportunidade, pelos conhecimentos adquiridos e aprendizados construídos, durante a realização do curso.

À Fundação IBGE e a aos que fazem a Unidade Estadual do IBGE em Pernambuco, pela oportunidade concedida e apoio.

Ao Departamento de Engenharia Cartográfica, da Universidade Federal de Pernambuco, pela disponibilização dos instrumentos, softwares e ambiente de trabalho utilizados durante a elaboração desta Tese.

A Gerência Geral de Informação e à Secretaria-Executiva de Defesa Civil-SEDEC, pela disponibilização dos dados.

A Capes pelo aporte financeiro em parte do desenvolvimento desta Pesquisa.

Ao meu orientador, Professor Hernán Eduardo Martínez Carvajal, por acreditar na viabilidade desta Pesquisa e contribuir sobremaneira no seu desenvolvimento, com toda sabedoria e paciência que lhes são peculiares, pela amizade e todo apoio.

Ao meu co-orientador, Prof. Sílvio Jacks Garnés dos Anjos, pelos conhecimentos transmitidos, pelo apoio, amizade e disponibilidade em todas etapas desta Pesquisa.

Aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, por todo conhecimento geotécnico e humano transmitidos e apoio.

A Secretária do Programa, Cida Vidal, por todo apoio e orientação acadêmica.

Aos colegas de curso que tornaram a jornada mais leve, em especial a Eduardo Montoya, George Azevedo e Tâmara Moraes.

Ao Engenheiro Agrimensor Alexandre de Souza Menezes por todo apoio, ensinamentos e disponibilidade na utilização do receptor, suíte de software e levantamentos de campo.

À empresa Geosistemas Eng. e Planejamento Ltda. e a Arquiteta Urbanista Elaine Souza, pela disponibilização de dados para essa Pesquisa.

Aos companheiros Ibgeanos, especialmente à Eliane Almeida, Ericka Andrade, Tiago Souza e Sergio Lima, por todo apoio e disponibilidade durante essa jornada.

Ao meu amado esposo Julio Cesar Silveira, pelo incentivo, paciência e amor, dispensados.

A minha amada filha Olívia Beatriz, por tornar nossos dias mais felizes.

A minha família Burity e Silveira: pais, sogros, irmãos, sobrinhas, cunhados e agregados, que mesmo distantes não mediram esforços e foram sempre presentes, por todo apoio.

A todos que, de alguma maneira, contribuíram para que este trabalho, meu muito obrigada.

# **DETERMINAÇÃO DA VULNERABILIDADE FÍSICA EM ÁREA DE RISCO DE DESLIZAMENTO A PARTIR DO POSICIONAMENTO GNSS, COM TÉCNICA RTK VIA NTRIP**

## **RESUMO**

O estado da arte dos sistemas globais de navegação por satélite permite a utilização de coordenadas em diversas áreas de aplicação. O desenvolvimento das tecnologias de medição, dinamizou os serviços de posicionamento, diminuiu custos e melhorou a precisão, com redução do tempo de execução de levantamentos. O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, implantou um serviço de disponibilização de correções dos sinais de navegação por satélite, por meio da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo, usando o protocolo de transmissão de dados pela Internet. Esse serviço permite ao usuário receber correções e obter o posicionamento em tempo real de forma precisa, com alguns centímetros, utilizando um único receptor geodésico, a partir da técnica de posicionamento denominada RTK-NTRIP. Neste contexto, a utilização das ciências geodésicas e suas tecnologias é um importante suporte a diversas áreas de aplicação, entre elas o monitoramento de encostas, susceptíveis a movimentos de massa. Via de regra, o cálculo da vulnerabilidade física em áreas de risco de deslizamento é realizado considerando aspectos qualitativos e quantitativo sem, contudo, utilizar a variável geoposicional. O monitoramento de estruturas construídas e de encostas, usando técnicas de posicionamento por satélite, traz a agilidade e a precisão necessárias na tomada de decisão, quando há susceptibilidade a deslizamentos. Este estudo objetivou analisar a possibilidade da inclusão, em um algoritmo de cálculo da vulnerabilidade, a componente espacial, representada pela latitude, longitude e altitude do ponto considerado, afim de verificar se o resultado oferece maior fidelidade e proporciona melhor subsídio para a tomada da decisão preventiva. O município do Recife no Estado do Pernambuco, Brasil, no âmbito desta pesquisa foi a área de estudo escolhida para os levantamentos geodésicos que subsidiaram o cálculo da vulnerabilidade de estruturas supostamente em perigo, tendo em vista possuir histórico de deslizamento nas suas áreas de encostas. Os resultados demonstraram que as variáveis geométricas de altura e distância da encosta em relação a estrutura, derivadas do terno de coordenadas: latitude, longitude e altitude obtidas em tempo real, são um eficaz instrumento a ser incorporado na determinação da vulnerabilidade física e nas ações de monitoramento e subsídio ao cálculo do risco de deslizamento.

# **PHYSICAL VULNERABILITY ASSESSMENT IN LANDSLIDE RISK AREAS BASED ON GNSS POSITIONING APPLYING RTK-NTRIP TECHNIQUE**

## **ABSTRACT**

The state of the art of the various global satellite navigation systems allow the use of coordinates in several application areas. The development of measurement technology, reduced costs, improved accuracy and decreased the amount of time required to run surveys. The Brazilian Bureau of Geographic and Statistical, now has a service for providing corrections of global positioning signals, the Brazilian Network for Continuous Monitoring (RBMC-IP) that uses the Internet data transmission protocol. This service allows the user to receive corrections from a network station and obtain the real-time positioning at a few centimeters precision by using a single geodetic receiver based on, for instance, the NTRIP-RTK positioning technique. In this context, the use of geodetic sciences and technologies pervades many applied areas, and the monitoring of slopes susceptible to mass movement is one of them. As a rule, the calculation of physical vulnerability assessment risk is performed considering both qualitative and quantitative aspects without, however, use of geographic positional variable. Monitoring built structures and slopes using satellite positioning techniques brings the speed and precision required in decision making when there is a susceptibility to landslides. This study aimed to analyzed the possibility of inclusion in a vulnerability algorithm, the space component, represented by the latitude, longitude and height of the point considered in order to verify if the result provides greater fidelity and provides better benefits for preventive decision making. The city of Recife in Pernambuco State, Northeastern Brazil was the study area chosen in this thesis for geodetic surveys that corroborated the calculation of vulnerability of structures supposedly in danger as they have a history of landslide in its hilly areas. The results showed that the geometric variables height and slope distance in relation to the structure, derived from coordinates: latitude, longitude, and altitude, obtained in real time, are an efficient tool to be incorporated in determining the physical vulnerability and subsidy for the actions of monitoring and for calculating the risk of slipping.

## SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO -----	1
1.1 – MOTIVAÇÃO -----	1
1.2 - OBJETIVOS -----	3
1.3 - ESCOPO DA TESE -----	4
2 - MOVIMENTOS DE MASSA -----	6
2.1 - TIPOS DE MOVIMENTOS DE MASSA -----	7
2.1.1 - QUEDA -----	8
2.1.2 - TOMBAMENTOS -----	9
2.1.3 - ESCORREGAMENTOS OU DESLIZAMENTOS -----	10
2.1.3.1 - ESCORREGAMENTOS ROTACIONAIS OU CIRCULARES -----	11
2.1.3.2 - ESCORREGAMENTOS TRANSLACIONAIS OU PLANARES -----	12
2.1.4 - EXPANSÃO LATERAL -----	14
2.1.5 - FLUXO -----	15
2.1.5.1 - FLUXO DE DETRITOS -----	16
2.1.5.2 - AVALANCHE DE DETRITOS -----	18
2.1.5.3 - FLUXO DE TERRA -----	18
2.1.5.4 - FLUXO DE LAMA (MUD FLOW) -----	19
2.1.6 - RASTEJO (CREEP) -----	19
2.1.7 - COMPLEXOS -----	21
2.2 - VELOCIDADE DOS MOVIMENTOS DE MASSA -----	21
3 - VULNERABILIDADE DO RISCO DE DESLIZAMENTO -----	23
3.1 - VULNERABILIDADE QUALITATIVA -----	25
3.2 - VULNERABILIDADE QUANTITATIVA -----	27
3.3 - MODELOS DE VULNERABILIDADE -----	29
4 - AS CIÊNCIAS GEODÉSICAS E O POSICIONAMENTO GNSS -----	46
4.1 - GEODÉSIA -----	46
4.1.1 - SISTEMAS DE REFERÊNCIA EM GEODÉSIA -----	47
4.1.1.1 - SISTEMAS DE COORDENADAS CARTESIANAS -----	49
4.1.1.2 - SISTEMAS DE COORDENADAS GEODÉSICAS -----	49
4.1.1.3 - SISTEMAS DE PROJEÇÃO -----	50
4.2 - SISTEMAS DE POSICIONAMENTO POR SATÉLITE -----	51
4.2.1 - SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL (GPS) -----	53
4.2.1.1 - SEGMENTO ESPACIAL -----	54
4.2.1.2 - SEGMENTO DE CONTROLE -----	58
4.2.1.3 - SEGMENTO DE USUÁRIOS -----	61
4.2.2 – GLONASS -----	63
4.2.2.1 - SEGMENTO ESPACIAL -----	64
4.2.2.2 - SEGMENTO DE CONTROLE -----	66
4.2.3 - SISTEMA -----	68
4.2.3.1 - SEGMENTO ESPACIAL -----	68
4.2.3.2 - SEGMENTO DE CONTROLE -----	70
4.2.4 - SISTEMA BEIDOU/COMPASS -----	72
4.2.4.1 - SEGMENTO ESPACIAL -----	73
4.2.4.2 - SEGMENTO TERRESTRE -----	75
4.3 - ALGUMAS CONSIDERAÇÕES SOBRE AS OBSERVÁVEIS GNSS E INFLUÊNCIAS NAS OBSERVAÇÕES -----	76

4.3.1 – PSEUDODISTÂNCIAS -----	76
4.3.2 - FASE DA ONDA PORTADORA -----	77
4.3.3 - ERROS EM MEDIÇÕES POR SISTEMAS DE POSICIONAMENTO -----	78
4.4 - MÉTODOS DE POSICIONAMENTO GNSS -----	80
4.4.1 - POSICIONAMENTO ABSOLUTO OU POR PONTO -----	81
4.4.2 - POSICIONAMENTO RELATIVO -----	83
4.4.2.1 - POSICIONAMENTO RELATIVO ESTÁTICO -----	84
4.4.2.2 - POSICIONAMENTO RELATIVO ESTÁTICO-RÁPIDO -----	84
4.4.2.3 - POSICIONAMENTO RELATIVO SEMICINEMÁTICO -----	85
4.4.2.4 - POSICIONAMENTO RELATIVO CINEMÁTICO PÓS-PROCESSADO E EM TEMPO REAL -----	85
4.4.3 - POSICIONAMENTO DGNS -----	89
4.4.4 - POSICIONAMENTO RTK VIA PROTOCOLO NTRIP (RTK-NTRIP) -----	89
4.5 - SISTEMAS DE TRANSMISSÃO DE DADOS GNSS EM TEMPO REAL ATRAVÉS DO PROTOCOLO NTRIP -----	90
4.6 - PROTOCOLO NTRIP -----	95
4.7 - REDES ATIVAS NO BRASIL: A REDE BRASILEIRA DE MONITORAMENTO CONTÍNUO – RBMC -----	97
4.8 - INTEGRAÇÃO DO POSICIONAMENTO GNSS E TOPOGRAFIA -----	104
5 - CIÊNCIAS GEODÉSICAS APLICADAS À GEOTECNIA -----	108
5.1 - O POSICIONAMENTO GNSS COM A TÉCNICA RTK-NTRIP -----	108
5.2 - GNSS APLICADO A DESLIZAMENTOS -----	124
6 - MATERIAIS E MÉTODOS -----	134
6.1 - DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO -----	134
6.2 - INFORMAÇÕES SOBRE DESLIZAMENTO NA ÁREA DE ESTUDO -----	136
6.3 - SUSCEPTIBILIDADE AO RISCO NA ÁREA DE ESTUDO -----	145
6.4 - COBERTURA DE SINAL DE BANDA LARGA NA ÁREA DE ESTUDO -	155
6.5 - DISPONIBILIDADE DE TRANSMISSÃO DE DADOS VIA NTRIP -----	159
6.6 - LEVANTAMENTO GEODÉSICO NA ÁREA DE ESTUDOS -----	160
6.6.1 - EQUIPAMENTOS -----	163
6.6.2 - LEVANTAMENTO NA ÁREA DE ESTUDO -----	176
7 - RESULTADOS E ANÁLISE -----	176
7.1 - RESULTADO E ANÁLISE DOS LEVANTAMENTO GNSS E TOPOGRÁFICO -----	185
7.2 - RESULTADOS E ANÁLISE DO POSICIONAMENTO GNSS PÓS- PROCESSADO -----	192
7.3 - MODELAGEM DA VULNERABILIDADE -----	193
7.4 - RESULTADOS APLICADOS À DETERMINAÇÃO DA VULNERABILIDADE -----	201
7.5 - ANÁLISE DOS RESULTADOS PARA VULNERABILIDADE -----	204
8 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES -----	204
8.1 – CONCLUSÕES -----	204
8.2 - RECOMENDAÇÕES -----	205
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS -----	207
APENDICE A -----	220
RESULTADOS DO LEVANTAMENTO GNSS RTK-NTRIP -----	221
RESULTADOS DO LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO E GNSS RTK-NTRIP	228
RESULTADO LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO -----	237
RESULTADOS DO LEVANTAMENTO GNSS PÓS-PROCESSADO -----	241
POSICIONAMENTO GNSS RTK-NTRIP X GNSS PÓS-PROCESSADO -----	255

CÁLCULO DA VULNERABILIDADE (TABELAS) -----	263
APENDICE B -----	284
FORMULÁRIO DA PESQUISA DO SETOR DE RISCO -----	285
FORMULÁRIO DE PESQUISA DO IMÓVEL -----	287

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Classificação simplificada de Varnes (1958) (Adaptado de Ahrendt, 2005) .....	7
Figura 2.2: Um fluxo de terra idealizado, mostrando nomenclatura comumente usada para rotular as partes de um movimento de massa (Fonte: Adaptado de USGS, 2004) .....	7
Figura 2.3: Movimento de massa tipo Queda (Fonte: USGS, 2004) .....	8
Figura 2.4: Tipos de movimentos de queda de blocos com a inclinação do talude. (Fonte: Adaptado de FHWA (1993), citado em Nunes (2013)) .....	9
Figura 2.5: Movimento de massa tipo Tombamento (Fonte: USGS, 2004) .....	10
Figura 2.6: Exemplo de Tombamento, no estado de Utah – USA. (Fonte: Novotný, 2013) .....	10
Figura 2.7: Movimento de massa do tipo Escorregamento Rotacional ou Circular. (Fonte: Infanti Junior & Fornasari Filho, 1998) .....	12
Figura 2.8: Exemplo de Escorregamento Rotacional, ocorrido em 1995, La Conchita - Ca - EUA (Fonte: Infanti Junior & Fornasari Filho, 1998) .....	12
Figura 2.9: Movimento de massa do tipo Escorregamento Translacional. (Fonte: Adaptado de Girty, 2009) .....	13
Figura 2.10: Movimento de massa tipo Escorregamento de Bloco (Fonte: USGS, 2004) .....	13
Figura 2.11: Exemplo de escorregamento translacional ocorrido em Ilha Grande – Angra dos Reis - RJ (Fonte: Foto: Custódio Coimbra – Jornal O Globo, registrada em 01/01/2010) .....	14
Figura 2.12: Movimento de massa tipo Expansão Lateral (Fonte: Adaptado de USGS, 2004) .....	15
Figura 2.13: Exemplo de expansão lateral ocorrida em Sunset Lake, Washington -USA, desencadeado por um terremoto. (Fonte: Adaptado de USGS, 2004) .....	15
Figura 2.14: Movimento de massa do tipo Fluxo de Detritos (Debris Flow). (Fonte: Adaptado de Girty, 2009). .....	16
Figura 2.15: Fluxo de detritos que atingiu a localidade de Campo Grande, no município de Teresópolis – RJ. (Fonte: Jornal Extra/Globo, publicada em 16/01/11, Foto: Pablo Jacob) .....	17
Figura 2.16: Fluxo de Detritos – Deposição Livre e Deposição canalizada. (Fonte: Adaptado de Nunes, 2013) .....	17

Figura 2.17: Movimento de massa tipo, Fluxo - Avalanche de Detritos. (Fonte: Adaptado de USGS, 2004) .....	18
Figura 2.18: Movimento de massa Fluxo de Terra. (Fonte: Adaptado de Girty, 2009) .....	18
Figura 2.19: Movimento de massa Fluxo de Lama quando comparado ao fluxo de detritos com relação à composição do tamanho das partículas.....	19
Figura 2.20: Esquema de movimento de massa do tipo rastejo. (Fonte: Infanti Junior e Fornasari Filho, 1998) .....	20
Figura 2.21: Áreas afetadas por movimento de rastejo, podendo-se notar o encurvamento dos troncos das árvores e ondulações em porções do solo e inclinação de cerca. (Fonte: Domínio público na Internet) .....	20
Figura 2.22: Movimento de massa Complexo. (Fonte: Novotný, 2013) .....	21
Figura 2.23: Escala de velocidades de movimentos de massa, proposto por Varnes (1958). (Fonte: Godois, 2011). .....	21
Figura 2.24: Escala de velocidades de movimentos de massa, proposto por Varnes, 1978 e escala de velocidades de movimentos de massa, proposto por Cruden & Varnes, 1996. (Fonte: Melo Neto, 2011). .....	22
Figura 3.1: Mapa da vulnerabilidade de deslizamento com pontos do inventário de deslizamentos da área de estudo. (Fonte: Adaptado de Kannan et al., 2013). .....	26
Figura 3.2: Tendência da vulnerabilidade com o quociente I/R. (Modificado de Li et al., 2010) .....	31
Figura 3.3: Tendência da vulnerabilidade em termos de diferentes valores de intensidade. (Modificado de Li et al., 2010) .....	31
Figura 3.4: Fator de intensidade dinâmica para estruturas. (Modif. de Li et al., 2010) .....	33
Figura 3.5: Fator de intensidade dinâmica para pessoas em espaço aberto .....	33
Figura 3.6: Fator físico para diferentes faixas etárias. (Modificado de Li et al., 2010) .....	38
Figura 3.6: Percentual de diversos graus de lesões em todos os feridos. (Modificado de Li et al., 2010) .....	39
Figura 3.7: Probabilidade de uma pessoa em uma estrutura ser ferida em diversos graus (Modificado de Li et al., 2010) .....	40
Figura 4.1: Geodésia e relação com outras ciências e aplicações. (Adaptado de Vaníček, 2001) .....	47
Figura 4.2: Forma da Terra, Geóide e Elipsóide de Referência. ....	48

Figura 4.3: Relação entre as Superfícies Terrestre, Geóide e Elipsóide de Referência.....	48
Figura 4.4: Sistema de Coordenadas Cartesiano Geocêntrico .....	49
Figura 4.5: Elipsóide de Referência .....	50
Figura 4.6: A forma da Terra geoidal e variação altimétrica – EGM 2008. (Fonte:Besdek, 2014) .....	52
Figura 4.7: Mapa de Nações com Sistemas de Satélites de Navegação. (Fonte: Hornish, Ashley: National Air and Space Museum, Smithsonian Institution, 2013) .....	52
Figura 4.8: Constelação do GPS (Fonte: USA Air Force, 2015) .....	54
Figura 4.9: Distribuição de satélites e planos orbitais do GPS (Seeber, 2003) .....	54
Figura 4.10: Status dos Satélites do GPS (Fonte: DoD, 2015) .....	56
Figura 4.11: Estrutura básica do sinal GPS (Fonte: Adaptado de Monico, 2008) .....	57
Figura 4.12: Distribuição das Estações de Controle do GPS (Fonte: DoD, 2015) .....	60
Figura 4.12a: Cronograma de Modernização do GPS (Fonte: DoD, 2015) .....	61
Figura 4.13: Configuração do GLONASS e os planos orbitais. (Fonte: Domínio público Internet) .....	64
Figura 4.14: Implementação dos sinais do GLONASS (Fonte: Victor, 2015) .....	65
Figura 4.15: Gerações do GLONASS (Fonte: Oleynik, 2011) .....	66
Figura 4.16: Incremento da acurácia posicional ao longo do tempo, devido à modernização do GLONASS (Fonte: Victor, 2015) .....	67
Figura 4.17: Constelação completa do sistema Galileo (Fonte: ESA-P. Carril, 2014) .....	69
Figura 4.18: Sinais de navegação do Galileo (Fonte: Adaptado de ESA, 2005) .....	70
Figura 4.19: Estrutura do sistema Galileo (Fonte: Adaptado de CE, 2015) .....	71
Figura 4.20: Segmento terrestre mundial do sistema Galileo a partir de março de 2013 (Fonte: ESA, 2014) .....	72
Figura 4.21: Segmentos básicos do sistema Beidou (Fonte: Adaptado de CSNO, 2015) .....	73
Figura 4.22: Etapas de desenvolvimento do Sistema Beidou (Fonte: Adaptado de CSNO, 2015) .....	74

Figura 4.23: Constelação atual e completa (2020), do sistema Beidou. (Fonte: Adaptado de CSNO, 2015) .....	75
Figura 4.24: Princípio de medida da pseudodistância (Fonte: Monico, 2008) .....	77
Figura 4.25: Fase da onda portadora (Fonte: Monico, 2008) .....	78
Figura 4.26: Posicionamento Absoluto ou por Ponto (Fonte: IBGE, 2008) .....	81
Figura 4.27: Geometria dos satélites – PDOP (Fonte: IBGE, 2008) .....	82
Figura 4.28: Posicionamento Relativo (Fonte: IBGE, 2008) .....	83
Figura 4.28a: Posicionamento Cinemático em Tempo Real – RTK .....	87
Figura 4.29: Esquema teórico da cobertura de uma rede GSM (Fonte: Heine, 1999) .....	91
Figura 4.30: Esquema real de uma borda de cobertura de duas células de ERB's: o relevo irregular (topografia) influencia a área e cobertura (Fonte: Pivaro, 2008) .....	91
Figura 4.31: Comparação do custo relativo do número de assinantes 3G/UMTS (WCDMA) que oferece menor custo que as tecnologias GPRS e EDGE (Fonte: UMTS Forum, 2005) .....	93
Figura 4.32: Evolução da tecnologia GSM de acordo com velocidade e geração. (Fonte: UMTS (2008), citado em Mota 2010)) .....	94
Figura 4.33: Área de cobertura 4G, de uma região na cidade de Recife. PE. Brasil. (Fonte: Claro, 2016) .....	95
Figura 4.34: Distribuição espacial das estações da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do Sistemas GNSS-RBMC e status operacional (IBGE, 2016) .....	99
Figura 4.35: Distribuição espacial no território brasileiro das estações do GNSS RBMC-IP, do IBGE, com um total de 95 estações em tempo real. Situação em janeiro de 2016 (Fonte: IBGE, 2016) .....	101
Figura 4.36: Processo de transmissão de correções de dados GNSS da RBMC-IP ao usuário. (Fonte: IBGE, 2013) .....	102
Figura 4.37: Distribuição espacial de estações da RBMC-IP e estações levantadas em testes da técnica RTK/NTRIP no estado do RJ, (Costa et al., 2008) .....	103
Figura 4.38: Resultados de teste com a técnica RTK/NTRIP, usando o serviço RMBC-IP, para linhas de base de até 50 km – Estação Petrópolis - RJ (Costa et al., 2008) .....	103
Figura 4.39: Resultados de teste com a técnica RTK/NTRIP, usando o serviço RMBC-IP, para linhas de base de até 50 km – Estação São Fidélis - RJ (Costa et al., 2008) .....	104

Figura 4.40: Sistemas Geodésico Cartesiano Geocêntrico e Topocêntrico. (Fonte: Garnés et al., 2005) .....	105
Figura 4.41: Modelo para transformação de base vetorial pela matriz R. ....	105
Figura 5.1: Ciclo Hype de Gartner (Adaptado de Gartner, 2016) .....	109
Figura 5.2: Valores obtidos com posicionamento GNSS, RTK/NTRIP e as diferenças com o posicionamento estático relativo (pós-processado). (Fonte: Adaptado de Prieto, 2007) .....	113
Figura 5.3: Localização relativa das estações utilizadas nos testes GNSS RTK/NTRIP.....	118
Figura 5.4: Comparação entre coordenadas pós-processadas e NTRIP para dupla frequência. (Fonte: Briceño et al., 2009) .....	118
Figura 5.5: Comparação entre coordenadas pós-processadas e NTRIP para uma frequência. (Fonte: Briceño et al., 2009) .....	119
Figura 5.6: Comparativo dos valores de acurácia horizontal pelo método RTK/NTRIP, em função do comprimento da linha de base. (Fonte: Moreira, 2011) .....	121
Figura 5.7: Comparativo dos valores de acurácia vertical pelo método RTK/NTRIP, em função do comprimento da linha de base. (Fonte: Moreira, 2011) .....	122
Figura 5.8: Comparação entre os resultados do GPS e o Inclinômetro Digital. (Fonte: Xiao e He, 2013) .....	128
Figura 5.9a: Localização dos nós Geocube instalados para a campanha de monitorização; a rede foi instalada na parte superior do deslizamento de terra onde as taxas de deslocamento são os mais elevados (Benoit et al., 2015) .....	130
Figura 5.9a: Para uma linha de base GPS, as componentes horizontal e vertical mostram estabilidade a longo prazo, com oscilações diárias (Benoit et al., 2015) .....	130
Figura 5.10: Vista aérea da encosta estudada, Camaragibe, Pernambuco. (Fonte: Silva et al, 2006 citado em Pereira e Silva, 2012) .....	131
Figura 5.11: Vetores de deslocamento na área de estudo (Fonte: Pereira e Silva, 2012) ....	131
Figura 5.12: Estrutura geodésica de monitoramento de área de estudo no Bairro de Guabirutuba, Curitiba, PR (Fonte: Paese et al., 2014) .....	132
Figura 5.13: Localização das estações de referência da rede ativa GNSS TUSAGA-Aktif, da Turquia e local da área do estudo (Fonte: Bayrak et al., 2015) .....	132
Figura 6.1: Localização da área de estudo – RPA 3 - Regional Noroeste da cidade do Recife, bairros de Nova Descoberta e Vasco da Gama (Fonte: Compilado de IBGE, 2010) .....	135

Figura 6.2: Regiões Político-Administrativas – RPA’s e Bairros do município de Recife (Fonte: Atlas de Desenvolvimento Humano no Recife, 2005) .....	137
Figura 6.3: Panorâmica da RPA 3 - vista para planície e para área de morros com encostas, ora descobertas, ora impermeabilizadas, ora cobertas por lonas (Fonte: A autora, 2013) ...	138
Figura 6.4: Bairros de Nova Descoberta e Vasco da Gama, na RPA 3, do município do Recife – PE (Fonte: CONDEPE/FIDEM et al., 2013) .....	138
Figura 6.5: Número de vítimas fatais por deslizamento na RMR e no município de Recife (Fonte: ALHEIROS, 2004 citado em BANDEIRA, 2010) .....	141
Figura 6.6: Redução do Número de Mortes por Deslizamentos de Encostas na Cidade do Recife. (Fonte: BANDEIRA, 2010) .....	141
Figura 6.7: Total de ocorrências na cidade do Recife por Regional no ano de 2009. (Bandeira, 2010) .....	141
Figura 6.8: Número de chamados para área susceptíveis à deslizamento na cidade de Recife. (Fonte: SEDEC, 2013) .....	142
Figura 6.9: Número de ocorrências registrados pela Secretaria de Defesa Civil do Recife – SEDEC, até agosto de 2015, (Fonte: SEDEC, 2015) .....	142
Figura 6.10a: Número de colocação de lonas pela Secretaria de Defesa Civil do Recife – SEDEC, até agosto de 2015, na regional nordeste. (Fonte: SEDEC, 2015) .....	143
Figura 6.10b: Número de vistorias realizadas na regional nordeste pela Secretaria de Defesa Civil do Recife – SEDEC, até agosto de 2015 (Fonte: SEDEC, 2015) .....	143
Figura 6.11: Número de vistorias realizadas na regional nordeste pela Secretaria de Defesa Civil do Recife – SEDEC, até agosto de 2015 (Fonte: SEDEC, 2015). .....	144
Figura 6.12: Deslizamento de barreira no Córrego do Euclides, no Alto José Bonifácio, Zona norte da cidade do Recife, com 1 vítima fatal, em 17/04/2016. (Fonte: Reprodução vídeo reportagem TV Globo, 2016) .....	144
Figura 6.13: Setores de risco de escorregamento na RMR, proposto pelo PMRR (Fonte: PMRR (2006), Base Imagem Google Earth 2013) .....	146
Figura 6.14: Detalhe dos setores do PMRR e localização dos levantamentos. (Fonte: Imagem Google Earth 2013 & PMRR, 2006) .....	146
Figura 6.15: Exemplo de uma prancha de setorização de risco geológico, elaborado pelo CPRM (Fonte: CPRM, 2016) .....	149
Figura 6.16: Setorização de Riscos Geológicos: Movimentos gravitacionais de massa, inundações, enchentes e processos erosivos. (Fonte: CPRM, 2016) .....	150

Figura 6.17a: Setorização de Riscos Geológicos: Movimentos gravitacionais de massa, inundações, enchentes e processos erosivos. (Fonte: CPRM, 2016) .....	151
Figura 6.17b: Setorização de Riscos Geológicos: Movimentos gravitacionais de massa, inundações, enchentes e processos erosivos. (Fonte: CPRM, 2016). .....	152
Figura 6.18a: Mapas de Hipsometria e de Declividade do município de Recife. (Fonte: CPRM, 2016) .....	152
Figura 6.18b: Mapas de Relevo e Precipitações Médias Anuais e Mensais e Histogramas, do município de Recife. (Fonte: CPRM, 2016). .....	153
Figura 6.19: Carta de Susceptibilidade a Movimento Gravitacionais de Massa e Inundação do município de Recife (Fonte: CPRM, 2016) .....	153
Figura 6.20: Localização de pontos na área de estudo, objetos de levantamento na Carta de Susceptibilidade a Movimento Gravitacionais de Massa e Inundação do município de Recife (Fonte: CPRM, 2016) .....	154
Figura 6.21: Sobreposição da setorização de risco elaborado pela CPRM, com os setores do PMRR, 2006 (Fonte: CPRM, 2016 & PMRR,2006, Base Google Earth, 2016) .....	154
Figura 6.22: Classificação da susceptibilidade para um mesmo setor (Fonte: CPRM, 2016 & PMRR,2006, Base Google Earth, 2016). .....	155
Figura 6.23: Distribuição espacial da cobertura ERB´s no município de Recife – PE. (Fonte: Telebrasil, 2016. Base Google Imagens) .....	157
Figura 6.24: Distribuição espacial da ERBs na área de estudo. (Fonte: Telebrasil, 2016; Base: Google Maps, 2016) .....	157
Figura 6.25: Exemplo da relação da altura de uma antena de uma ERB, intensidade do sinal e alcance deste (ACEL, 2016) .....	158
Figura 6.26: Cobertura de sinal 3G, da prestadora Claro, na região do município de Recife e entorno, observando áreas sem cobertura (Fonte: Claro, 2016) .....	158
Figura 6.27: Cobertura de sinal 4G, da prestadora Claro, na região do município de Recife e parte do interior do Estado (Fonte: Claro, 2016). .....	158
Figura 6.28: Cobertura de sinal 4G, da prestadora Claro, área de estudo (Fonte: Claro, 2016). .....	159
Figura 6.29: Canal da rede social Twitter (twitter.com), notificações sobre as ocorrências nas estações, via RBMC (via@RBMC_IBGE). .....	160
Figura 6.30: Receptor GNSS Hiper V – Topcon; e Estação Total North, NXR.....	161
Figura 6.31a Teste receptor GNSS Hiper V, Topcon no campus da UFPE e detalhe de funcionalidade de registro fotográfico antena, pela coletora do receptor.....	162

Figura 6.31b: Disposição de duas estações ocupadas nos testes, no campus UFPE estação RECF/RBMC-IP, pertencente ao SGB.....	162
Figura 6.32: Levantamento RTK no Córrego da Batalha, pontos de quinas de lotes obtidos pela técnica RTK. Jaboatão dos Guararapes – PE. Projeto de Regularização Fundiária – UFPE. (Fonte: O Autor, 2013; Imagens Google Earth, 2016) .....	163
Figura 6.33: Localização dos pontos selecionados para teste, no contexto dos Setores Censitários de Aglomerados Subnormais do Censo 2010 (IBGE) .....	164
Figura 6.34: Localização dos pontos selecionados para teste no contexto do PMRR (2006) e dos Setores Censitários de Aglomerados Subnormais do Censo 2010 (IBGE). Base Google Earth, 2014.....	164
Figura 6.35: Aspecto visual da topografia, tipo de estruturas e encostas impermeabilizadas, cobertas com lonas ou sem cobertura da área de estudo Vasco da Gama e Nova Descoberta – Recife – PE (Fotos: A autora, 2013) .....	165
Figura 6.36: Pontos do levantamento RTK-NTRIP, na localidade da 2ª Travessa Doradinha – Córrego do Eucalipto - Vasco da Gama – Recife, em 02/10/2013 (Imagem tridimensional Google Earth, 2016) .....	167
Figura 6.37: Croqui de imóvel vulnerável a deslizamento na localidade da 2ª Travessa Doradinha, – Córrego do Eucalipto - Vasco da Gama (Elaborado por Carvajal, 2013) .....	167
Figura 6.38: Pontos do levantamento RTK-NTRIP, na localidade da 3ª Travessa Damolândia – Córrego da Areia – Nova Descoberta – Recife, em 02/10/2013 (Imagem tridimensional Google Earth, 2016) .....	168
Figura 6.39: Croqui de imóvel vulnerável a deslizamento de encosta na localidade da 3ª Travessa Damolândia – Córrego da Areia – Nova Descoberta – Recife. (Elaborado por Carvajal, 2013) .....	168
Figura 6.40: Levantamento RTK-NTRIP, na localidade da 3ª travessa Damolândia – Nova Descoberta – Córrego da Areia Recife, em 02/10/2013.....	169
Figura 6.41: Pontos do levantamento RTK-NTRIP, na localidade da Rua Arabela, num 38 Alto da Brasileira – Nova Descoberta – Recife, em 02/10/2013 (Imagem tridimensional Google Earth, 2016) .....	169
Figura 6.42: Aspecto da área de estudo, objeto do levantamento RTK-NTRIP, na localidade da Rua Baianópolis, Córrego do Joaquim – Nova Descoberta – Recife, em 02/10/2013 (Fonte: A autora, 2013) .....	170
Figura 6.43: Pontos do levantamento RTK-NTRIP e Estação Total, na localidade da Rua Baianópolis, Córrego do Joaquim – Nova Descoberta – Recife, em 22 de janeiro de 2014 (Fonte: Imagem Google Earth, 2016) .....	171

Figura 6.44 Croqui de imóvel vulnerável a deslizamento de encosta na localidade da Rua Baianópolis, Córrego do Joaquim – Nova Descoberta – Recife, em 22 de janeiro de 2014. (Elaborado Hernán Carvajal) .....	171
Figura 6.45: Levantamento com Estação Total e RTK-NTRIP, na Rua Bemposta, Alto do Eucalipto – Vasco da Gama, em 18 de julho de 2014. (Foto: Sergio Melo - IBGE) .....	172
Figura 6.46: Pontos do levantamento RTK-NTRIP e Estação Total, na Rua Bemposta, Alto do Eucalipto – Vasco da Gama, em 18 de julho de 2014. (Fonte: Imagem Google Earth, 2016) .....	173
Figura 6.47 Aspecto da área de estudo, objeto do levantamento GNSS e Topográfico, na Subida para o Alto do Reservatório - Córrego do Joaquim - Nova Descoberta. (Foto: Sergio Melo – IBGE) .....	173
Figura 6.48: Levantamento GNSS e Topográfico, na Subida para o Alto do Reservatório - Córrego do Joaquim - Nova Descoberta. (Foto: Sergio Melo – IBGE) .....	174
Figura 7.1: Desvio padrão da componente horizontal (planimétrica). 2ª Travessa Doradinha – Alto do Eucalipto – Vasco da Gama. Recife – PE .....	176
Figura 7.2: Desvio padrão da componente vertical (altitude). 2ª Travessa Doradinha – Alto do Eucalipto – Vasco da Gama. Recife – PE.....	177
Figura 7.3: Desvio padrão da componente horizontal (planimétrica). 3ª Travessa Damolândia – Córrego da Areia – Nova Descoberta. Recife – PE .....	177
Figura 7.4: Desvio padrão da componente vertical (altitude). 3ª Travessa Damolândia – Córrego da Areia – Nova Descoberta. Recife – PE .....	178
Figura 7.5: Desvio padrão da componente horizontal (planimétrica). Rua Arabela – Alto da Brasileira – Nova Descoberta. Recife – PE.....	178
Figura 7.6: Desvio padrão da componente vertical (altitude). Rua Arabela – Alto da Brasileira – Nova Descoberta. Recife – PE.....	179
Figura 7.7: Desvio padrão da componente horizontal (planimétrica). Rua Baianópolis – Córrego do Joaquim - Nova Descoberta. Recife – PE.....	179
Figura 7.8: Desvio padrão da componente vertical (altitude). Rua Baianópolis – Córrego do Joaquim - Nova Descoberta. Recife – PE.....	180
Figura 7.9: Detalhe de pontos limites dos deslizamentos obtidos do levantamento topográfico, representados em Ortofocartas Planialtimétrica 1:1000 (Base: Carta 816500, PCR. 2008). .....	181
Figura 7.10: Desvio padrão da componente horizontal (planimétrica). Rua Bemposta. Alto do Eucalipto, bairro do Vasco da Gama – Recife - PE.....	182

Figura 7.11: Desvio padrão da componente vertical (altimétrica). Rua Bemposta. Alto do Eucalipto, bairro do Vasco da Gama – Recife - PE.....	182
Figura 7.12: Desvio padrão da componente horizontal (planimétrica). Alto do Reservatório, Córrego do Joaquim, bairro de Nova Descoberta – Recife - PE.....	183
Figura 7.13: Desvio padrão da componente vertical (altimétrica). Alto do Reservatório, Córrego do Joaquim, bairro de Nova Descoberta – Recife - PE. ....	183
Figura 7.14: Pontos do levantamento topográfico na Rua Bemposta, sobre recorte de ortofotocarta, escala 1: 1000, do mapeamento do município do Recife.....	184
Figura 7.15: Pontos do levantamento topográfico, na Subida Alto do Reservatório, sobre recorte de ortofotocarta, escala 1: 1000, do mapeamento do município do Recife.....	184
Figura 7.16: Ambiente de Processamento do Software Magnet Office Tools, Versão 1.2 (Topcon Positioning System, Inc, 2011-2013).....	185
Figura 7.17: Ambiente de Processamento do Software AstGeoTop, 2013-2016, (Garnés, 2016).....	186
Figura 7.18: Desvio padrão da componente horizontal e vertical do pós-processamento do levantamento GNSS na 2ª Travessa Doradinha – Alto do Eucalipto – Vasco da Gama. Recife – PE. ....	186
Figura 7.19: Desvio padrão da componente horizontal e vertical do pós-processamento do levantamento GNSS na 3ª Travessa Damolândia – Córrego da Areia – Nova Descoberta. Recife – PE. ....	187
Figura 7.20: Desvio padrão da componente horizontal e vertical do pós-processamento do levantamento GNSS na Rua Arabela – Alto da Brasileira – Nova Descoberta. Recife – PE .....	188
Figura 7.21: Desvio padrão da componente horizontal e vertical do pós-processamento do levantamento GNSS na Rua Baianópolis – Córrego do Joaquim - Nova Descoberta. Recife – PE.....	189
Figura 7.22: Desvio padrão da componente horizontal e vertical do pós-processamento do levantamento GNSS na Rua Bemposta. Alto do Eucalipto, bairro do Vasco da Gama – Recife - PE.....	189
Figura 7.23: Desvio padrão da componente horizontal e vertical do pós-processamento do levantamento GNSS no Alto do Reservatório, Córrego do Joaquim, bairro de Nova Descoberta – Recife - PE.....	190
Figura 7.24: Disposição dos pontos da distância (d) e altitude (H), de pontos na encosta e na estrutura vulnerável.....	194

Figura 7.25: Coleta de informações, para determinação da resistência (R) da estrutura vulnerável (Rua Bemposta, Alto do Eucalipto, bairro Vasco da Gama – Recife – PE, Foto: A autora, 04/07/2015) .....	196
Figura 7.26: Relação do valor da vulnerabilidade da estrutura com o gradiente modificado Z e com a função T.....	196
Figura 7.27: Relação do valor da vulnerabilidade da estrutura com a com o gradiente modificado Z e a função T.....	197
Figura 7.28: Relação do valor da vulnerabilidade da estrutura com a com o gradiente modificado Z e a função T.....	198
Figura 7.29: Relação do valor da vulnerabilidade da estrutura com a com o gradiente modificado Z e a função T, em imóveis da Rua Baianópolis, Córrego do Joaquim, bairro de Nova Descoberta.....	199
Figura 7.30: Relação do valor da vulnerabilidade da estrutura com a com o gradiente modificado Z e a função T, em imóveis da Rua Bemposta, números 21 e 22, Alto do Eucalipto, bairro de Nova Descoberta .....	200
Figura 7.31: Relação do valor da vulnerabilidade da estrutura com a com o gradiente modificado Z e a função T, no imóvel 1199 (A e B) da Subida do Alto do Reservatório, Córrego do Joaquim, no bairro de Nova Descoberta .....	200
Figura 7.32: Relação do valor da vulnerabilidade da estrutura com a com o gradiente modificado Z e a função T, nos imóveis 1120 e 400 (A e B) da Subida do Alto do Reservatório, Córrego do Joaquim, no bairro de Nova Descoberta .....	201
Figura 7.33: Relação do valor da vulnerabilidade média da estrutura com o gradiente modificado Z. ....	203

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Aspectos da Vulnerabilidade (Fonte: Cuanalo et al., 2014). .....	24
Tabela 3.2: Exemplo de análise de vulnerabilidade qualitativa, usando para estimação do dano a estruturas. (Fonte: Cardinalli et al. (2002) citado em ENSURE 2009) .....	26
Tabela 3.3: Categorias de vulnerabilidade, percentual de inventário de pontos e frequência de deslizamentos. (Fonte: Adaptado de Kannan et al., 2013). .....	27
Tabela 3.4: Exemplo de avaliação da vulnerabilidade quantitativa a deslizamentos para pessoas, construções e rodovias - incertezas desconhecidas. (modificado de Michael-Leiba et al. (2003), citado em ENSURE (2009)) .....	28
Tabela 3.5: Indicativo de vulnerabilidade para diferentes profundidades de fundações. (Modificado de Ragozin e Tikhvinsky (2000) citado em Li et al., 2010). .....	34
Tabela 3.6: Valor proposto para o fator de tipologia estrutura (Mod. de Li et al., 2010).....	36
Tabela 3.7: Valor proposto para o fator de resistência do estado de manutenção de estruturas (Modificado de Li et al., 2010). .....	36
Tabela 3.8: Valor proposto para o fator de resistência da altura (Mod. Li et al., 2010) .....	37
Tabela 3.9: Exemplo do fator de resistência para consciência da prevenção do risco (Modificado de Li et al., 2010). .....	38
Tabela 3.10: Vulnerabilidade de estruturas e população em construções (Modificado de Li et al., 2010). .....	39
Tabela 3.11: Vulnerabilidade média de estruturas e pessoas em construções (Modificado de Li et al., 2010). .....	40
Tabela 3.12: Métodos de cálculo da vulnerabilidade (Modificado de Li et al., 2010). .....	41
Tabela 4.1: Características das atuais e futuras gerações de satélites (Fonte: DoD, 2015)..	58
Tabela 4.2: Componentes do sinal e aplicações.....	62
Tabela 4.3: Fontes e efeitos de erros sistemáticos envolvidos no GNSS (Fonte: Adaptado de Monico, 2008). .....	79
Tabela 4.4: Vantagens e Desvantagens das conexões GSM/GPRS e UHF/VHF, no posicionamento RTK. Fonte: Adaptado de Guandalini (2012). .....	88
Tabela 4.5: Comparativo entre as tecnologias GSM, GPRS e EDGE (Santos,2008) .....	92
Tabela 4.6: Alguns tipos de mensagens padronizadas padrão RTCM versão 2.3 (2001) ....	96

Tabela 5.1: Discrepâncias do teste RTK/NTRIP e pós-processamento em vias sem obstáculos aéreos. (Fonte: Uradzinski et al., 2008) .....	111
Tabela 5.2: Discrepância do teste RTK/NTRIP e pós-processamento em vias com alguns obstáculos aéreos. (Fonte: Uradzinski et al., 2008) .....	111
Tabela 5.3: Comparação de precisão posicional média, para três diferentes receptores GPS. (Fonte: Adaptado de Dammalage & Samarakoon, 2008) .....	114
Tabela 5.4: Erro médio quadrático do posicionamento planimétrico dos métodos testados e precisão média (Fonte: Souza et al., 2014) .....	1117
Tabela 5.5: Descrições e características dos principais métodos de monitoramento de deslocamentos superficiais e sua precisão (Fonte: Adaptado de Malet et al., 2002) .....	126
Tabela 6.1: Critérios para definição do grau de probabilidade de ocorrência de processos destrutivos do tipo deslizamentos (escorregamentos) em encostas ocupadas e desbarrancamento (solapamento) de margens de córregos, no PMRR – PCR (Modificado do PMRR, 2006). .....	147
Tabela 6.2: Quantitativo de Estações Rádio Base (ERB's) distribuídas no município de Recife – PE, de acordo com prestadoras que operam na área, referência: julho 2016 (Fonte:Telebrasil, 2016) .....	156
Tabela 6.3: Localidade selecionadas para realização do levantamento RTK-NTRIP, a partir da Tabela de Deslizamentos 2013, Defesa Civil da Prefeitura do Recife. ....	166
Tabela 6.4: Localidade selecionadas de forma aleatória para realização do levantamento RTK-NTRIP e Estação Total em julho de 2014. ....	172
Tabela 7.1: Resultado da média da precisão do levantamento RTK-NTRIP .....	191
Tabela 7.2: Resultado da média da precisão do levantamento Pós-processado .....	191
Tabela 7.3: Relação da vulnerabilidade com as variáveis geométricas posicional, da ameaça e da estrutura, e de resistência da estrutura. ....	203
Tabela 1: Resultados do levantamento GNSS RTK-NTRIP, na 2ª Travessa da Rua Doradinha – Alto do Eucalipto – Vasco da Gama, Recife - PE - Brasil. Estação Base de Referência: RBMC-IP-RECF. Data: 02/10/2013. ....	220
Tabela 2: Resultados do levantamento GNSS RTK-NTRIP, na 3ª Travessa Damolândia – Córrego da Areia – Nova Descoberta - PE - Brasil. Estação Base de Referência: RBMC-IP-RECF RECF. Data: 02/10/2013. ....	221
Tabela 3: Resultados do levantamento GNSS RTK-NTRIP, na Rua Arabela, Alto da Brasileira – Nova Descoberta, Recife - PE - Brasil. Estação Base de Referência: RBMC-IP-RECF RECF. Data: 02/10/2013.....	223

Tabela 4: Resultados do levantamento GNSS RTK-NTRIP, na Rua Baianópolis, Córrego do Joaquim – Nova Descoberta, Recife - PE - Brasil. Estação Base de Referência: RBMC-IP-RECF RECF. Data: 02/10/2013 .....	225
Tabela 5: Resultados do levantamento Topográfico, na Rua Baianópolis, Córrego do Joaquim – Nova Descoberta, Recife - PE - Brasil. Estação Base de Referência: RBMC-IP-RECF RECF. Data: 22/11/2014. ....	227
Tabela 6: Resultados do levantamento Topográfico, na Rua Baianópolis, Córrego do Joaquim – Nova Descoberta, Recife - PE - Brasil. Estação Base de Referência: RBMC-IP-RECF RECF. Data: 22/11/2014. ....	228
Tabela 7: Resultados do levantamento Topográfico, na Rua Baianópolis, Córrego do Joaquim – Nova Descoberta, Recife - PE - Brasil. Estação Base de Referência: RBMC-IP-RECF RECF. Data: 22/11/2014.....	229
Tabela 8: Resultados do levantamento GNSS RTK-NTRIP, Rua Bemposta. Alto do Eucalipto, bairro do Vasco da Gama, Recife - PE - Brasil. Estação Base de Referência: RBMC-IP-RECF RECF. Data: 18/07/2014.....	230
Tabela 9: Resultados do levantamento GNSS RTK-NTRIP, Subida para o Alto do Reservatório – Córrego do Joaquim, bairro de Nova Descoberta, Recife - PE - Brasil. Estação Base de Referência: RBMC-IP-RECF RECF. Data: 18/07/2014 .....	232
Tabela 10: Resultados do levantamento Topográfico, na Rua Bemposta, Alto do Eucalipto – Vasco da Gama, Recife - PE - Brasil. Estação Base de Referência: RBMC-IP-RECF RECF. Data: 18/07/2014. ....	236
Tabela 11: Resultados do levantamento Topográfico, na Subida do Alto do Reservatório, Córrego do Joaquim – Nova Descoberta, Recife - PE - Brasil. Estação Base de Referência: RBMC-IP-RECF RECF. Data: 18/07/2014. ....	237
Tabela 12: Resultados do levantamento GNSS Pós-processado, na 2ª Travessa da Rua Doradinha – Alto do Eucalipto – Vasco da Gama, Recife - PE - Brasil. Estação Base de Referência: RBMC-IP-RECF. Data: 02/10/2013.....	240
Tabela 13: Resultados do levantamento GNSS Pós-processado, na 3ª Travessa Damolândia – Córrego da Areia – Nova Descoberta - PE - Brasil. Estação Base de Referência: RBMC-IP-RECF RECF. Data: 02/10/2013.....	241
Tabela 14: Resultados do levantamento GNSS RTK-NTRIP, na Rua Arabela, Alto da Brasileira – Nova Descoberta, Recife - PE - Brasil. Estação Base de Referência: RBMC-IP-RECF RECF. Data: 02/10/2013. ....	244
Tabela 15: Resultados do levantamento GNSS RTK-NTRIP, na Rua Baianópolis, Córrego do Joaquim – Nova Descoberta, Recife - PE - Brasil. Estação Base de Referência: RBMC-IP-RECF RECF. Data: 02/10/2013. ....	246

Tabela 16: Resultados do levantamento GNSS RTK-NTRIP, Rua Bemposta. Alto do Eucalipto, bairro do Vasco da Gama, Recife - PE - Brasil. Estação Base de Referência: RBMC-IP-RECF RECF. Data: 18/07/2014.....	247
Tabela 17: Resultados do levantamento GNSS RTK-NTRIP, Subida para o Alto do Reservatório – Córrego do Joaquim, bairro de Nova Descoberta, Recife - PE - Brasil. Estação Base de Referência: RBMC-IP-RECF RECF. Data: 18/07/2014.....	249
Tabela 18 Resultados do levantamento GNSS Pós-processado, na 2ª Travessa da Rua Doradinha – Alto do Eucalipto – Vasco da Gama, Recife - PE - Brasil. Estação Base de Referência: RBMC-IP-RECF. Data: 02/10/2013.....	254
Tabela 19: Resultados do levantamento GNSS Pós-processado, na 3ª Travessa Damolândia – Córrego da Areia – Nova Descoberta - PE - Brasil. Estação Base de Referência: RBMC-IP-RECF RECF. Data: 02/10/2013. ....	254
Tabela 20: Resultados do levantamento GNSS RTK-NTRIP, na Rua Arabela, Alto da Brasileira – Nova Descoberta, Recife - PE - Brasil. Estação Base de Referência: RBMC-IP-RECF RECF. Data: 02/10/2013. ....	256
Tabela 21: Resultados do levantamento GNSS RTK-NTRIP, na Rua Baianópolis, Córrego do Joaquim – Nova Descoberta, Recife - PE - Brasil. Estação Base de Referência: RBMC-IP-RECF RECF. Data: 02/10/2013 .....	257
Tabela 22: Resultados do levantamento GNSS RTK-NTRIP, Rua Bemposta. Alto do Eucalipto, bairro do Vasco da Gama, Recife - PE - Brasil. Estação Base de Referência: RBMC-IP-RECF RECF. Data: 18/07/2014. ....	258
Tabela 23: Resultados do levantamento GNSS RTK-NTRIP, Subida para o Alto do Reservatório – Córrego do Joaquim, bairro de Nova Descoberta, Recife - PE - Brasil. Estação Base de Referência: RBMC-IP-RECF RECF. Data: 18/07/2014. ....	259
Tabela 24: Cálculo da Vulnerabilidade Física usando Moraes (2015), a partir de dados Levantamento GNSS técnica RTK-NTRIP. Local: 1ª Travessa Douradinha, S/N (12A), da localidade Alto do Eucalipto, no bairro Vasco da Gama. ....	262
Tabela 25: Cálculo da variância da função usando método FOSM.....	263
Tabela 26: Cálculo da Vulnerabilidade Física usando Moraes (2015), a partir de dados Levantamento GNSS técnica RTK-NTRIP, na Rua Criciúma -Travessa Damolândia, Alto do Caeté, Nova Descoberta. ....	264
Tabela 27: Cálculo da variância da função usando método FOSM. ....	265
Tabela 28: Cálculo da Vulnerabilidade Física usando Moraes (2015), a partir de dados Levantamento GNSS técnica RTK-NTRIP, na Rua Arabela, 36, Alto da Brasileira, Vasco da Gama. ....	266
Tabela 29: Cálculo da variância da função usando método FOSM. ....	267

Tabela 30: Cálculo da Vulnerabilidade Física usando Moraes (2015), a partir de dados Levantamento GNSS técnica RTK-NTRIP, no imóvel A da Rua Baianópolis, Córrego do Joaquim, bairro de Nova Descoberta. ....	268
Tabela 31: Cálculo da variância da função usando método FOSM. ....	269
Tabela 32: Cálculo da Vulnerabilidade Física usando Moraes (2015), a partir de dados Levantamento GNSS técnica RTK-NTRIP, no imóvel B, da Rua Baianópolis, Córrego do Joaquim, bairro de Nova Descoberta.....	270
Tabela 33: Cálculo da variância da função usando método FOSM. ....	271
Tabela 34: Cálculo da Vulnerabilidade Física usando Moraes (2015), a partir de dados Levantamento GNSS técnica RTK-NTRIP, no imóvel C, da Rua Baianópolis, Córrego do Joaquim, bairro de Nova Descoberta.....	272
Tabela 35: Cálculo da variância da função usando método FOSM. ....	273
Tabela 36: Cálculo da Vulnerabilidade Física usando Moraes (2015), a partir de dados Levantamento GNSS técnica RTK-NTRIP, Rua Bemposta num 21 e 22, Alto do Eucalipto, Vasco da Gama.....	274
Tabela 37: Cálculo da variância da função usando método FOSM. ....	275
Tabela 38: Cálculo da Vulnerabilidade Física usando Moraes (2015), a partir de dados Levantamento GNSS técnica RTK-NTRIP, Subida p Alto do Reservatório, 1199 A e B, Córrego do Joaquim, Nova Descoberta. ....	276
Tabela 39: Cálculo da variância da função usando método FOSM. ....	277
Tabela 40: Cálculo da Vulnerabilidade Física usando Moraes (2015), a partir de dados Levantamento GNSS técnica RTK-NTRIP, Subida p Alto do Reservatório, 1120 Córrego do Joaquim, Nova Descoberta. ....	278
Tabela 41: Cálculo da variância da função usando método FOSM. ....	279
Tabela 42: Cálculo da Vulnerabilidade Física usando Moraes (2015), a partir de dados Levantamento GNSS técnica RTK-NTRIP, Subida p Alto do Reservatório, 400 A e B, Córrego do Joaquim, Nova Descoberta. ....	325
Tabela 43: Cálculo da variância da função usando método FOSM. ....	281

...

## LISTA DE ABREVIACÕES, NOMENCLATURAS E SÍMBOLOS

$\mu_x$ : Média da distribuição para uma variável independente  
 $\mu_{xi}$ : Média da variável xi  
 $\xi$ : Parâmetro associado ao tipo superfície  
 $\xi_i$ : Fator de resistência  
 $\xi_{sfd}$ : Fator de resistência para a profundidade da fundação  
 $\xi_{sht}$ : Fator de resistência para a altura da construção  
 $\xi_{smn}$ : Fator de resistência para o estado de manutenção  
 $\xi_{sty}$ : Fator de resistência para a tipologia estrutural  
 $\mu_x$ : Média da distribuição para uma variável independente  
 $\mu_{xi}$ : Média da variável xi  
BS: Base Station (Estação Base)  
BSC : Base Station Controller (Estação Base de Controle)  
BTS : Base Transceiver Site (Referente a arquitetura GPRS)  
CCRS: Conventional Celestial Reference System  
CDMA: Code Division Multiple Access (Acesso Múltiplo por Divisão do Código)  
COMPASS - Compass Navigation Satellite System  
CSRS: Canadian Spatial Reference System  
CTRS: Conventional Terrestrial Reference System  
CTS: Conventional Terrestre System  
DGPS: Differential Global Positioning System  
DoD: Department of Defense  
EDGE: Enhanced Data rates for Global Evolution (Melhores Taxas de Dados para Evolução Global)  
EGNOS: European Geostationary Navigation Overlay Service  
ERA: Estação Referência Ativa  
ERB: Estação Rádio Base (Equipamento do sistema GSM)  
ETSI: European Telecommunications Standard Institute  
EUREF-IP- European Real-Time GNSS Pilot Project  
FAA: Administração Federal de Aviação dos Estados Unidos  
FDMA: Frequency Division Multiple Access (Acesso Múltiplo por Divisão de Frequência)  
FM: Frequência Modulada  
FOSM: First-Order Second-Moment  
FTP: FileTransfer Protocol (Protocolo de Transferência de Arquivo)  
GAGAN: GPS and Geo-Augmented Navigation System  
GNSS: Global Navigation Satellite Systems  
GSM: Global System Mobile (Sistema Global para Comunicações Móveis)  
GPRS: General Packet Radio Service (Serviço Geral de Rádio por Pacote)  
GPS: Global Positioning System  
HTTP: Hypertext Transfer Protocol (Protocolo de Transferência de Hipertexto)  
IAEG: International Association for Engineering Geology and the Environment  
 $I_{dfm}$ : Fator de deformação  
 $I_{dpt}$ : Fator de profundidade de detritos  
 $I_{dym}$ : Fator de intensidade dinâmica  
 $I_{gem}$ : Fator de intensidade geométrica  
ISSMGE: International Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering  
IBGE: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
IAU: International Astronomical Union  
ICRS: International Celestial Reference System

ICRF: International Celestial Reference Frame  
 IERS: International Earth Rotation Service  
 IGS: International GNSS Service  
 IGSO: Inclined Geosynchronous Satellite Orbit  
 ISO: International Organization For Standardization  
 ITRS: International Celestial Reference Frame  
 ITRF: International Terrestrial Reference Frame  
 IUGG: International Union of Geodesy and Geophysics  
 Km<sup>2</sup>: Quilômetro quadrado  
 LAN : Local Area Network (Redes Locais) Transmissão/Protocolo da Internet)  
 m: Metro  
 LIDAR: Light Detection and Ranging  
 MDT: Modelo Digital do Terreno  
 MEO: Medium Earth Orbith  
 MNT: Modelo numérico de terreno  
 MSAT: Multi-functional Augmentation Transport Satellite - MSAS  
 NAVSTAR - GPS: Navigation System with Time and Ranging Global Positioning System  
 NMEA: National Maritime Electronics Association  
 NNSS: Navy Navigation Satellite System  
 NTRIP: Networked Transport of RTCM via Internet Protocol  
 TCP/IP: Transmission Control Protocol/Internet Protocol (Protocolo de Controle de  
 PDGPS: Diferencial Precision Global Positioning System  
 PIN: Personal Identity Number  
 PPP: Posicionamento por Ponto Preciso  
 PSTN: Public Switched Telephone Network (Rede Pública Comutada)  
 RBMC: Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo  
 RINEX: Receiver Independent Exchange Format  
 RF: Rádio Frequência  
 RFC: Request For Comments (Documento de especificações de um protocolo ou tecnologia)  
 RTCM SC-104: Radio Technical Commission for Maritime Services Special Committee 104  
 RTK: Real Time Kinematic  
 R: Resistência do elemento em risco  
 s: Segundos  
 SIG: Sistema de Informações Geográficas  
 AS: Selective Availability  
 SGB: Sistema Geodésico Brasileiro  
 SGR : Sistema Geodésico de Referência  
 SGSN: Serving GPRS support node (Novo dispositivo da rede GSM)  
 SIM : Subscriber Identity Module ( Módulo de identidade do assinante)  
 SLR : Satellite Laser Range  
 SMTP: Simple Mail Transfer Protocol  
 SQL: Structure Query Language (Linguagem de Pesquisa Estruturada)  
 TDMA: Time Division Multiple Access (Acesso Múltiplo por Divisão de Tempo)  
 UDP: User Datagrama Protocol (Protocolo para fluxo de dados em tempo real)  
 UMTS: Universal Mobile Telecommunications System  
 UTM: Universal Transversa de Mercator  
 V: Vulnerabilidade  
 V[F]: Variância da função F  
 VLBI: Very Long Baseline Interferometry  
 WAAS: Wide Area Augmentation System

# 1 - INTRODUÇÃO

## 1.1 - MOTIVAÇÃO

É notável a contribuição do desenvolvimento de tecnologias auxiliares às técnicas e métodos de análise de risco de deslizamentos. A inclusão de parâmetros, os mais diversos, nas estimativas do risco denota o quão complexo e particular é este tipo de análise. A cada tecnologia que surge, novos estudos são realizados, novas propostas de soluções são apresentadas, advindos da automação da aquisição do dado, por equipamentos mais robustos; do processamento, por softwares com modelos matemáticos mais sofisticados e da apresentação, por meio de interfaces multidisciplinares. A disponibilização de insumos, tais como imagens espaciais com maior resolução, softwares livres, métodos, entre outros, tem sido nesse contexto, um aliado em todo processo de análise de risco de deslizamentos. Apesar desses avanços, as soluções continuam complexas, não existindo um modelo único, senão uma base para adequação de cada caso para análise de risco de deslizamentos. Questões como: qual é a geometria do terreno, qual é a geologia predominante? Onde poderá iniciar o deslizamento? O que pode deflagrar o deslizamento? Onde irá ocorrer? Qual a geomorfologia da área? Entre muitas outras, são necessárias levantar. Um parâmetro que envolve as respostas a muitas dessas questões, que é inerente e diretamente proporcional à análise de risco, é a vulnerabilidade dos elementos expostos. Este parâmetro, ao longo do tempo, vem sendo modelado sob diversos enfoques e de acordo com a linha de pesquisa de cada especialista, mesmo dentro de uma mesma área de estudo, como é o caso da análise do risco de deslizamento. Decidir sobre que modelagem utilizar e como esta influenciará na análise do risco de deslizamento, é papel fundamental no processo.

Especialmente em regiões de expansão urbana ou urbanizadas, desprovidas de um planejamento ou ordenamento territorial, existem áreas com características peculiares, onde as condições físicas destas ou do seu entorno não são observadas quando ocupadas. Em geral são áreas com topografia acentuada, sujeitas a deslizamentos ou à inundação, manejadas de forma inadequada, impondo fragilidade ao solo, por desprotegê-lo; torná-los saturados, diminuindo a capacidade de carga ou absorção; podendo estas áreas serem classificadas como áreas de risco. Essas áreas são frequentemente alvo de acidentes ou catástrofes, deflagrados por eventos naturais, condicionados pela ação antrópica no meio ou por fenômenos geodinâmicos.

Identificar e monitorar áreas de risco de deslizamento é papel do poder público. Não ocupar áreas impróprias é, também, responsabilidade do cidadão, muitas vezes inconsciente de seu papel. No que tange à identificação e monitoramento, estudos e tecnologias têm sido utilizadas, em geral após uma ou mais ocorrências. Faz-se, portanto, necessário anteceder-se a esses eventos, naturais ou antrópicos, identificando possíveis áreas e monitorando-as.

Nesse contexto, as Ciências Geodésicas e as Geotecnologias, contribuem de forma singular para identificação e monitoramento de áreas de risco de deslizamento. A modernização das constelações de satélites dos sistemas globais de posicionamento (Global Navigation Satellite System - GNSS) e de técnicas de posicionamento geodésico, proporcionam melhoria na precisão e viabiliza novas aplicações. No Brasil, a Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, possui um serviço denominado RBMC-IP, que disponibiliza as correções de sinais de satélites GNSS em tempo real, de estações da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) via um protocolo de internet (IP). O objetivo principal do serviço RBMC-IP é corrigir a posição dos receptores móveis, com o uso da técnica de posicionamento RTK (Real Time Kinematic), via protocolo de internet NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol).

Estudos demonstram que o protocolo NTRIP, em locais onde a recepção de celulares encontra-se difundida, é um poderoso instrumento na execução de levantamentos GNSS, em tempo real, para diversos fins de mapeamento, bem como no controle e atualização destes, sendo uma alternativa à solução pós-processada. As vantagens vão desde a eliminação do conjunto base-móvel, à redução do tempo de execução dos levantamentos e à rapidez na obtenção dos resultados. Vantagens que incrementam significativamente a produção de informações espaciais, necessárias em análise e gestão do risco de deslizamentos.

Sob a ótica da Geotecnia e das Ciências Geodésicas a tese em desenvolvimento pretende demonstrar a viabilidade de utilização da técnica de posicionamento em epígrafe como incremento posicional de qualidade na determinação da vulnerabilidade física em área de risco de deslizamento.

Para fins dessa Tese consideram-se as definições da ISO 13000:2009 e ISSMGE.

- Os termos deslizamento e escorregamento, como sinônimos.
- Susceptibilidade à deslizamentos, refere-se a uma avaliação quantitativa ou qualitativa da classificação, volume (ou área) e distribuição espacial de deslizamentos que existem ou podem ocorrer potencialmente em uma área (Azevedo, 2015).

- Ameaça (A), refere-se a uma condição com o potencial para causar uma consequência indesejável.
- A consequência (C) de ocorrência de uma ameaça é função da vulnerabilidade (V) e do custo C, que representa o valor monetário do objeto sob ameaça.
- A vulnerabilidade refere-se ao grau de perda de um determinado elemento ou conjunto de elementos dentro da área afetada por uma ameaça e varia de 0 (sem perda) a 1 (perda total).
- O *risco* (R), é a combinação da frequência de ocorrência de uma determinada ameaça e as consequências (C) de sua ocorrência. Sendo intrínseca a vulnerabilidade, dada por:

$$R = P(A).C \quad (1.1)$$

## 1.2 - OBJETIVOS

Avaliar o desempenho do posicionamento GNSS, com técnica RTK via protocolo NTRIP, para determinação da vulnerabilidade física, quantitativa, em áreas de risco de deslizamento.

Como objetivos específicos serão tratados quatro assuntos essenciais:

- Identificar como o indicador da posição espacial, pode ser usado no cálculo da vulnerabilidade de estruturas e pessoas em área de risco de deslizamento.
- Aprofundar estudos e aplicações dos serviços de posicionamento em tempo real via protocolo NTRIP, efetivamente em áreas denominadas de risco de deslizamento.
- Disseminar o uso de técnica de posicionamento GNSS, RTK, via NTRIP, e o Serviço de disponibilização de correções dos sinais dos satélites GNSS, através da RBMC – IP.
- Apresentar uma opção de levantamento geodésico em áreas de risco de deslizamento, sem prejuízo da qualidade, auxiliando na tomada de decisão que requeiram ações imediatas, quer sejam intervenções preventivas e/ou corretivas.

### 1.3 - ESCOPO DA TESE

Esta tese encontra-se dividida em 7 capítulos, acrescida das referências bibliográficas e um apêndice com tabelas bibliográficas. O primeiro capítulo contextualiza o tema a ser versado na pesquisa, mostrando sua relevância e motivação, bem como na exposição dos objetivos a serem alcançados.

O segundo capítulo faz uma abordagem, dentro do contexto da revisão bibliográfica, sobre uma das áreas do conhecimento utilizada para o desenvolvimento da Tese: os movimentos gravitacionais de massa, seus tipos e classificação.

O terceiro capítulo aborda a temática da vulnerabilidade no modo qualitativo e quantitativo, seus conceitos e modelos existentes dirigidos a análise de estruturas e pessoas, em áreas susceptíveis a deslizamentos.

O quarto capítulo, ainda dentro do contexto da revisão bibliográfica, enfoca as ciências geodésicas, os sistemas globais de posicionamento por satélite, as técnicas de posicionamento, bem como os sistemas de transmissão de dados GNSS em tempo real, o protocolo NTRIP de transmissão de dados e finaliza com uma abordagem a rede brasileira de monitoramento contínuo – RBMC, de estações ativas.

O quinto capítulo é dedicado as ciências geodésicas aplicadas à Geotecnia, enfatizando o posicionamento GNSS aplicado a deslizamentos e experiência de trabalhos no âmbito internacional e nacional.

O sexto capítulo apresenta a área de estudo, características, histórico de deslizamentos e susceptibilidade ao risco na área de estudo. Analisa a cobertura de sinal de banda larga na e a disponibilidade de transmissão de correções de sinais de satélite por meio do protocolo NTRIP. O sétimo capítulo apresenta os resultados do levantamento geodésico, equipamentos utilizados e resultados do posicionamento GNSS RTK-NTRIP e topográfico, bem como resultados do posicionamento GNSS pós-processado e o comparativo entre os resultados obtidos e o resultado do uso de dados espaciais na determinação da vulnerabilidade e a influência das variáveis altura e distância, da estrutura em relação a ameaça (encostas). Outrossim, apresenta uma análise dos resultados obtidos, tanto para levantamento geodésico, quanto para o cálculo da vulnerabilidade.

O oitavo capítulo traz a conclusão da Pesquisa e recomendações para trabalhos futuros relativos à temática nesta abordada. Seguido das referências bibliográficas e apêndice com tabelas com resultados dos levantamentos.

## 2 - MOVIMENTOS DE MASSA

Movimentos de massa referem-se ao movimento de inclinação para baixo dos materiais terrosos, tais como regolitos ou rocha sólida sob a influência da gravidade, provocados por efeitos naturais ou antrópicos (Girty, 2009). A inclinação com relação à horizontal, determina a estabilidade. Podem ser diferenciados a partir do tipo de material envolvido e no modo do movimento, sendo subdivididos em movimentos de massa influenciados pela gravidade e movimentos de transporte de massa, quando o material é movimentado por um meio qualquer, como a água.

Conforme Nunes (2013), os movimentos de massa implicam em aumento da tensão cisalhante atuante, através dos fatores externos, ou em redução da resistência ao cisalhamento da massa, por fatores internos aos movimentos. Em tais configurações a resistência do regolito ao movimento de inclinação para baixo, é dependente da sua coesão e a sua resistência de atrito ao movimento. Quanto aos tipos, podem ser classificados ou denominados de várias formas, dependendo do objetivo do estudo, da aplicação a que se propõe e dos fatores analisados.

De acordo com Ortigão e Sayão (2004) citado em Nunes (2013), os sistemas de classificação de movimentos de massa são baseados em critérios que descrevem a cinética do movimento (velocidade, direção e sequência do deslocamento), tipo de material (solo, rocha, detritos e depósitos, destacando a sua estrutura, textura e conteúdo de água), geometria e modalidade de deformação do movimento.

A classificação dos movimentos de massas, considerando os sistemas, é objeto de proposição de vários autores. Uma abordagem sobre as diferentes classificações de movimentos de massa e as mais utilizadas, bem como os principais mecanismos envolvidos na sua ocorrência, é encontrada em Ahrendt (2005), que também ressalta o fato de que as classificações de Varnes (1958, 1978) (Figura 2.1) e Hutchinson (1968, 1988) se consagraram no meio científico, sendo as mais utilizadas em programas de pesquisa, assim como, utilizadas como base para outras classificações.

Quanto aos tipos de movimentos e material transportado, Varnes (1978) apresentou uma classificação que inclui movimentos extremamente lentos de solos ou rochas (rastejo) e movimentos de tombamento e expansão lateral, que não haviam sido definidos na classificação original. Uma classificação que agrupa os movimentos de massa encontrados no Brasil, quanto ao tipo, baseada em Varnes (1978), foi proposta por Augusto Filho (1992).

Tais classificações foram posteriormente revistas por Cruden & Varnes (1996), que optaram por seguir uma terminologia universal

Tipo de Movimento		Tipo de material		
		Substrato rochoso	Solos para engenharia civil	
			grossos	Finos
Quedas		de rochas	de detritos	de solos
Tombamentos		de rochas	de detritos	de solos
Esco- rrega- mentos	rotacional	poucas unidades deslizamento de rochas	deslizamento de detritos	deslizamento de solos
	translacional	muitas unidades de blocos rochosos	de blocos detritos	de blocos solo
Espalhamentos laterais		de rochas	de detritos	de solo
Escoamentos		de rochas(deep creep)	de detritos	de solo
Complexos		Combinação de dois ou mais tipos de movimentos		

Figura 2.1: Classificação simplificada de Varnes, 1958. (Adaptado de Ahrendt, 2005).

## 2.1 - TIPOS DE MOVIMENTOS DE MASSA

As descrições gerais a seguir, baseiam-se nos conceitos apresentados por Crudem & Varnes (1996) e abordagens destes em Ahrendt (2005), USGS (2004), Nunes (2011) e Godois (2011). A Fig. 2.2 mostra uma ilustração gráfica de um movimento de massa, com a terminologia comumente aceita para descrever suas características.

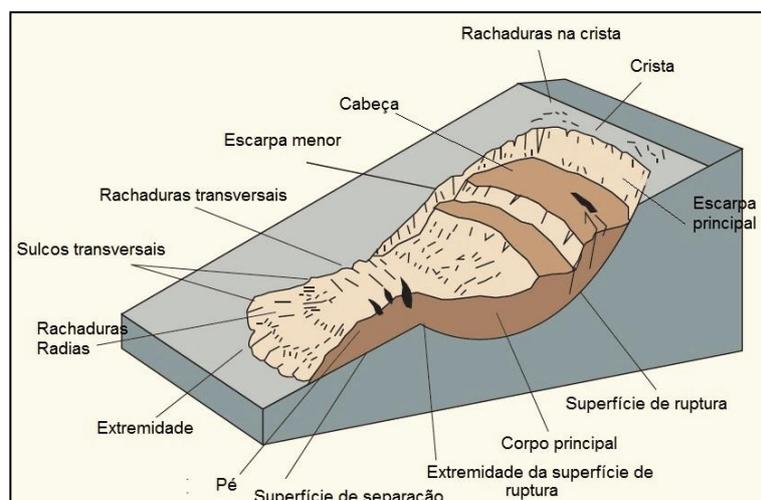


Figura 2.2: Um fluxo de terra idealizado, mostrando nomenclatura comumente usada para rotular as partes de um movimento de massa (Fonte: Adaptado de USGS, 2004).

### 2.1.1 - QUEDA

É um tipo de movimento de massa que consiste no desprendimento de material de encostas íngremes ou falésias, ao longo de discontinuidades tais como fraturas, articulações e planos de estratificações, bem como movimentos que ocorrem por queda livre, saltando e rolando (Figura 2.3). As quedas são fortemente influenciadas pela gravidade, desgaste mecânico e pela presença de água intersticial. Podem levar ao movimento de queda ou escorregamento, dependendo da geometria do terreno.



Figura 2.3: Movimento de massa tipo Queda (Fonte: USGS, 2004).

Conforme Ahrendt (2005), segundo as classificações vigentes, as quedas podem ser subdivididas em quedas de rocha ou solo, envolvendo destacamento de material intacto da rocha-mãe, sendo o processo de separação progressivo; e quedas de rocha ou matacões que se encontram destacados da rocha-mãe. No primeiro caso, o mecanismo que propicia a sua ocorrência é a pressão gerada pela penetração da água em fraturas ou discontinuidades presentes dentro do maciço rochoso. No segundo caso, a queda geralmente ocorre pelo enfraquecimento do material de sustentação do bloco.

Após o desprendimento do bloco, o tipo de movimento é geralmente determinado pela inclinação da encosta. Quando muito íngremes, o movimento predominante é a queda livre. Durante a queda livre, o bloco pode desenvolver movimentos de translação e/ou rotação, os quais influenciam a sua trajetória Azzoni et al.(1995) e Ritchie (1963) apud Nunes (2013). O bloco em rotação, ao entrar em contato com a superfície pode saltar em um sentido inesperado em relação aos movimentos precedentes.

Se a inclinação média da encosta é menor do que aproximadamente  $45^\circ$ , um bloco em salto muda gradualmente seu movimento para rolamento, ficando quase sempre com as arestas

de maior comprimento em contato com a superfície da encosta. Com o aumento da inclinação média, o bloco pode desenvolver movimentos de saltos ou queda livre. Caso contrário, o bloco continua a desenvolver movimentos de rolamento até a sua paralisação completa, devido à grande perda de energia por atrito com a superfície da encosta (Fig. 2.4). Outro fator determinante na trajetória de uma queda de bloco corresponde ao tipo de material de cobertura do talude, o qual pode variar consideravelmente desde a crista até a base do talude, além de variar para cada seção transversal da encosta (Nunes, 2013).

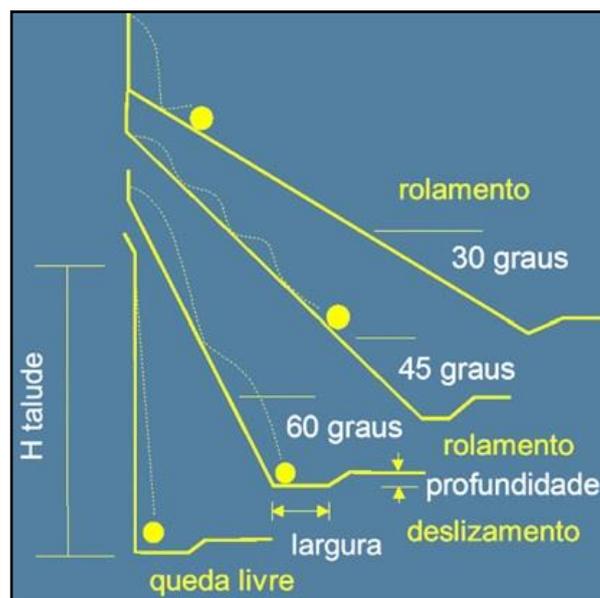


Figura 2.4: Tipos de movimentos de queda de blocos com a inclinação do talude (Fonte: Adaptado de FHWA (1993), citado em Nunes (2013)).

### 2.1.2 – TOMBAMENTOS

O movimento de tombamento é similar ao movimento de queda, exceto que ele envolve a rotação para frente e para fora da encosta, de um maciço de solo ou rocha, sobre um ponto ou eixo, abaixo do centro de gravidade da massa deslocada (Fig. 2.5). Os tombamentos podem culminar em queda ou escorregamento, dependendo da massa deslocada e da orientação e extensão das discontinuidades. São mais comuns em massas rochosas com discontinuidades verticalizadas ou sub verticais (Fig. 2.6).

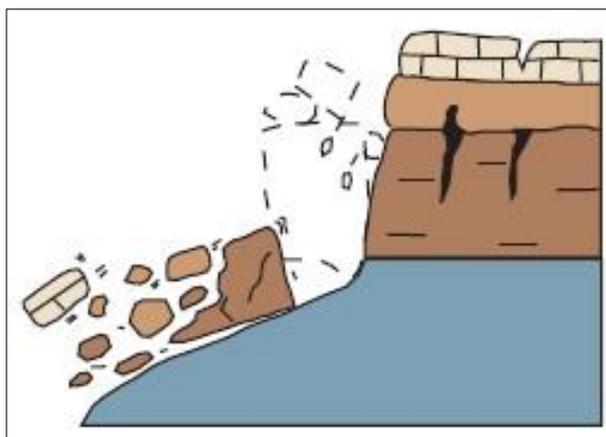


Figura 2.5: Movimento de massa tipo tombamento (Fonte: USGS, 2004).



Figura 2.6: Exemplo de Tombamento, no estado de Utah – USA (Fonte: Novotný, 2013).

De acordo com Nunes (2013), o tombamento pode ser uma instabilidade complexa, tendo em vista que diferentes mecanismos de ruptura podem ocorrer simultaneamente, tais como ruptura planar, em cunha ou queda de blocos.

### **2.1.3 - ESCORREGAMENTOS OU DESLIZAMENTOS**

Os escorregamentos são movimentos de massa descendentes, de solo ou rocha, que possuem uma superfície de ruptura bem definida. Embora muitos tipos de movimentos de massa estejam incluídos no termo geral de “escorregamentos”, o uso mais restrito do termo refere-se apenas a movimentos de massa onde há uma zona distinta de fraqueza que separa o

material decorrente do escorregamento, do material subjacente mais estável. Segundo Girty (2009), é um termo sinônimo para deslizamentos.

As superfícies de deslizamento podem ser visíveis ou razoavelmente inferidas ou ainda estar entre zonas relativamente limitadas. Estes movimentos podem ainda ser progressivos, ou seja, o cisalhamento pode não se iniciar sobre uma superfície de ruptura propriamente dita, mas propagar-se de uma ruptura localizada de pequena extensão (Ahrendt, 2005).

Conforme o MIC (2004), os escorregamentos podem ser induzidos, gerados pelas atividades antrópicas que modifica as condições naturais do relevo, por meio de cortes e aterros, lançamento concentrado de águas sobre as vertentes, estradas e outras obras, não considerando o meio. Também podem ser previstos, ou seja, se pode conhecer previamente onde, em que condições vão ocorrer e qual será a sua magnitude.

De acordo com Varnes (1978), os escorregamentos são divididos em rotacionais e translacionais.

#### **2.1.3.1 - ESCORREGAMENTOS ROTACIONAIS OU CIRCULARES**

É um escorregamento no qual a superfície de ruptura é curvada de modo côncavo para cima e o movimento do escorregamento é aproximadamente de rotação, em torno de um eixo que é paralelo à superfície do solo e transversal ao próprio escorregamento (Fig. 2.7). Segundo o MIC (2004), são comuns ocorrências de uma série de rupturas combinadas e sucessivas. Estando associadas a aterros, pacotes de solo ou depósitos mais espessos, rochas sedimentares ou cristalinas intensamente fraturadas. Possuem um raio de alcance relativamente menor que os escorregamentos translacionais (Figura 2.8).

No que tange ao mecanismo de ruptura, este escorregamento está relacionado à infiltração da água da chuva, variando de acordo com o tipo de material. Se o material é homogêneo, irá depender de suas propriedades hidráulicas e da relação entre a quantidade de água infiltrada e a resistência ao cisalhamento. Se o material é heterogêneo, a superfície de ruptura está condicionada às descontinuidades (Ahrendt, 2005).

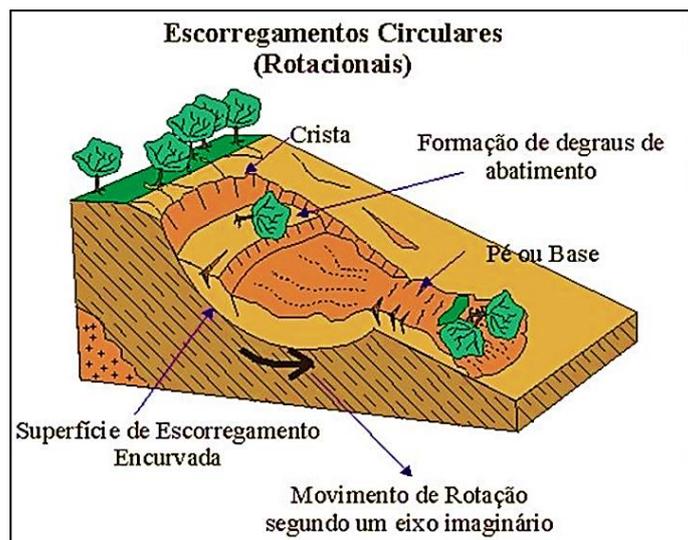


Figura 2.7: Movimento de massa do tipo Escorregamento Rotacional ou Circular (Fonte: Infanti Junior & Fornasari Filho, 1998).

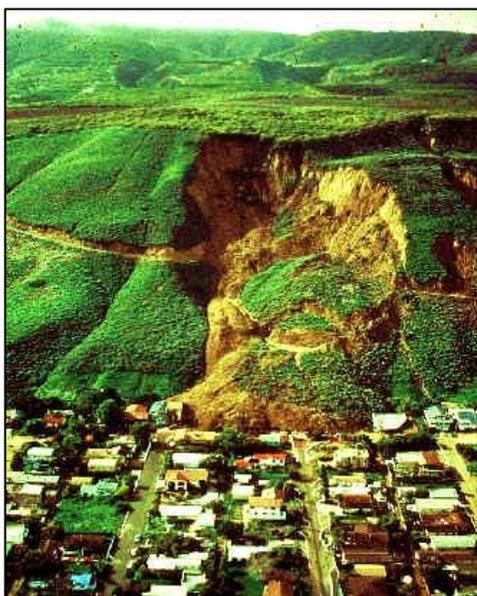


Figura 2.8: Exemplo de Escorregamento Rotacional, ocorrido em 1995, La Conchita – Ca - EUA (Fonte: Infanti Junior & Fornasari Filho, 1998).

### 2.1.3.2 - ESCORREGAMENTOS TRANSLACIONAIS OU PLANARES

São escorregamentos onde o material em movimento apresenta grande deformação, se rompe por cisalhamento e progride sobre uma superfície plana (Fig. 2.9). O principal mecanismo de ruptura está relacionado com a infiltração de água. Um deslizamento ou

escorregamento de bloco, é um tipo de escorregamento translacional em que o material consiste em uma ou algumas unidades individuais, que se movem de forma compacta de forma descendente (Fig. 2.10).

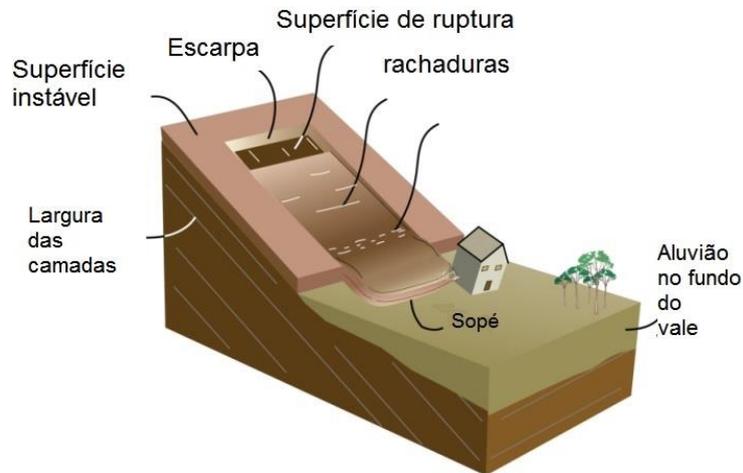


Figura 2.9: Movimento de massa do tipo Escorregamento Translacional (Fonte: Adaptado de Girty, 2009).

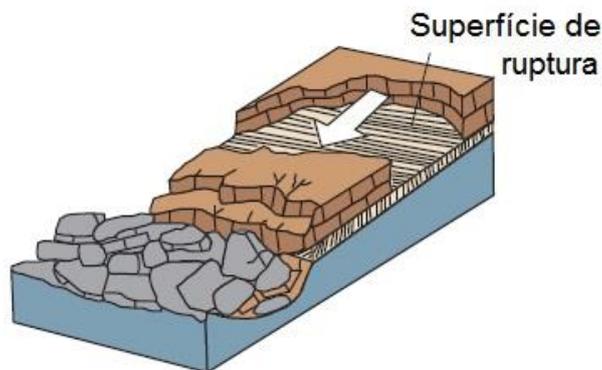


Figura 2.10: Movimento de massa tipo Escorregamento de Bloco (Fonte: USGS, 2004).

Os escorregamentos planares ou translacionais em solo são processos frequentes na dinâmica das encostas serranas brasileiras, ocorrendo predominantemente em solos pouco desenvolvidos das vertentes com altas declividades (Fig. 2.11). Sua geometria caracteriza-se por uma pequena espessura e forma retangular estreita (comprimentos bem superiores às larguras). Este tipo de escorregamento também pode ocorrer associado a solos saprolíticos, saprolitos e rocha, condicionados por um plano de fraqueza desfavorável à estabilidade, relacionado a estruturas geológicas diversas (MIC, 2004).



Figura 2.11: Exemplo de escorregamento translacional ocorrido em Ilha Grande – Angra dos Reis - RJ (Fonte: Foto: Custódio Coimbra – Jornal O Globo, registrada em 01/01/2010).

#### **2.1.4 - EXPANSÃO LATERAL**

Os movimentos de massa do tipo expansão lateral são característicos, porque eles normalmente ocorrem em declives muito suaves ou terrenos planos (Fig. 2.12). Conforme Varnes (1978), o modo dominante do movimento é de extensão lateral acompanhada por cisalhamento ou fratura por tração.

A falha é causada por liquefação, processo pelo qual materiais pouco coesos (em geral areia e lodos) são transformados de um sólido em um estado liquefeito. A falha é geralmente desencadeada por um movimento rápido do solo, como o experimentado em um terremoto, por exemplo, mas também podem ser induzidos de forma artificial. Quando o material denso, seja solo ou rocha, repousa sobre materiais que se liquefazem, as unidades podem sofrer fraturas e extensão e pode, então, diminuir, desintegrar-se ou liquefazer e fluir. A expansão lateral em materiais de grão fino em encostas rasas em geral é progressiva, a falha começa de repente em uma pequena área e se espalha rapidamente (Fig. 2.13).

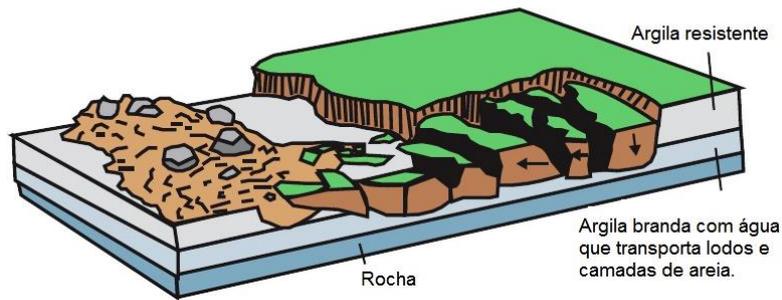


Figura 2.12: Movimento de massa tipo Expansão Lateral (Fonte: Adaptado de USGS, 2004).



Figura 2.13: Exemplo de expansão lateral ocorrida em Sunset Lake, Washington - USA, desencadeado por um terremoto. (Fonte: Adaptado de USGS, 2004).

### 2.1.5 - FLUXO

Fluxo é um movimento espacialmente contínuo onde as superfícies de tensão tangencial são transitórias e em geral não preservadas. A distribuição das velocidades no deslocamento da massa assemelha-se aos fluidos viscosos (WP-WLI, 1993). Existem cinco categorias de movimento de massa do tipo Fluxo, que diferem uma das outras em aspectos fundamentais.

### 2.1.5.1 - FLUXO DE DETRITOS

Um fluxo de detritos é um tipo de movimento de massa muito rápido, na qual uma combinação de solo solto, rocha, matéria orgânica, ar e água, se movem como uma pasta que flui de forma descendente, com concentração de sólidos entre 30 a 70% e menos de 50% materiais finos. São comumente causados pelo fluxo intenso das águas superficiais, devido à forte precipitação ou neve derretida rapidamente, que corrói e mobiliza a terra solta ou rocha em encostas íngremes ou ainda pela ação de sismos (Fig. 2.14), (Varnes & Cruden, 1996) & Nunes (2013).

Áreas que originam fluxo de detritos são frequentemente associados com barrancos íngremes, e os depósitos de detritos de fluxo são normalmente indicados pela presença de restos de detritos na foz dos barrancos. Incêndios que destroem a vegetação de encostas, intensificam a susceptibilidade destas aos fluxos de detritos.



Figura 2.14: Movimento de massa do tipo Fluxo de Detritos (Debris Flow)  
(Fonte: Adaptado de Girty, 2009).

De acordo com Nunes (2013), os fluxos de detritos estão entre os desastres naturais mais destrutivos que afetam as encostas, a vida humana e as infraestruturas, sendo uma ruptura catastrófica com velocidades que podem superar os 20 m/s e provocar danos de grande intensidade (Fig. 2.15). As principais características desse tipo de movimento, conforme Polaco (2010) citado em Nunes (2013), são de que o fluxo de detritos é uma onda larga de materiais sólidos e líquidos, misturados, que se movimenta de forma constante, podendo ser através de um canal, produzindo ondas menores, superpostas que se movimentam a velocidades superiores à do próprio fluxo. A deposição do fluxo pode ser de forma livre, quando há a

formação de leque ou cunha, depende da topografia; ou de forma canalizada, quando o depósito assume a forma de canal (Fig. 2.16).



Figura 2.15: Fluxo de detritos que atingiu a localidade de Campo Grande, no município de Teresópolis – RJ. (Fonte: Jornal Extra/Globo, publicada em 16/01/11, Foto: Pablo Jacob).

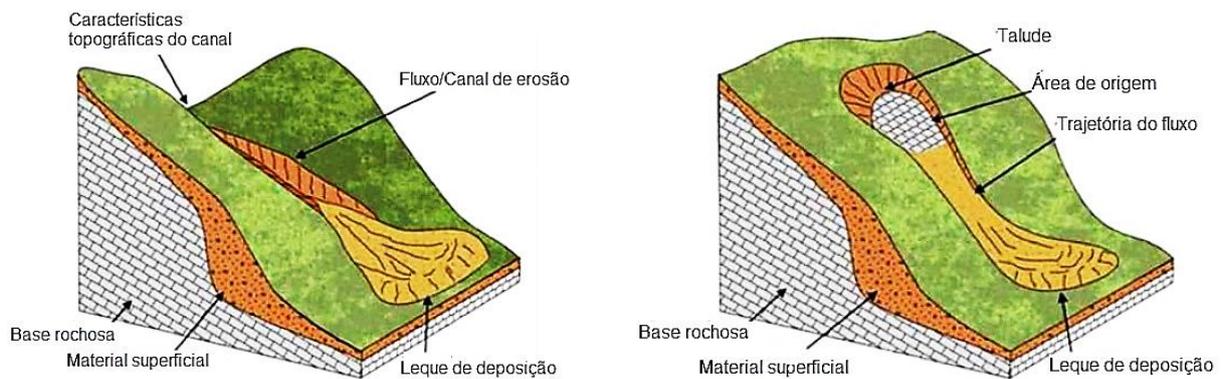


Figura 2.16: Fluxo de Detritos – Deposição Livre e Deposição canalizada (Fonte: Adaptado de Nunes, 2013).

### 2.1.5.2 - AVALANCHE DE DETRITOS

As avalanches de detritos (Fig. 2.17), são fenômenos de extremos de fluxo de detritos em uma velocidade superior a estes, variando de muito rápida para extremamente rápida, levando grandes volumes de materiais, devido ao colapso total das laterais de encostas, sendo comparadas com as avalanches de neve (Varnes, 1978 & Alvarado, 2006).

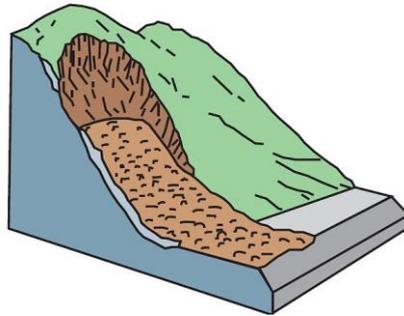


Figura 2.17: Movimento de massa tipo, Fluxo - Avalanche de Detritos (Fonte: Adaptado de USGS, 2004).

### 2.1.5.3 - FLUXO DE TERRA

Fluxos de terra possuem uma forma característica de ampulheta (Fig. 2.18). O material liquefeito da encosta rola por esta, formando uma bacia ou depressão na sua crista. O fluxo em si é alongado e geralmente ocorre em materiais de granulação fina, em declives moderados e sob condições de saturação. Entretanto, o fluxo de materiais não saturados também é possível (Varnes, 1978).

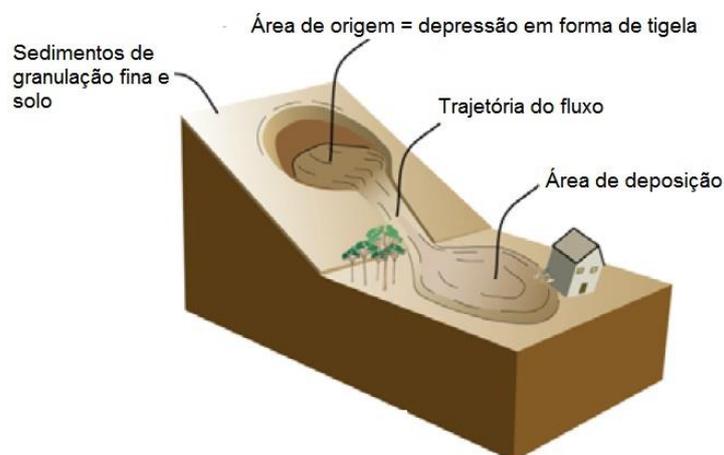


Figura 2.18: Movimento de massa Fluxo de Terra. (Fonte: Adaptado de Girty, 2009).

#### 2.1.5.4 - FLUXO DE LAMA (MUD FLOW)

Trata-se de um fluxo de terra consistindo de um material que é suficientemente saturado para fluir rapidamente e que contém, pelo menos, 50% de areia, silte e partículas de solo menores que 0,06 mm, cerca de 80%, em canal com alto teor de água e alta plasticidade ( $IP > 5\%$ ), enquanto no fluxo de detritos o tamanho das partículas (20-80%) é maior do que 2,00 mm. Fluxo de lama, em geral são mais rápidos do que fluxo de terra e os grãos mais finos do que o fluxo de detritos (Fig. 2.19), (Varnes, 1978, Girty, 2009 & Nunes, 2013).

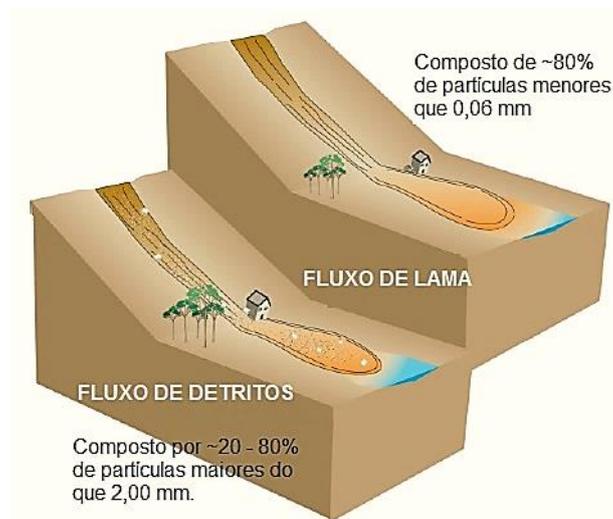


Figura 2.19: Movimento de massa Fluxo de Lama quando comparado ao fluxo de detritos com relação à composição do tamanho das partículas. (Fonte: Adaptado de Girty, 2009).

#### 2.1.6 - RASTEJO (CREEP)

É um tipo de escorregamento descendente, lento, constante e praticamente imperceptível do solo ou rocha. O movimento é causado por uma tensão de cisalhamento suficiente para produzir deformação permanente, mas ao mesmo tempo, muito pequena para produzir falha pelo cisalhamento (Fig. 2.20). Em geral, há três tipos de deformação por rastejo:

- a) Sazonal, onde o movimento é interno à profundidade do solo, que é afetado por mudanças sazonais de temperatura e umidade do solo.
- b) Contínuo, onde a tensão de corte seja contínua e exceda a força do material.

c) Progressiva, quando as encostas estão a ponto de atingir o estado de ruptura, associada com outros tipos de movimentos de massa.

A ocorrência pode ser identificada por meio da observação troncos de árvores curvadas, cercas ou muros de contenção inclinados, pequenas ondulações do solo ou cumes (cristas) (Fig. 2.21).

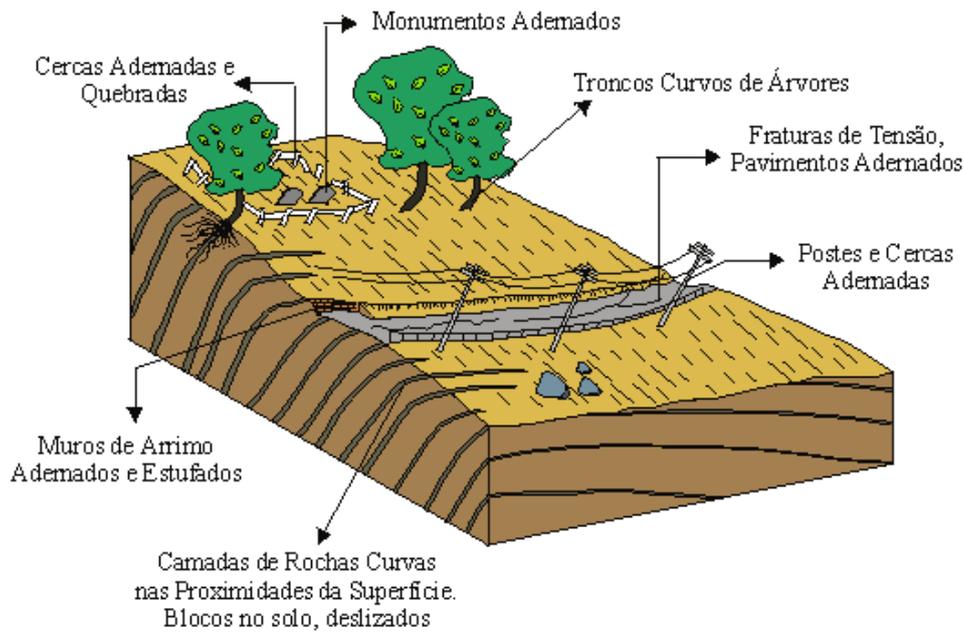


Figura 2.20: Esquema de movimento de massa do tipo rastejo. (Fonte: Infanti Junior e Fornasari Filho, 1998).



Figura 2.21: Áreas afetadas por movimento de rastejo, podendo-se notar o encurvamento dos troncos das árvores e ondulações em porções do solo e inclinação de cerca. (Fonte: Domínio público na Internet).

## 2.1.7 - COMPLEXOS

É a combinação de dois ou mais movimentos de massa em um mesmo evento (Fig. 2.22). Por exemplo um deslizamento por fluxo de terra com um fluxo de detritos de rochas.



Figura 2.22: Movimento de massa Complexo (Fonte: Novotný, 2013).

## 2.2 - VELOCIDADE DOS MOVIMENTOS DE MASSA

No que tange às velocidades, uma classificação foi apresentada por Varnes (1958), acrescida das unidades no sistema de mediadas SI (Sistema Internacional) pelo mesmo autor em (1978), que variam de acordo com o tipo de movimento de massa (Fig. 2.23).

$10^2$	Extrem. Rápido	3 m/s	Desmoronamentos
10	Muito. Rápido		
1		0.3 m/s	Escorregamentos
$10^{-1}$	Rápido		
$10^{-2}$		1.5 m/dia	Fluimentos
$10^{-3}$	Moderado		
$10^{-4}$		1.5 m/mês	
$10^{-5}$	Lento		
$10^{-6}$		0.3 m/ 5 anos	
$10^{-7}$	Muito Lento		
$10^{-8}$	Extrem. Lento		
$10^{-9}$			

Figura 2.23: Escala de velocidades de movimentos de massa, proposto por Varnes (1958). (Fonte: Godois, 2011).

Posteriormente Cruden & Varnes (1996) propuseram uma forma modificada das velocidades de movimento de massa, sendo as divisões ajustadas para aumentar em múltiplos de 100, por um ligeiro aumento no seu limite superior e um decréscimo em seu limite inferior. Os novos valores propostos, definiram uma provável significação destrutiva de sete escalas de velocidade (Melo Neto, 2005).

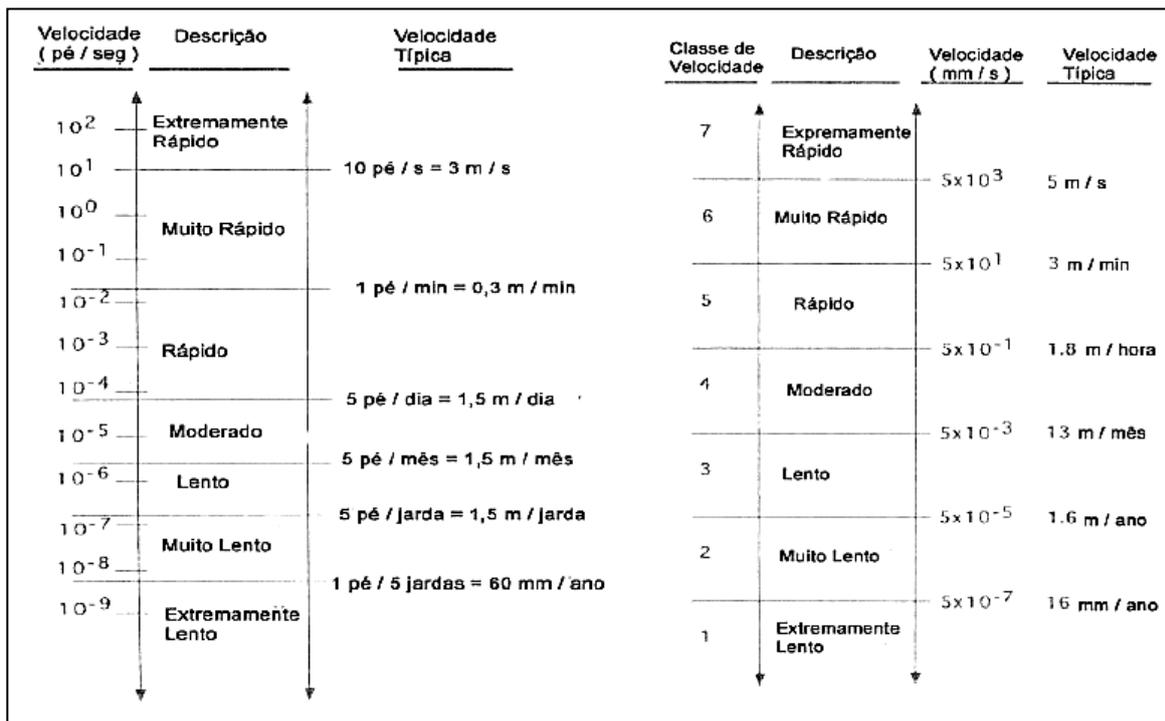


Figura 2.24: Escala de velocidades de movimentos de massa, proposto por Varnes, 1978 e escala de velocidades de movimentos de massa, proposto por Cruden & Varnes, 1996. (Fonte: Melo Neto, 2011).

### 3 - VULNERABILIDADE DO RISCO DE DESLIZAMENTO

Sob a ótica do risco decorrente dos movimentos de massa gravitacionais em encostas, a vulnerabilidade está associada aos elementos em perigo frente a possíveis ameaças.

A Sociedade Internacional de Mecânica do Solo e Engenharia Geotécnica - ISSMGE, classifica a vulnerabilidade como: o grau de perda de um determinado elemento ou conjunto de elementos dentro de uma área afetada por uma ameaça, cujo valor varia de 0 (sem perda) a 1 (perda total). Entendimento este também utilizado por Varnes e colaboradores do IAEG (1990). Wise et al. (2004), afirmam que a vulnerabilidade é uma medida da robustez do elemento (ou da fragilidade) e a sua exposição ao deslizamento (ou a proteção a partir deste). E que depende ainda, do tipo e da natureza, bem como do local e do momento do deslizamento. Para o ENSURE (2009), a vulnerabilidade diz respeito às consequências do impacto de uma força natural, e não ao o processo natural ou a própria força (intensidade) e na prática, vulnerabilidade e consequências são ligadas. Existindo, dessa forma, duas abordagens da vulnerabilidade: uma que é baseado nas ciências naturais e outra que é baseada nos métodos ou ciências sociais científicas. A primeira domina a literatura da engenharia, com ênfase na avaliação de riscos e seus impactos; neste caso é tratada como sendo a vulnerabilidade física dos elementos em riscos. A perspectiva das ciências sociais, coloca o sistema humano como centro, reduzindo sua capacidade para lidar com uma série de perigos, em vez dos impactos negativos, após um perigo específico.

Bonachea et al. (2009), entendem que mesmo sendo uma das variáveis necessárias para modelos de risco, a vulnerabilidade correspondente a uma determinada área ou tipo de movimento não podem ser extrapolados, em geral, para outros locais ou movimentos. Em geral, mesmo a maioria dos estudos sobre o tema, estarem de acordo sobre a forma de expressar vulnerabilidade (com valores entre 0 a 1), os critérios utilizados para a sua avaliação diferem entre si e são um tanto quanto subjetivos. Uma forma de lidar com a avaliação da vulnerabilidade é para expressar vulnerabilidade como uma relação entre o valor de cada elemento e o custo do dano produzido nele quando afetado por um deslizamento. Embora esta abordagem não seja muito simples, Bonachea et al. (2009), enfatizam que deve ser cuidadosamente aplicada, pois torna-se possível estimar vulnerabilidade numa base objetiva e empírica. Se os dados sobre os danos, produzidos em diferentes tipos de elementos por um número significativo de eventos de deslizamento de terra pode ser obtido, a vulnerabilidade pode ser estimada com um grau razoável de certeza, em escala regional. A vulnerabilidade para

diferentes cenários, pode ser gerada a partir da análise estatística dos deslizamentos de terra que ocorreram no passado e os danos que eles produziram. Obviamente, os melhores e mais abundantes dados sobre eventos passados, os mais realistas cenários e as previsões de perigo e risco mais confiáveis, serão derivados desta.

Historicamente, a vulnerabilidade de elementos em risco sempre foi avaliada sob o aspecto qualitativo; em alguns estudos, a avaliação inclui o aspecto quantitativo, sendo esta uma conotação relativamente moderna. Guzzetti e Galli (2007) ressaltam que apesar dos frequentes e generalizados danos causados às populações e ao ambiente construído, em decorrência de deslizamentos, pouco se sabe sobre a vulnerabilidade, o que limita a capacidade de determinação de deslizamentos. O método utilizado para a validação da vulnerabilidade, nesse contexto, pode variar para diferentes tipos de riscos e depende do tipo, da qualidade e quantidade de dados disponíveis (Burity, 2014).

Cuanalo et al. (2014), apresentam a vulnerabilidade classificada sob três aspectos: física, funcional e social, conforme a Tab. 3.1.

Tabela 3.1: Aspectos da Vulnerabilidade (Fonte: Cuanalo et al., 2014).

<b>Vulnerabilidade</b>	<b>Elementos em Risco</b>
<b>Física</b>	Pessoas Infraestrutura Recursos geográficos e naturais
<b>Serviços</b>	Transporte Comunicação Suprimentos de energia Utilitários Economia Comércio
<b>Social</b>	Estratégia social e medida de prevenção, redução e mitigação de desastres. Organização e comunidade resposta a uma contingência

Sob qualquer enfoque ou aspecto, a determinação da vulnerabilidade compõe uma base de variáveis para cálculo, análise e gerenciamento do risco deslizamentos.

No escopo dessa pesquisa, a vulnerabilidade é tratada conforme a classificação da ISSMGE.

### 3.1 - VULNERABILIDADE QUALITATIVA

A vulnerabilidade qualitativa define o grau de perda por meio de um indicador qualitativo que, dentro de uma classificação convencionada, permite sua associação a outros indicadores ou parâmetros (tipo de ameaça, custo monetário), de modo a classificar, por exemplo, a susceptibilidade a ocorrência de deslizamento em uma determinada área. Alto, médio e baixo, podem ser os valores resultantes da avaliação da vulnerabilidade qualitativa, indicando a intensidade de um deslizamento, ou ainda o grau de comprometimento em termos de danos à propriedade ou pessoas. Estes valores são decorrentes de informações pré-determinadas, associadas pela álgebra booleana em algoritmos próprios, que dão o indicativo de vulnerabilidade dos sistemas expostos ao deslizamento de forma qualitativa: estruturas, pessoas ou ambos. Outros qualificadores também podem ser usados, como por exemplo: superficial, funcional ou estrutural, indicando o dano às estruturas.

Cardinali et al. (2002), citado em ENSURE (2009), obtiveram estes valores a partir da associação entre intensidade do deslizamento, com tipo e consequência para estruturas, infraestruturas e população, sendo estes, elementos de risco (Tab. 3.2).

Wise et al. (2004), em uma análise qualitativa e quando há perda total e o dano é assumido, entendem que vulnerabilidade pode ser expressa pela probabilidade qualitativa da perda total ou estimativa do dano (estimativa da vulnerabilidade), como muito alta, alta, moderada, baixa e probabilidade muito baixa de perda total ou danos. E, quando há probabilidade de alguma perda ou o dano é assumido como certo, a vulnerabilidade pode ser expressa pela proporção de perda ou dano (estimativa da vulnerabilidade), tais como nenhuma perda ou dano, baixa perda ou dano, moderada perda ou dano, alta perda ou danos e perda ou dano total.

Um mapa de vulnerabilidade de deslizamento foi produzido por Kannan et al. (2013), no distrito de Theni, Tamil Nadu, Índia, a partir da sobreposição de 12 fatores temáticos (elevação, declividade, aspecto, plano de curvatura, perfil de curvatura, proximidade de rodovias, proximidade de feições, proximidade de rede de drenagem, uso e cobertura da terra, geologia, geomorfologia, escoamento) e inventário de pontos com frequentes deslizamentos. O mapa de vulnerabilidade de deslizamento foi classificado em cinco categorias: muito baixo, baixo, moderado, alto e muito alto (Fig. 3.1). Baseada na taxa de frequência das classes de

vulnerabilidade, 22,09% da área tem vulnerabilidade muito baixa; 20,97% da área, baixa; 23,05% área, moderado; 20,41%, alta e 13,48% da área possui categorias de vulnerabilidade muito alta (Tab. 3.3). Via de regra, os valores dos indicadores qualitativos, são definidos dependendo do objeto em análise e do objetivo a que se propõem.

Tabela 3.2: Exemplo de análise de vulnerabilidade qualitativa, usando para estimação do dano a estruturas. (Fonte: Cardinalli et al. (2002) citado em ENSURE (2009)).

INTENSIDADE DO DESLIZAMENTO		ELEMENTOS EM RISCO														
		Estruturas e Infraestruturas											POPULAÇÃO			
		EDIFICAÇÕES						RODOVIAS				OUTRAS				
		HD	ID	IN	FA	SP	C	MR	SR	FR	RW		Q	Direta	Indireta	Desabrigados
LEVE	Queda de bloco	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	Não	Não	Não
	Fluxo de detritos	A	A	A	A	A	A	A	F	F	A	A	A	Não	Não	Não
	Desmoronamento	A	A	A	A	A	A	A	F	S	A	A	A	Não	Não	Não
MÉDIO	Queda de bloco	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	Sim	Sim	Sim
	Fluxo de detritos	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	Sim	Sim	Sim
	Desmoronamento	F	F	F	F	F	F	F	S	S	F	F	F	Não	Sim	Não
ALTO	Queda de bloco	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	Sim	Sim	Sim
	Fluxo de detritos	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	Sim	Sim	Sim
	Desmoronamento	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	Não	Sim	Sim
MUITO ALTO	Queda de bloco	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	Sim	Sim	Sim
	Fluxo de detritos	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	Sim	Sim	Sim
	Desmoronamento	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	Não	Sim	Sim

Onde, A = Superficial ou Estético (pequenos danos); F = funcional (dano médio); S = estrutural (dano alto).

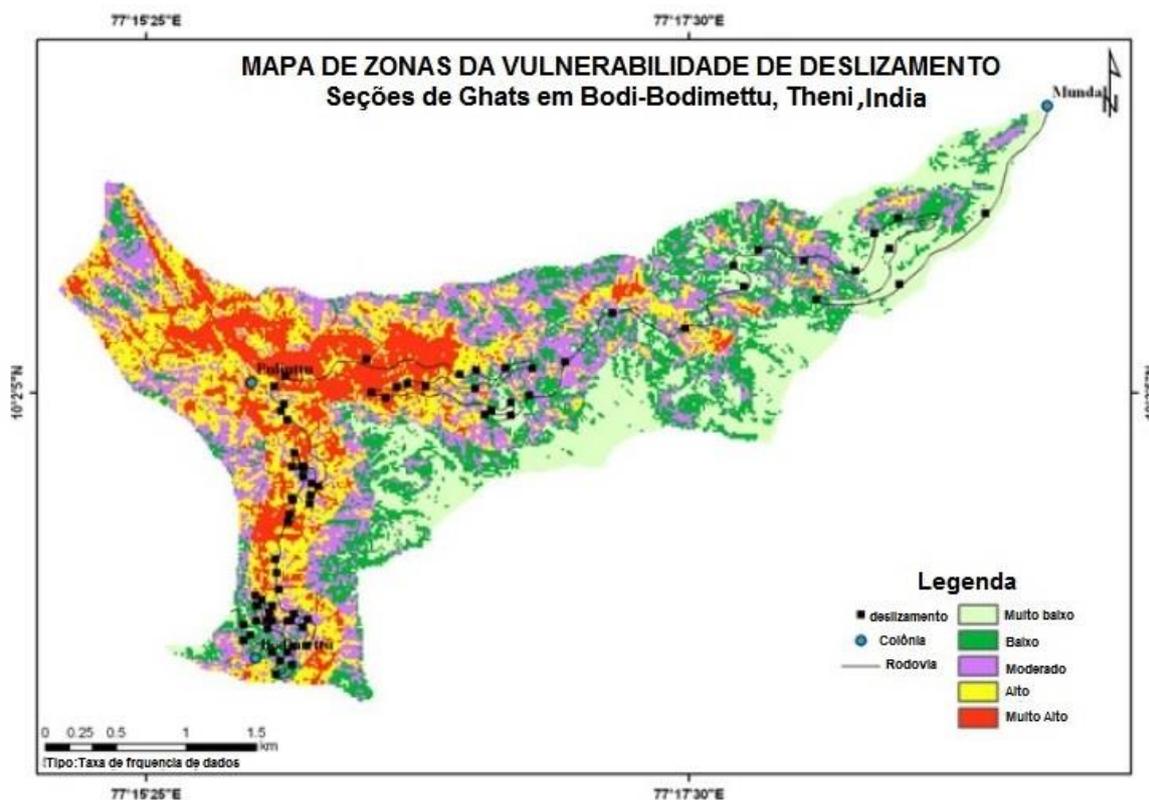


Figura 3.1: Mapa da vulnerabilidade de deslizamento com pontos do inventário de deslizamentos da área de estudo. (Fonte: Adaptado de Kannan et al., 2013).

Tabela 3.3: Categorias de vulnerabilidade, percentual de inventário de pontos e frequência de deslizamentos. (Fonte: Adaptado de Kannan et al., 2013).

<b>Índice da Classe de Vulnerabilidade</b>	<b>Área</b>	<b>Deslizamentos Inventariados</b>	<b>Taxa de frequência</b>
<b>Muito baixa</b>	22.09	2.27	10.28
<b>Baixa</b>	20.97	6.82	32.52
<b>Moderada</b>	23.05	11.36	49.28
<b>Alta</b>	20.41	34.09	167.03
<b>Muito Alta</b>	13.48	45.45	337.17

### 3.2 - VULNERABILIDADE QUANTITATIVA

Trata-se de uma abordagem considerada moderna que usa a modelagem estocástica na determinação da vulnerabilidade. Segundo Das (2011), a vulnerabilidade de um elemento em risco de deslizamento é um evento espaço-temporal e pode ser quantificado usando modelagem estatística. Alguns pesquisadores têm desenvolvido modelos com enfoque quantitativo, pois entendem que este método traduz efetivamente o valor da vulnerabilidade, à medida que o quantifica. É uma representação mais realística em que a intensidade, quer seja do deslizamento em si, do dano à estruturas, à infraestruturas ou à pessoas, é tangível.

Relações empíricas são estabelecidas a partir de dados, obtidos em um banco de dados confiável ou em levantamentos de campo, que podem através de modelos estatísticos, indicar a vulnerabilidade do elemento a deslizamentos.

Kaynia et al. (2008) comentaram que o método FOSM (First-Order Second-Moment) foi utilizado em uma proposta para determinação da vulnerabilidade na aldeia Baden-Wüttemberg, em Lichtenstein, Alemanha. Esta metodologia permitiu a quantificação das incertezas a partir dos parâmetros de entrada, até a obtenção das estimativas de vulnerabilidade.

As variáveis que constituem modelos de determinação da vulnerabilidade são definidas em função do tipo de risco ao qual estão submetidos os elementos, dessa forma também sob o enfoque quantitativo, não existe um modelo único para a determinação da vulnerabilidade de deslizamentos. Trata-se de uma atividade complexa, considerando que os deslizamentos

ocorrem em diferentes locais e possuem distintas escalas de intensidade. Existirá a incerteza das incógnitas, ou seja, uma probabilidade de ocorrência de eventos, conforme apresentado na Tab. 3.4.

Tabela 3.4: Exemplo de avaliação da vulnerabilidade quantitativa a deslizamentos para pessoas, construções e rodovias - incertezas desconhecidas. (modificado de Michael-Leiba et al. (2003), citado em ENSURE (2009)).

<b>UNIDADE</b>	<b>Vulnerabilidade de pessoas residentes</b>	<b>Vulnerabilidades de prédios</b>	<b>Vulnerabilidade das rodovias</b>
<b>Em encostas</b>	0.05	0.25	0.3
<b>Unidades próximas suscetíveis ao fluxo de detritos</b>	0.9	1.0	1.0
<b>Unidades distantes suscetíveis ao fluxo de detritos</b>	0.05	0.1	0.3

Uzielli et al. (2008), enfatizam que para riscos naturais, a análise quantitativa é preferível à análise qualitativa, sempre que possível, uma vez que permite uma saída de forma mais explícita, objetiva e uma melhor base para a comunicação entre as várias categorias envolvidas na técnica e tomada de decisão política.

Remondo et al. (2008), realizaram uma avaliação da vulnerabilidade de diferentes elementos (infraestrutura, uso da terra e construções), analisando com detalhes, danos ocorridos no período de 50 anos, em deslizamentos com quaisquer magnitudes ou intensidades. Montaram um inventário a partir de pesquisas de campo, entrevistas em instituições públicas e privadas, municípios, transporte e departamento de finanças, seguros e empresas de construção no tocante aos danos ocorridos, obtendo uma matriz com esses valores e estimando a vulnerabilidade de cada elemento com base na perda total do elemento em risco, de um tipo particular, mediante custo desse elemento em risco. Dessa forma obtiveram um dos parâmetros para obtenção de um modelo quantitativo de suscetibilidade a deslizamentos.

A vulnerabilidade física para construções e estruturas, na cidade de Arequipa, Peru foi avaliada por Thouret et al. (2014), que incorporaram dados de imagens de sensores remotos e levantamento de campo, a um sistemas de informações geográficas, como um passo para o cálculo do risco dessas estruturas à inundações, considerando idade, material de construção, uso e características estruturais das estruturas. O mapeamento da vulnerabilidade levou-os a

identificar as áreas estratégicas em caso de inundações ou fluxos vulcânicos destrutivos futuros. Examinando critérios estruturais sozinhos, vulnerabilidade calculada foi alta. A análise estatística realizada em 3.015 blocos da cidade, considerando-se nove critérios identificados a partir de imagens de HSR (High Spatial Resolution), indicou que a heterogeneidade do tipo de construção e a forma dos blocos da cidade, juntamente com a construção e densidade da rede rua, formam a maioria dos parâmetros discriminantes para avaliar a vulnerabilidade.

Ganapathy & Rajawat (2015), utilizaram uma abordagem quantitativa, com mapas de vulnerabilidade e perigo, advindos de técnicas de Sensoriamento Remoto e GIS (Geographical Information System), para compor um planejamento de cenários de deslizamentos que ocorreram em Nilgiris, Índia. Foi criado um banco de dados espacial com histórico de deslizamento de terra em uma área de estudo, sendo observado que a parte oriental da área de estudo era mais propensa a deslizamentos de terra, tomando-se como referência a quantidade de instalações vulneráveis expostas ao perigo. Para a análise de vulnerabilidade do território, classificaram os elementos críticos em duas categorias a saber, instalações essenciais e instalações com alto potencial de perda. Os resultados indicaram que dentre os 36 utilitários na área de estudo, cerca de 65% instalações eram críticas e 36% do transporte e de linha de vida utilitários eram altamente vulneráveis à ameaças deslizamento de terra. O estudo, nesse contexto, pode ser usado como uma primeira informação para os tomadores de decisão e planejadores nas áreas propensas a deslizamento de terra da região de estudo.

### **3.3 - MODELOS DE VULNERABILIDADE**

Quer sejam sob o aspecto qualitativo ou quantitativo, muitos pesquisadores têm buscado um modelo de determinação da vulnerabilidade que traduza a realidade e seja eficaz na avaliação do risco de deslizamentos. Essas análises e modelos propostos, como já foram mencionados, são invariavelmente únicas, dependendo do caso e em alguns se adequando um modelo existente, mas nunca usando o mesmo em todas as suas variáveis.

Na modelagem para determinação da vulnerabilidade são consideradas, entre outras, as variáveis de susceptibilidade dos elementos em risco, intensidade do deslizamento, capacidade de resistência do elemento, sendo estas associadas ou não.

Uzielli et al. (2008), propuseram um modelo para o cálculo da vulnerabilidade baseado em estimativa quantitativa, do ambiente construído e deslizamento, considerando que a intensidade

do deslizamento (I) e a suscetibilidade de elementos que são vulneráveis (S), tais como: estrutura, manutenção, pessoas, pessoas em prédios, pessoas em locais abertos, entre outros, são diretamente proporcionais à vulnerabilidade (V) desses elementos. Ou seja,

$$V = I \times S \quad (3.1)$$

A intensidade e susceptibilidade são expressos em termos adimensionais com valores entre 0 e 1, logo o parâmetro da vulnerabilidade, segundo a Eq. 3.1, varia de 0 a 1, seguindo o que preceitua a ISSMGE.

Li et al (2010), estabeleceram um novo modelo quantitativo para a vulnerabilidade das estruturas (V) e das pessoas, com base na intensidade (I) do deslizamento, associado aos elementos expostos e da resistência destes (R):

$$V = f(I, R) = \begin{cases} 2(I^2/R^2) & I/R \leq 0.5 \\ 1.0 - (2(R-I)^2/R^2) & 0.5 \leq I/R \leq 1.0 \\ 1.0 & I/R > 1.0 \end{cases} \quad (3.2)$$

Além do modelo apresentado na Eq. 3.2, foi sugerida uma função aproximada para estimar a vulnerabilidade de pessoas em estruturas, baseada em dados estatísticos.

Este modelo será tratado de modo mais enfático no decorrer deste estudo, pois será a base para o cálculo da vulnerabilidade.

Neste modelo, a intensidade deslizamento é uma função da velocidade e profundidade dos detritos de um deslizamento ou da deformação das estruturas devido ao deslizamento. A resistência reflete a capacidade de elementos expostos em suportar determinada intensidade e à pessoas, ela representa a capacidade resistir e de tomar a melhor decisão numa situação de risco.

A Fig. 3.2 mostra a tendência da vulnerabilidade em função do quociente da intensidade pela resistência. Tanto quanto maior esse quociente, maior a vulnerabilidade dos elementos expostos: maior intensidade e menor resistência. A Fig. 3.3 indica que a mesma intensidade, resulta em danos bastante diferentes dos elementos expostos. Alguns podem ser destruídos devido à baixa resistência: mais vulneráveis à menores intensidades.

No modelo descrito acima, a intensidade e a resistência são definidas de tal modo que quando a intensidade é igual à metade da resistência de um elemento, o valor esperado de vulnerabilidade é 0,5. Note-se que o valor de intensidade e resistência pode ser maior do que 1,0 (Li et al., 2010).

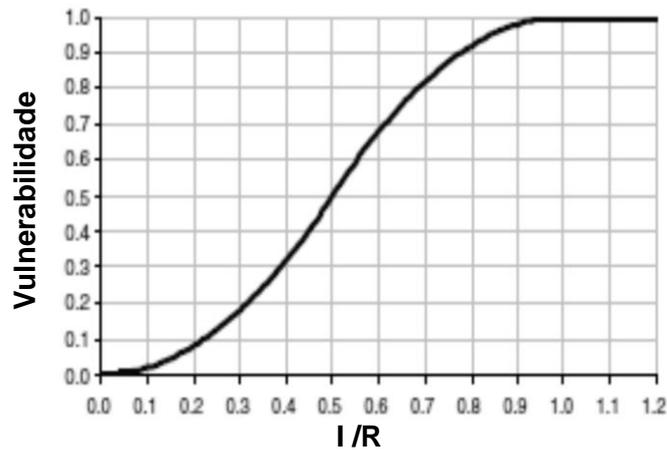


Figura 3.2: Tendência da vulnerabilidade com o quociente I/R. (Modificado de Li et al., 2010).

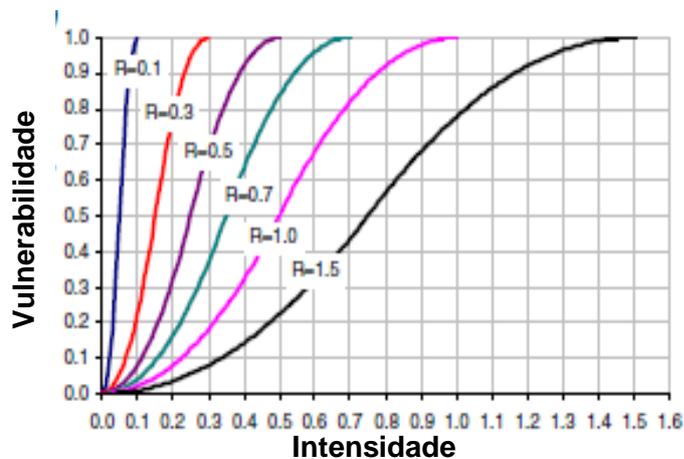


Figura 3.3: Tendência da vulnerabilidade em termos de diferentes valores de intensidade. (Modificado de Li et al., 2010).

Nesta proposta a intensidade ( $I$ ) é definida em função de fatores dinâmicos ( $I_{\text{din}}$ ) e geométricos ( $I_{\text{gem}}$ ):

$$I = f(I_{\text{din}}, I_{\text{gem}}) \quad (3.3)$$

Ao fator de intensidade dinâmica, é associado o fator de profundidade de detritos ( $I_{dpt}$ ), usado para avaliar elementos externos a áreas em deslizamentos rápidos; e, para estruturas que estão dentro da área do deslizamento, em um deslizamento lento, é associado o fator de deformação de detritos ( $I_{dfm}$ ):

$$I = \begin{cases} I_{din} * I_{dt} \\ I_{din} * I_{dfm} \end{cases} \quad (3.4)$$

A intensidade dinâmica ( $I_{din}$ ) é calculada em função da velocidade do deslizamento, obedecendo a critérios de intensidade diferentes, se elementos são ou não são estacionários (estruturas, ambiente, pessoas ou veículos). Os autores citam que em Crudes e Varnes (1996), a velocidade de um deslizamento com significância destrutiva deve estar em torno de 5,0 m/s, que é a velocidade de uma pessoa correndo. Considerando que a velocidade de um deslizamento é muito maior, a fuga seria improvável. Dessa forma para o modelo proposto, os autores consideram que a intensidade dinâmica é igual a 1.0, para pessoas, se a velocidade do deslizamento for da ordem de 5 m/s; e igual a 0, se a velocidade do deslizamento for da ordem de  $5 \times 10^{-1}$  mm/s (fuga muito provável).

Para as estruturas, se a velocidade do deslizamento for maior do que  $5 \times 10^{-1}$  mm/s, elas seriam destruídas ou a funcionalidade ou ainda, a facilidade de manutenção daquelas, poderia ser perdida. O limite mínimo da velocidade de deslizamento seria de  $5 \times 10^{-7}$  mm/s, abaixo do qual várias estruturas sob o deslizamento de terra permaneceriam intactas. O modelo propõe, nesse contexto, um fator de intensidade dinâmica separadamente para estruturas e pessoas:

$$I_{dyn-s} = \begin{cases} 0,00 & C \leq 5 \times 10^{-7} \text{ (mm/s)} \\ 1/36(\log_{10} C + 6,30)^2 & C > 5 \times 10^{-7} \text{ (mm/s)} \end{cases} \quad (3.5)$$

$$I_{dyn-p} = \begin{cases} 0,00 & C \leq 5 \times 10^{-1} \text{ (mm/s)} \\ 1/16(\log_{10} C + 0,30)^2 & C > 5 \times 10^{-1} \text{ (mm/s)} \end{cases} \quad (3.6)$$

Onde  $I_{dyn-s}$  e  $I_{dyn-p}$  são fatores de intensidade dinâmica para estruturas e pessoas em espaço aberto, respectivamente;  $C$  é a velocidade média de deslizamento de massa (em mm/s). A velocidade pode ser estimada utilizando método empírico, analítico simplificado, ou métodos de simulação numérica. As Fig. 3.4 e 3.5 mostram a relação entre a velocidade e a intensidade dinâmica, de estruturas e pessoas, respectivamente.

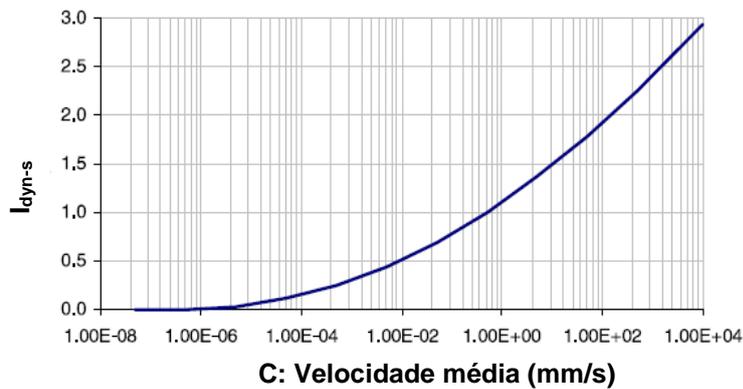


Figura 3.4: Fator de intensidade dinâmica para estruturas (Modificado de Li et al., 2010).

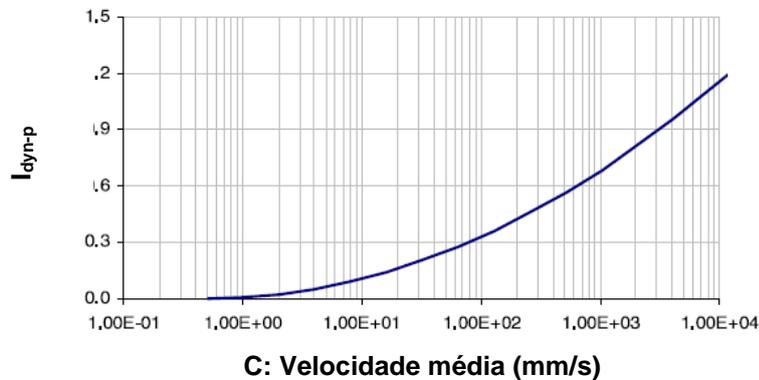


Figura 3.5: Fator de intensidade dinâmica para pessoas em espaço aberto (Modificado de Li et al., 2010).

Segundo Li et al. (2010), o fator de intensidade geométrica ( $I_{gem}$ ) tem importância para as características associadas ao tamanho dos elementos ou deslizamentos de terra, considerando que a posição espacial ou a proximidade tem grande impacto sobre a vulnerabilidade dos elementos em risco, especialmente para estruturas. Para estruturas externas ao deslizamento, estas podem ser atingidas por blocos de rocha ou fluxos de detritos, que possuam velocidade elevada. Para as estruturas que estão se deslocando à velocidade baixa, estas podem ter falhas

estruturais e operacionais devido a assentamento diferencial ou deslocamento absoluto. No estudo desenvolvido, introduziram então, dois fatores de intensidade geométrica: o fator de profundidade de detritos ( $I_{dpt}$ ) e o fator de deformação de estruturas ( $I_{dfm}$ ).

O fator de profundidade de detritos é utilizado para avaliar as estruturas externas, em caso de um deslizamento rápido, considerando que a vulnerabilidade da estrutura está relacionada com a profundidade da fundação. A profundidade de detritos reflete a intensidade, e a profundidade da fundação reflete a capacidade de resistência de uma estrutura. Estruturas com fundação profunda tem, em geral, maior capacidade de resistência.

$$I_{dpt} = 0,1 \times D_{dpt} \quad (3.7)$$

O modelo da Eq. 3.7, foi proposto para o cálculo do fator de profundidade de detritos, onde  $D_{dpt}$  é a profundidade dos detritos (em metros), no local da estrutura atingida pelo deslizamento. Segundo Li et al. (2010), de certa forma, o fator de profundidade de detritos e o fator de intensidade dinâmica de um deslizamento, podem refletir a energia de impacto de um deslizamento. A Tab. 3.5 resume os valores de vulnerabilidade para as estruturas com diferentes profundidades da fundação, dependendo da profundidade dos detritos prevista para um deslizamento.

Tabela 3.5: Indicativo de vulnerabilidade para diferentes profundidades de fundações. (Modificado de Ragozin e Tikhvinsky (2000) citado em Li et al., 2010).

Profundidade da fundação (incluindo estacas), em metros	Profundidade de detritos do deslizamento	Vulnerabilidade
< 2	< 2	1.0
> 2	< 2	0
Inferior à profundidade do deslizamento	2 - 10	1.0
10 - 13	2 - 10	0.5 – 1.0
> 13	2 - 10	0.0 – 0.5
Outra	> 10	1.0

$$I_{dm} = \frac{D_S}{D_{S,T}} \quad (3.8)$$

O fator de deformação de estruturas é definido pela relação entre o índice de deslocamento da estrutura ou fundação ( $D_s$ ) e o limite deste mesmo índice, ( $D_{ST}$ ), com a mesma unidade apresentado na Eq. 3.8.

Para valores acima do  $D_{s,T}$ , danos estruturais completos ou perda da funcionalidade podem ser esperados. Estruturas, em uma área instável, podem ter falha estrutural devido a assentamentos diferenciais, movimentos ou mesmo falha operacional; por exemplo, quando a inclinação ou assentamento de um edifício excede um valor aceitável, mesmo se rachaduras são observadas. O valor limite pode ser atribuído a partir de modelos teóricos, utilizando os dados disponíveis ou com base na experiência.

No que tange à resistência ( $R$ ), para o estudo em epígrafe, esta reflete a capacidade dos elementos vulneráveis em resistir a uma ação deslizamento de um dado grau de severidade. Para as pessoas, ela representa a resistência e capacidade de evacuação de uma área atingida por um deslizamento. Para estruturas, é um indicador da resiliência física a uma ameaça de deslizamento.

A resistência, então é definida como uma função de diferentes fatores de resistência:

$$R = \left( \prod_{i=1}^{n_s} \xi_i \right)^{\frac{1}{n_s}} \quad (3.9)$$

Onde,  $\xi_i$  é o  $i$ -ésimo termo do fator de resistência para  $n_s \geq 1$  (expresso em termos adimensionais) que contribuem para a definição de diferentes categorias.

Para estruturas, o fator de resistência considera os materiais de construção da estrutura de suporte de carga vertical; altura (representado pelo número de pisos), a idade (estado de manutenção) e a profundidade da estrutura fundação, porque influencia muito na resistência das estruturas. Logo, a resistência das estruturas pode ser quantificada como se segue:

$$R_{str} = \left( \xi_{sfd} \cdot \xi_{sty} \cdot \xi_{smn} \cdot \xi_{sht} \right)^{1/4} \quad (3.10)$$

Onde,  $\xi_{sfd}$ ,  $\xi_{sty}$ ,  $\xi_{smn}$  e  $\xi_{sht}$  são fatores de resistência de profundidade da fundação, tipo de estrutura, estado de manutenção e altura, respectivamente. O valor do fator de resistência do estado de manutenção pode ser atribuído de forma subjetiva, após avaliação qualitativa do estado atual dos edifícios expostos ao perigo de desmoronamento.

$$\xi_{sf\acute{a}} = \left(\frac{D_{fod}}{10}\right)^{(1/3)} + 0.05 \quad (3.11)$$

Para a profundidade de fundação, sugeriu-se a Eq. 3.11, de acordo com os dados a partir de Ragozin e Tikhvinsky (2000), onde  $D_{fod}$  é a profundidade de fundação (em metros) de uma estrutura. Para tipologia estrutural, Li et al. (2010), citam que Heinimann (1999) identificou seis categorias de estruturas em termos de vulnerabilidade a deslizamentos de terra. Cada uma destas categorias pode ser considerada como tendo diferentes respostas ao deslizamento de detritos. O fator tipologia estrutural pode ser atribuída subjetivamente como mostrado na Tab. 3.6.

Tabela 3.6: Valor proposto para o fator de tipologia estrutural (Modificado de Li et al., 2010).

<b>Tipo de estrutura</b>	<b>Nome da área</b>	<b><math>\xi_{sty}</math></b>
<b>Estruturas leves (construção de madeira)</b>	LT	0.10
<b>Estruturas leves</b>	LS	0.20
<b>Estruturas mistas (concreto e madeira)</b>	MS	0.40
<b>Alvenaria e concreto</b>	BC	0.80
<b>Concreto reforçado</b>	RC	1.30
<b>Reforçado</b>	RF	1.50

Quanto ao objetivo de expressar o estado de manutenção, cinco classes foram identificadas de modo a permitir a mudança no provável desempenho dos edifícios (Tab. 3.7), considerando ainda que a altura é significativa para a sua resposta ao deslizamento de detritos. Quatro faixas de altura distintas foram propostas (como mostrado na Tab. 3.8).

Tabela 3.7: Valor proposto para o fator de resistência do estado de manutenção de estruturas (Modificado de Li et al., 2010).

<b>Estado de manutenção</b>	<b>Nome da área</b>	<b><math>\xi_{smn}</math></b>
<b>Muito pobre</b>	VP	0.10
<b>Pobre</b>	P	0.40
<b>Médio</b>	M	0.80
<b>Boa</b>	G	1.20
<b>Muito boa</b>	VG	1.50

Tabela 3.8: Valor proposto para o fator de resistência da altura  
(Modificado de Li et al., 2010).

Altura	Nome da área	Número de pavimentos	$\xi_{sht}$
Pavimento simples	S	1	0.10
Prédio baixo	L	2	0.40
Prédio médio	M	3, 4,5	0.90
Prédio alto	H	6 +	1.50

Para uma pessoa ou indivíduo em risco, a resistência representa a habilidade de resistir e evacuar quando confrontado com um deslizamento. É óbvio que os diferentes grupos de seres humanos têm potenciais diferentes de enfrentamento. Acredita-se que a resistência pode ser uma função da maturidade intelectual e capacidade física (Uzielli et al., 2008). No estudo, a idade foi utilizada para estimar a capacidade física. O conhecimento da consciência de prevenção de riscos pode ser considerado como o indicador intelectual da maturidade de escapar do perigo. Sistemas de alerta prévios, também afetam a vulnerabilidade das pessoas (Fell e Hartford, 1997). A proposta para o fator de resistência para pessoas em espaço aberto e veículos, é dada por:

$$R_{per} = (\xi_{phy} \cdot \xi_{kng})^{1/2} \quad (3.12)$$

Onde,  $\xi_{phy}$  é o fator físico e  $\xi_{kng}$  é o fator de conhecimento. O fator físico reflete a capacidade física para resistir à intensidade de um deslizamento de terra. O fator de conhecimento representa a maturidade intelectual de fugir do perigo.

Li et al. (2010), enfatizam vários estudos que consideravam a idade das pessoas, em diversos eventos (terremotos, tufões, inundações, deslizamentos, entre outros) que necessitavam de uma resposta rápida destas, para que sobrevivessem.

$$\xi_{phy} = 0.95 - 0.00486 \left[ INT \left( \frac{a}{5} \right) - 5 \right]^2 \quad (3.13)$$

Dessa análise, o fator físico pôde ser expresso como uma função polinomial quadrática dos grupos etários, Eq. 3.13, onde o fator físico de pessoas com mais de 85 anos foi considerado

como sendo de 0,25 e que entre 25 e 29 anos, como sendo de 0,95. Onde  $a$  é a idade e  $\text{INT}()$  é o número inteiro, com arredondamento para baixo. A Fig. 3.6 mostra o fator físico em diferentes faixas etárias.

Para os fatores de conhecimento, a consciência da prevenção de riscos é muito importante. Se um sistema de aviso é instalado e não há tempo suficiente para fazer a evacuação, as pessoas podem ser capazes de escapar de um deslizamento ou, pelo menos, chegar a lugares seguros (Fell e Hartford, 1997 citado em Li et al., 2010). A resistência é significativamente aumentada. Se consciência para prevenção ao deslizamento é pobre ou não há um sistema de aviso prévio, a resistência pode ser muito baixa. A Tab. 3.9 mostra alguns valores propostos para o fator conhecimento.

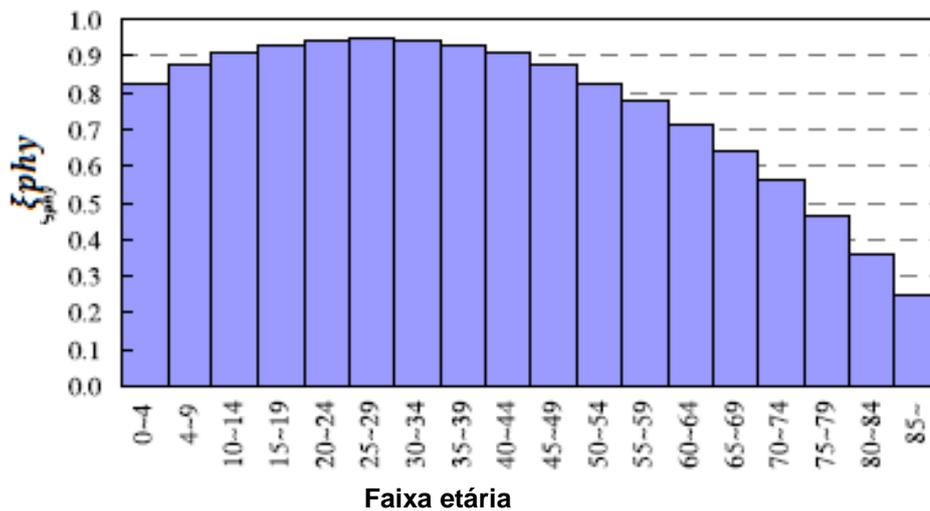


Figura 3.6: Fator físico para diferentes faixas etárias (Modificado de Li et al., 2010).

Tabela 3.9: Exemplo do fator de resistência para consciência da prevenção do risco (Modificado de Li et al., 2010).

Consciência da prevenção à deslizamento	ξ <sub>kng</sub>
Ruim	0.25
Médio	0.60
Forte	0.95

$$V_{p-s} = 0.0014 \cdot e^{6.07V_{str}} \quad (3.14)$$

À luz de estudos conduzidos por Finlay (1996) e Ragozin e Tikhvinsky (2000), acerca da vulnerabilidade de pessoas em edifícios; dos diferentes graus de lesões (leve, grave ou fatal), decorrentes de deslizamentos e com base nos resultados obtidos por aqueles pesquisadores, apresentados nas Tabs. 3.10 e 3.11 e nas Figs. 3.6 e 3.7, Li et al. (2010), propuseram um modelo mostrado na Eq. 3.14, que reflete a relação entre a vulnerabilidade da população e as estruturas, onde  $V_{str}$  é a vulnerabilidade da estrutura.

Tabela 3.10: Vulnerabilidade de estruturas e população em construções (Modificado de Li et al., 2010).

Vulnerabilidade de estruturas	População atingida						Total de PoPs
	Lesão moderada		Lesão grave		Fatal		
	PoP <sup>a</sup>	Pol <sup>b</sup> (%)	PoP	Pol(%)	PoP	Pol(%)	
<b>0.1</b>	0.0012	85.7	0.00016	11.4	0.00004	2.9	0.0014
<b>0.3</b>	0.0138	85.7	0.00184	11.4	0.00046	2.9	0.0161
<b>0.5</b>	0.0686	85.7	0.00914	11.4	0.00229	2.9	0.08
<b>0.7</b>	0.2229	85.7	0.02971	11.4	.000743	2.9	0.26
<b>0.9</b>	0.39	54.5	0.22	30.8	0.105	14.7	0.715
<b>1.0</b>	0.4	40	0.4	40	0.2	20.0	1.0

PoP é a probabilidade de uma pessoa em um edifício ser ferida em diferentes graus.

Pol é a porcentagem ou proporção de diferentes graus de lesão para todos os feridos.

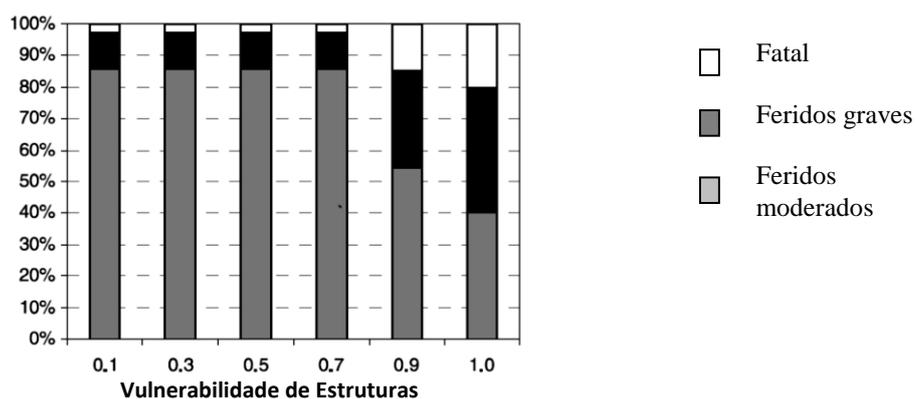


Figura 3.6: Percentual de diversos graus de lesões em todos os feridos (Modificado de Li et al., 2010).

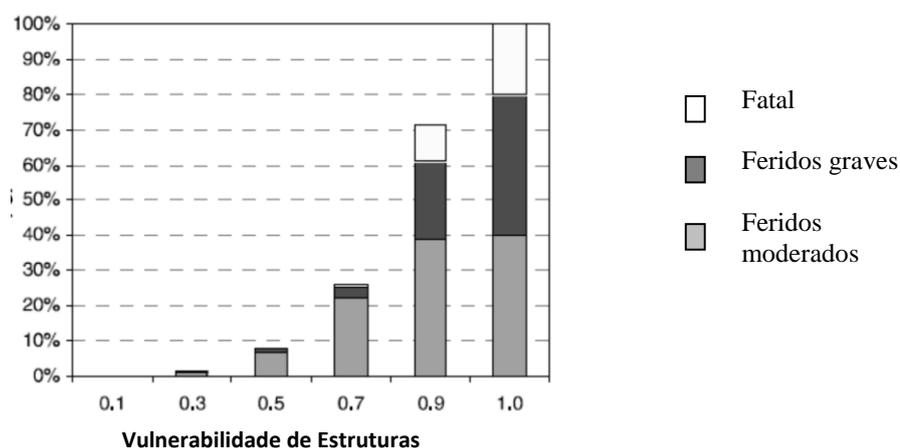


Figura 3.7: Probabilidade de uma pessoa em uma estrutura ser ferida em diversos graus (Modificado de Li et al., 2010).

Tabela 3.11: Vulnerabilidade média de estruturas e pessoas em construções (Modificado de Li et al., 2010).

Vulnerabilidade da estrutura	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	1.0
Vulnerabilidade de pessoas	0.000408	0.004692	0.023322	0.075778	0.359	0.6

Salientando-se que a Eq. 3.14, proposta baseia-se no pressuposto de que a proporção entre lesão moderada, lesão grave, e letalidade segue os dados da Tab. 4.9 e que as vulnerabilidades recomendadas de lesão moderada, lesão grave, e fatalidade são 0,2, 0,8 e 1,0, respectivamente.

O estudo faz algumas observações quanto à utilização do modelo e a necessidade de calibração do referido. A Tab. 3.12 é um resumo de como deve ser calculado a vulnerabilidade média, a partir do cálculo da resistência e da intensidade, considerando a velocidade do movimento de massa, a localização e o tipo dos elementos expostos ou vulneráveis. Ou seja, para diferentes elementos, é aconselhável ter diferentes critérios de resistência e de intensidade. A resposta de elementos evidentemente muda quando os elementos estão em diferentes cenários, especialmente para a taxa de movimento rápido ou lento, e diferentes localizações em relação à área instável.

Li et al. (2010), enfatizam que devido aos escassos e limitados dados disponíveis sobre o tema, alguns dados foram assumidos ou atribuídos subjetivamente. Bem como, algumas variáveis de entrada semi-qualitativa foram convertidas no modelo quantitativo. Um resumo dos modelos para cálculo da vulnerabilidade, em função da velocidade dos movimentos de massa, é apresentado na Tab. 3.12.

Tabela 3.12: Métodos de cálculo da vulnerabilidade. (Modificado de Li et al., 2010).

Velocidade	Localização	Cálculo da Vulnerabilidade			Média da Vulnerabilidade
		Elemento	Resistência	Intensidade	
Rápido	Interna	Estruturas	-	-	1.0
		Pessoas	$(\xi_{phy} \cdot \xi_{kng})^{1/2}$	$I_{dyn-p}$	Equação 3.2
	Externa	Estruturas	$(\xi_{sfd} \cdot \xi_{sty} \cdot \xi_{stmn} \cdot \xi_{sht})^{1/4}$	$I_{dyn-s} I_{dpt}$	
		Pessoas em estruturas	-	-	Equação 3.14
Lento	Interna	Pessoas em espaço aberto	$(\xi_{phy} \cdot \xi_{kng})^{1/2}$	$I_{dyn-p}$	Equação 3.2
		Estruturas	$(\xi_{sfd} \cdot \xi_{sty} \cdot \xi_{stmn} \cdot \xi_{sht})^{1/4}$	$I_{dyn-s} I_{dfm}$	
	Externa	Pessoas	-	-	0.0
		Estruturas	-	-	0.0
		Pessoas	-	-	0.0

Para resistência, devem ser consideradas as seguintes observações na aplicação do modelo proposto:

- Para um edifício específico, a resistência depende de profundidade da fundação, tipo de estrutura, estado de manutenção, e altura. Se os valores recomendados forem adotados, os três últimos fatores variam de 0.1 a 1.5.
- O fator de resistência de profundidade fundação é uma função contínua de profundidade fundação sem limite superior; seu valor mínimo é de 0.05.
- Quando a profundidade da fundação exceder 11.3 m, o valor desse fator é maior do que 1.5.
- Para além de certa profundidade, o aumento da profundidade de base terá apenas uma influência marginal sobre a resistência.
- Para as pessoas sob ameaça de um determinado risco de deslizamento de terra, o fator físico e o fator de conhecimento variam de 0.25 para 0,95. O fator de conhecimento, tais como a instalação de um sistema de alerta precoce, influencia muito a resistência de pessoas.

Considerações sobre a intensidade são as que seguem, dependendo da localização do elemento exposto:

- Para deslizamento com alta intensidade, ambos os fatores de intensidade, dinâmicos e geométricos, não tem limite superior. Portanto, o valor de intensidade pode ser infinito, o que é mais coerente com as o mundo real.
- Para deslizamento rápido, o objeto do estudo baseou-se principalmente sobre os elementos em regiões ou zonas de acumulação do material que deslizou; estruturas internas ao material decorrente de um deslizamento rápido são quase ou totalmente destruídas, ou seja, a vulnerabilidade é 1.0.

- Para as pessoas dentro da área instável, a intensidade depende principalmente da velocidade. Em termos de estruturas em regiões ou zonas de acumulação do material que deslizou, a intensidade depende da velocidade de deslizamento e do fator de profundidade dos detritos. A vulnerabilidade das pessoas em estruturas pode ser estimada com base na vulnerabilidade das estruturas danificadas. No cálculo da vulnerabilidade de pessoas em espaço aberto, recomenda-se utilizar a velocidade de deslizamento.
- Para deslizamento de terra lento, o objeto da pesquisa baseia-se principalmente sobre os elementos dentro da área instável. Porque como a velocidade é lenta, não há ameaça de elementos fora da área instável; há também tempo suficiente para se efetuar ações de resgate. As estruturas dentro da área instável dependem tanto de velocidade e como da deformação destas.
- A velocidade limite entre escorregamento rápido e lento é considerado como sendo  $5 \times 10^{-1}$  mm / s.

Outras limitações do método seriam de que não pode ser aplicado a qualquer tipo de movimento em um deslizamento. Há algumas experiências subjetivas, avaliações e parâmetros experimentais. Os valores dos parâmetros não devem ser usados de forma acrítica; eles devem ser vistos como propostas iniciais que necessitam de mais de calibração com dados objetivos e pareceres de estudiosos do tema. O modelo fornece um meio geral e inicial de estimar vulnerabilidade na análise de risco de deslizamento de terra. Mais pesquisas seriam necessárias para melhorar o modelo de vulnerabilidade apresentado no estudo.

Remondo et al. (2008) citado em Li et al. (2010), consideraram que os valores de vulnerabilidade podem, teoricamente, ser maiores do que 1, uma vez que a reparação ou reconstrução pode custar mais do que a construção de uma nova estrutura. A vulnerabilidade, para o estudo em questão, foi estimada comparando-se as perdas totais dos elementos com o valor real dos elementos afetados e expressa como uma fração do referido valor: de 0 a 1. As mesmas considerações foram feitas por Bonachea et al. (2009), em uma experiência para modelagem de risco.

Pascale et al. (2010), introduziram um conceito de vulnerabilidade dos sistemas territoriais, que pode ser caracterizada como física, funcional e vulnerabilidade sistêmica. Esta última é considerada não mais apenas como a característica de um único elemento, mas como associado a um complexo sistema territorial de importância fundamental para avaliação do risco de deslizamentos. A proposta justifica que os métodos até então utilizados para a avaliação

de vulnerabilidade em áreas sujeitas a risco de deslizamento, não tem considerado as relações funcionais entre os elementos que compõem um sistema territorial. O modelo baseia-se na aplicação de um modelo matemático de decisão que é capaz de avaliar o grau de risco a deslizamentos, analisando a desestabilização de elementos e a tensão sobre o sistema investigado. A vulnerabilidade física dos elementos expostos ao risco varia entre 0 (nenhuma perda) e 1 (perda total), é calculada usando a seguinte equação:

$$y = 1 - a \cdot \frac{e^{-a\xi^{2.2}}}{(1 + e^{-a\xi^{2.2}})} \quad (3.15)$$

Onde  $\xi^{-k}_i$  é a tensão em relação ao risco considerado;  $a$  é uma constante, a qual assume um valor igual a 2 e é calculada fixando as condições de contorno: ( $\xi^{-k}_i = 0$  e  $y = 0$ , onde  $y = 0$  representa 0% de vulnerabilidade, isto é. não há perda;  $a$  é um parâmetro calculado por meio da fixação da condição de contorno ( $3 < \xi^{-k}_i < 6$ ;  $0,3 < y < 1$  em uma condição de média para alta vulnerabilidade) e, é igual a 0.02.

Segundo Pascale et al. (2010), o modelo proposto pela Eq. 3.15, foi aplicado com sucesso no território de Potenza, Itália, região conhecida por grandes eventos hidrogeológicos.

Das et al. (2011), realizaram um estudo no âmbito de uma avaliação estocástica da vulnerabilidade em que incluiu elementos como: construções (casas, edifícios), pessoas dentro de construções em vários horários e veículos em trecho definidos de rodovias. Foi aplicado um modelo de regressão logística para quantificação da vulnerabilidade de elementos estáticos, como construções e um modelo de Poisson, para elementos dinâmicos, como população e veículos. A vulnerabilidade em termos de valores de probabilidade foi obtida para cada um destes elementos separadamente. Concluiu-se que a probabilidade espacial e temporal, associada com os vários elementos em situação de risco, pode ser analisada num quadro estocástico para avaliação de vulnerabilidade. O que levou a diferentes valores de vulnerabilidade variando entre 0 e 1 para elementos similares em situação de risco, em momentos e lugares diferentes. A modelagem estocástica da vulnerabilidade, nesse contexto, pode formar a base da análise quantitativa deslizamento de terra e avaliação de riscos.

Das et al. (2011), conduziram um estudo em um corredor rodoviário nos Himalaias indianos, com alta suscetibilidade a deslizamentos, com objetivo de avaliar a vulnerabilidade no espaço-tempo de elementos em risco em um quadro estocástico. Os resultados mostraram que 26% dos edifícios foram classificados na categoria de vulnerabilidade com alta e muito alta probabilidade de cair. A vulnerabilidade da população no interior de edifícios mostrou um valor

maior que 0,75, em determinados períodos do dia. Também observada na região de estudo que a vulnerabilidade de veículos é superior a 0,6, em metade da estrada, em determinados períodos, devido à alta densidade de tráfego em rodoviário. A partir deste estudo, concluíram que a vulnerabilidade de um elemento de risco para a deslizamento de terra é um espaço e horário do evento; e pode ser quantificada utilizando modelagem estocástica. Portanto, a modelagem estocástica da vulnerabilidade, forma a base para uma análise e avaliação quantitativa de risco a deslizamentos.

Guimarães Silva (2015), baseada em Heim (1932), analisou a relação entre os parâmetros geométricos da ameaça de deslizamentos e de estruturas impactadas por estes, a partir do Gradiente Modificado Z, por meio da relação entre a altura do deslizamento e a distância entre o ponto de partida da massa deslizante e a estrutura impactada, considerando a topografia como uma relação entre H e d, dada pela equação:

$$Z = \frac{H}{d} \quad (3.16)$$

Onde,

H – Altura do deslizamento, definida pela diferença entre a cota máxima e a cota mínima do deslizamento;

d – distância entre o centro de gravidade da estrutura e o ponto de partida da massa do deslizamento.

A estimativa da vulnerabilidade, calculada em função do gradiente modificado e da resistência da estrutura em perigo, foi validada e dada pela equação:

$$V = \left[ 1 + \left( \frac{T}{0,55} \right)^{-\delta} \right]^{-1} \quad (3.17)$$

Após testes, Guimarães e Silva (2015), por meio de uma metodologia para quantificação da vulnerabilidade readequou os termos apresentados pela Eq. 3.17, incluindo um parâmetro relacionando o gradiente modificado Z e a resistência das estruturas expostas às ameaças, R, denominado T, com amplitude de 0 a  $\infty$ , dados por:

$$T = \frac{Z}{R} \quad (3.18)$$

Posteriormente a Eq. 3.18 foi calibrada com dados empíricos, obtendo o a função vulnerabilidade.

$$V = \left[ 1 + \left( \frac{T}{0,55} \right)^{-3,5} \right]^{-1} \quad (3.19)$$

Sendo a Eq. 3.19 definida como a fórmula capaz realizar a quantificação da vulnerabilidade física em elementos estruturais expostos a eventos adversos de deslizamentos de terra.

Observa-se que um consenso sobre o conceito de vulnerabilidade inexistente, quer seja sob o enfoque qualitativo ou quantitativo. Há diferentes abordagens, variáveis e conseqüentemente modelos. A falta de consenso é assinalada por alguns pesquisadores como um problema para avaliação do risco de deslizamentos, mas entende-se que o conceito efetivamente existe e é de certa forma comum, pois para determinação ou avaliação do risco de deslizamento a vulnerabilidade tem papel fundamental e é inerente a avaliação e análise do risco de deslizamento.

Fica claro que a complexidade na quantificação da vulnerabilidade para deslizamentos deve-se às características dos elementos existentes na área ou mesmo na localização destas. Estas características tendem a serem únicas. O diferencial será a quantidade e a qualidade dos elementos. No caso de pessoas, por exemplo, a idade dessas é um parâmetro que influirá no resultado. Há que se considerarem as propostas de modelagem que analisam a interação funcional dos elementos com o sistema territorial, entre outras, analisando-se a viabilidade de aplicação destes.

A utilização de modelos estocásticos, sob o enfoque da vulnerabilidade quantitativa, tem se firmado entre pesquisadores e aberto espaço para inclusão de outras variáveis, além das apresentadas, ou mesmo o refinamento das existentes.

## 4 - AS CIÊNCIAS GEODÉSICAS E O POSICIONAMENTO GNSS

### 4.1 - GEODÉSIA

Impulsionados pelo desejo do homem de entender os acontecimentos naturais e de prevê-los, há registros de Thales de Miletus, datados de 625-547a.C, entre outros matemáticos e filósofos, sobre a Geodésia. A definição clássica da Geodésia é de que “é a ciência de medir e representar a superfície da terra”, atribuída ao geodesta alemão Friedrich Helmert, considerado o pai da geodésia por ter criado os fundamentos matemáticos e físicos das teorias modernas (Vaníček, 2001).

Nos dias de hoje, a Geodésia é estudada sob um escopo mais amplo. Segundo Vaníček e Krakiwsky (1986), Geodésia é a ciência que trata da mensuração e representação da Terra, incluindo o seu campo de gravidade, em um espaço tridimensional variável no tempo.

Conforme (Vaníček, 2001), há muitas áreas de aplicação para o posicionamento espacial, tais como hidrografia, demarcação de limites, projetos de engenharia, gestão urbana e ambiental, geografia, ecologia, entre outras áreas. Há ainda a interação com outras ciências, de maneira simbiótica. Ou seja, enquanto a Geodésia fornece determinados tipos de informações (geométricas, físicas, p.e.) sobre o planeta, outras ciências contemplam os demais conhecimentos necessários para a modelagem desta, ora de uma forma que se confunde, ora de uma forma mais explícita (Fig. 4.1). De um modo geral com a constante modernização das tecnologias de posicionamento por satélites artificiais, o leque de aplicações é crescente.

Gemael (1999), considera que do ponto de vista didático a Geodésia pode ser dividida em Geométrica, Física e Celeste. As mudanças da era espacial, particularmente nas áreas das metodologias e das tecnologias, resultaram numa integração entre os diferentes ramos daquela ciência, levando a uma reconsideração naquela divisão. Na concepção atual se consideram três objetos da Geodésia: a geometria e as deformações da Terra, os parâmetros de orientação da Terra no espaço e o campo da gravidade (Blitzkow et al. 2008).

Um estudo mais profundo sobre a Geodésia pode ser encontrado na vasta bibliografia existente sobre o tema.

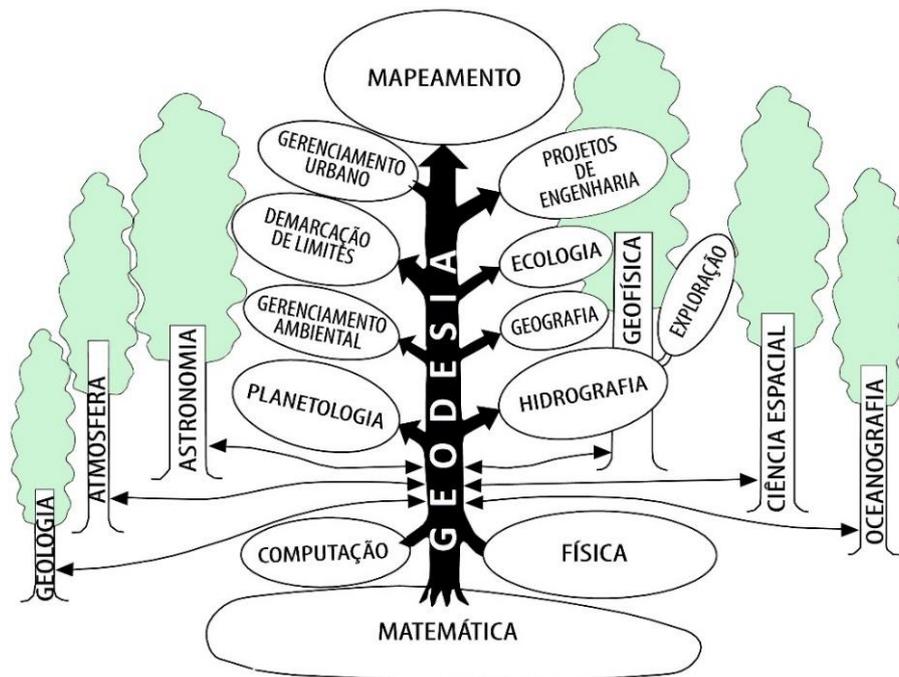


Figura 4.1: Geodésia e relação com outras ciências e aplicações (Adaptado de Vaníček, 2001).

#### 4.1.1 - SISTEMAS DE REFERÊNCIA EM GEODÉSIA

Um Sistema de Referência de uma forma simples, é uma referência abstrata que relativiza uma posição única, quer seja de um ponto ou feição no espaço. Do ponto de vista geodésico, a necessidade é de posicionamento na Terra ou com relação à esta. Para tal são utilizados os Sistemas de Referência Terrestre ou Geodésicos. Taís sistemas são associados a superfícies ou modelos, que melhor se aproximam da forma terrestre, considerando que esta não é uniforme, sendo os cálculos e consequentemente as coordenadas (posição), relativas a estas superfícies. Nesse contexto, há três superfícies envolvidas nas atividades de geodestas (Gemael, 1999):

- a) Superfície física da Terra, onde efetivamente são realizados os levantamentos;
- b) O Modelo geométrico ou superfície de referência, sobre a qual são efetuados os cálculos geodésicos, sendo o elipsoide de revolução a superfície empregada;
- c) Geóide, superfície equipotencial do campo da gravidade que mais se aproxima do nível médio dos mares, o modelo com significado físico.

A relação entre estas superfícies pode ser a vista na Fig 4.2. A distância entre o Geóide e um particular elipsoide é denominada ondulação geoidal  $N$ , que depende do elipsóide utilizado.

$$h = H - N \quad (4.1)$$

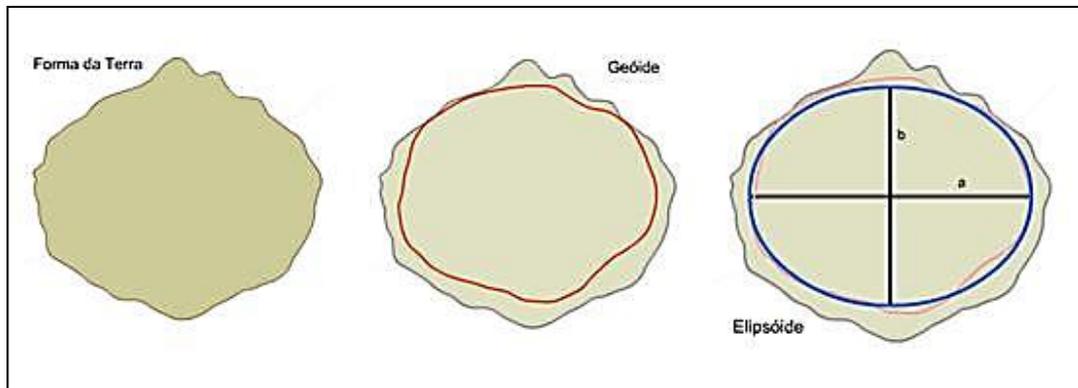


Figura 4.2: Forma da Terra, Geóide e Elipsóide de Referência.

A relação geométrica entre a ondulação geoidal  $N$ , a altitude elipsoidal  $h$  e a altitude ortométrica  $H$  é dada, aproximadamente, pela Equação 1 (Seeber, 2003), tendo em vista que  $N$  e  $h$  não são colineares, a primeira é medida ao longo da normal e a segunda ao longo da vertical do lugar (Gemael, 1999).



Figura 4.3: Relação entre as Superfícies Terrestre, Geóide e Elipsóide de Referência.

As coordenadas referidas aos Sistemas de Referência Geodésicos são normalmente apresentadas em três formas: cartesianas  $(x, y, z)$  e geodésicas  $(\varphi, \lambda, h)$ .

#### 4.1.1.1 - SISTEMAS DE COORDENADAS CARTESIANAS

É associado à um Sistema de Referência Geodésico e recebe a denominação de Sistema Cartesiano Geodésico, de modo que:

- O eixo X coincidente ao plano equatorial, positivo na direção de longitude  $0^\circ$ ;
- O eixo Y coincidente ao plano equatorial, positivo na direção de longitude  $90^\circ$ ;
- O eixo Z é paralelo ao eixo de rotação da Terra e positivo na direção norte.
- Origem: Se está localizada no centro de massas da Terra (geocêntrico), as coordenadas são denominadas de geocêntricas, usualmente utilizadas no posicionamento por satélites.

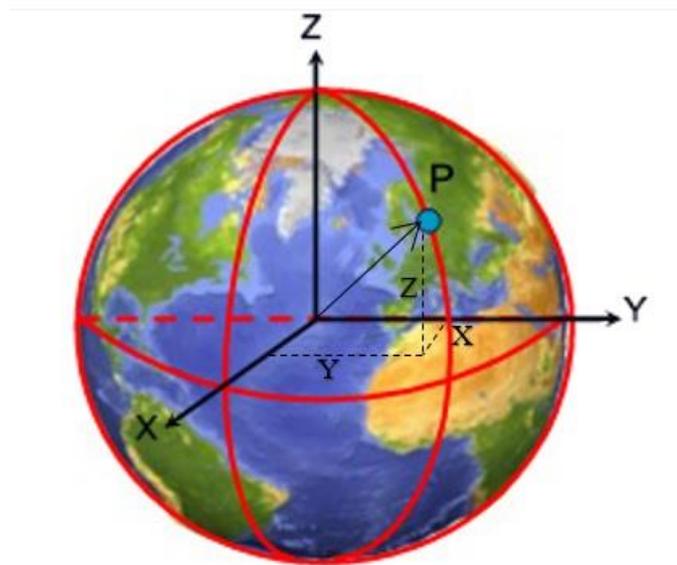


Figura 4.4: Sistema de coordenadas cartesiano, geocêntrico.

#### 4.1.1.2 - SISTEMAS DE COORDENADAS GEODÉSICAS

Um Sistema Geodésico de Referência, SGR, é definido com base num conjunto de parâmetros e convenções, junto a um elipsóide ajustado às dimensões da Terra e devidamente orientado, constituindo um referencial adequado para a atribuição de coordenadas a pontos sobre a superfície física (Dalazoana, 2000). Após essa convenção, realizadas medições sobre uma rede de pontos implantados na superfície física, processados e divulgados, há a

materialização de um sistema de referência (Monico, 2008). O conjunto de estações terrestres cujas posições foram determinadas com respeito a um sistema coordenado constitui, dessa forma, uma rede geodésica.

As coordenadas referidas a um elipsóide são denominadas de latitude e longitude geodésicas (Fig. 4.5). Sendo sua definição para um ponto P, qualquer na sua superfície, as seguintes:

- A latitude geodésica ( $\Phi$ ) é o ângulo formado pela normal ao elipsóide de um determinado ponto e o plano do Equador.
- A longitude geodésica ( $\lambda$ ) é o ângulo formado pelo plano meridiano do lugar e o plano meridiano tomado como origem (Greenwich).
- A altitude elipsoidal (h) corresponde a distância de P à superfície do elipsóide medida sobre a sua normal.

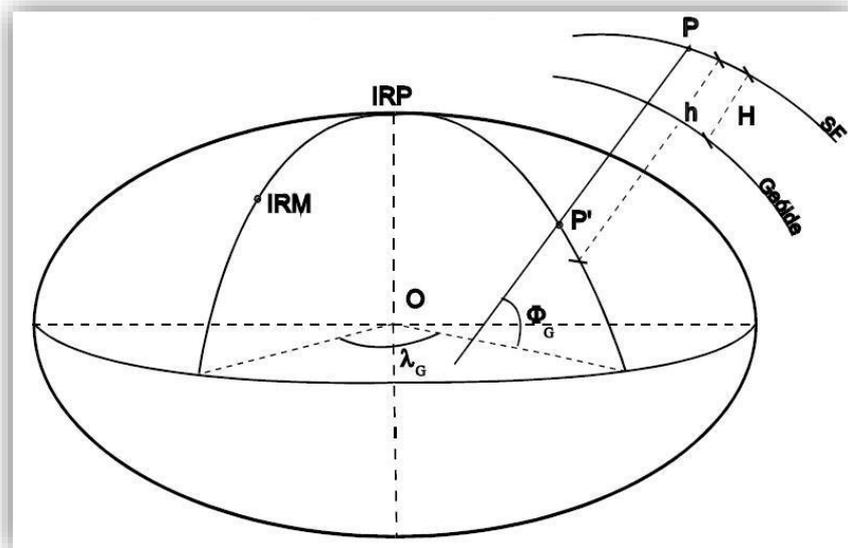


Figura 4.5: Elipsóide de Referência

#### 4.1.1.3 - SISTEMAS DE PROJEÇÃO

Para representar as feições de uma superfície curva em uma superfície plana, é necessário o uso de Projeções Cartográficas, que são utilizadas dependendo do objetivo do levantamento ou mapa; ou ainda do padrão adotado no país ou região. No Brasil a projeção mais utilizada é a Universal Transversa de Mercator UTM (IBGE, 2011).

## 4.2 - SISTEMAS DE POSICIONAMENTO POR SATÉLITE

O posicionamento espacial remonta ao senso de orientação do homem quando este utilizava-se de recursos naturais do ambiente para saber sua localização: acidentes topográficos Sol, Estrelas, entre outros. Os surgimentos da bússola, do sextante e do astrolábio, foram precursores na utilização de instrumentos de orientação e, portanto, de determinação do posicionamento espacial do homem, com relação aos satélites naturais (astros). Com o surgimento dos satélites artificiais e o desenvolvimento tecnológico, a determinação da posição tornou-se uma tarefa relativamente simples e impulsionou as ciências geodésicas a patamares que até poderiam ser imaginados, mas não com tamanha magnitude. A geodésia espacial, neste contexto, compreende um conjunto de técnicas espaciais de observações, que permitem a solução de problemas geodésicos pelo uso de medições precisas, com base em satélites artificiais, ou entre estes, incluindo variações dependentes do tempo. As técnicas mais usadas na geodésia espacial são os sistemas de navegação GNSS e SLR. São pré-requisitos básicos o conhecimento dos movimentos dos satélites, da influência das forças que atuam sobre estes, bem como as posições e rede de estações terrestre de referência. A proposta de desenvolvimento da geodésia por satélite iniciou com o lançamento do primeiro satélite artificial, SPTUNIK-1, em outubro 04 de 1957(Seeber, 2003). Posteriormente, na década de 60, foi lançado o Sistema TRANSIT, cujo objetivo era o mesmo: o de obter a posição com relação à um determinado referencial terrestre, mas de forma automática e teoricamente de qualquer lugar no globo terrestre, representada pelo terno de coordenadas, a latitude, longitude e altitude. Segundo Seeber (2003), também nesta década foram resolvidos problemas básicos da geodésia, como a determinação de um valor numérico preciso para o achatamento da Terra ( $f = 1/ 298,3$ ), determinação da forma da terra geoidal (Fig. 4.6), determinação de conexões entre data geodésicos.

Algumas décadas após, desenvolvido também com fins militares foi operacionalizado o sistema de navegação por satélite, NAVSTAR-GPS, substituindo seu antecessor, disponibilizando uma precisão no posicionamento até então sem precedentes, 24 horas por dia, em qualquer lugar do globo terrestre ou próximo a este. Concomitante ao GPS, desenvolveu-se pelo governo russo, também com fins militares, o sistema de posicionamento por satélites artificiais GLONASS, que devido a problemas principalmente de investimentos, tornou-se efetivamente operacional somente no ano de 2011, quando foi possível a substituição sistemática dos satélites desativados. Outros sistemas de navegação por satélites artificiais, a

exemplo do europeu Galileo e o chinês Beidou/Compass estão em fase de implantação e apesar de alguns satélites desses sistemas terem sido lançados, alguns ainda não se encontram operacionais, pois a constelação não está completa. Há ainda constelações de satélites regionais, desenvolvidos e utilizados particularmente por países, como o Sistema Regional de Navegação por Satélite Indiano, da Índia (IRNSS) e o Sistema de Satélite Quase-Zênite (QZSS), do Japão (Fig.4.7).

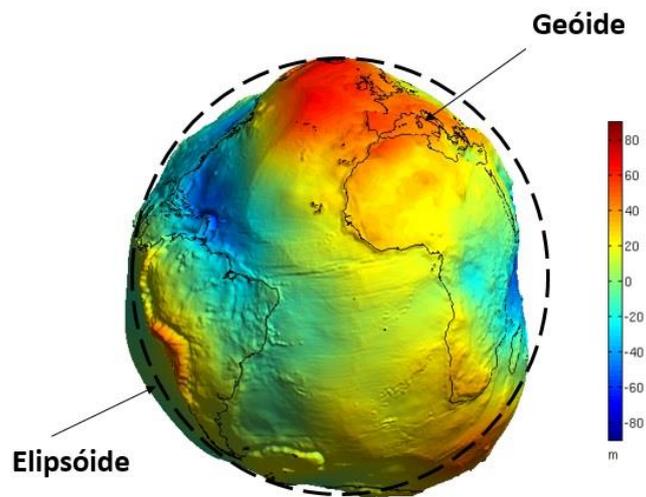


Figura 4.6: A forma da Terra geoidal e variação altimétrica – EGM 2008. (Fonte: Bezdek, 2016).



Figura 4.7: Mapa de Nações com Sistemas de Satélites de Navegação (Fonte: Hornish, Ashley: National Air and Space Museum, Smithsonian Institution, 2013).

O GPS associado a infraestruturas espaciais e terrestres, podem ampliar a utilização do próprio sistema. Expansões vêm sendo desenvolvidas como Wide Area Augmentation System

– WAAS, uma extensão do GPS por satélites, operado e mantido pela Administração Federal de Aviação dos Estados Unidos (FAA), que dá informações para a navegação aérea em todas as fases de um voo. O sistema é utilizado em muitas outras aplicações, não relacionados com a aviação, uma vez que os seus sinais, semelhante ao GPS, podem ser processados por receptores simples sem aplicações de equipamentos adicionais. Entre outros sistemas de aumento via satélite, há o EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service), o sistema Indiano GAGAN (GPS And Geo-Augmented Navigation), e o MSAT (Multi-functional Augmentation Transport Satellite - MSAS). Todas essas aplicações internacionais baseiam-se no GPS (PNT, 2015).

Segundo Seeber (2003), a partir do ano de 1991, a terminologia GNSS (Global Navigation Satellite System), foi designada ao conjunto desses sistemas de posicionamento e navegação. O posicionamento GNSS atualmente e desde há alguns anos, está presente no cotidiano das pessoas ao ponto de receptores desses sinais de satélites serem considerados como acessórios opcionais em veículos, relógios, aparelhos de telefone pessoal, entre outros objetos. Receptores com capacidade de receber sinais de mais de uma constelação de satélites, estão disponíveis no mercado há mais de uma década, proporcionando ao usuário uma maior opção de disponibilidade de satélites e de resultados mais acurados. De um modo geral os sistemas de navegação se distinguem pelas características constantes aos segmentos espacial, de controle e de usuários, que serão abordados particularmente.

#### **4.2.1 - SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL (GPS)**

O Sistema de Posicionamento Global (GPS) é um sistema de navegação por satélite artificiais baseado no espaço, construído e mantido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos e está disponível gratuitamente para qualquer pessoa no mundo com um receptor GPS. (DoD, 2015). Concebido para fornecer informações de tempo e posição tridimensional em qualquer lugar da Terra, ou próximo à esta, continuamente, independente de condições atmosféricas, em um referencial global, homogêneo e com base em medidas de distâncias. (Monico, 2008).

Este sistema é constituído por três segmentos: o segmento espacial, o segmento de controle e o segmento do usuário. A Força Aérea dos Estados Unidos desenvolve, mantém e opera os segmentos espacial e de controle para o GPS.

#### 4.2.1.1 - SEGMENTO ESPACIAL

Este segmento consiste de uma constelação com no mínimo 24 satélites MEO (Medium Earth Orbith), transmitindo sinais de rádio para os usuários, com uma altitude aproximada de 20.200 km (Fig. 4.8).

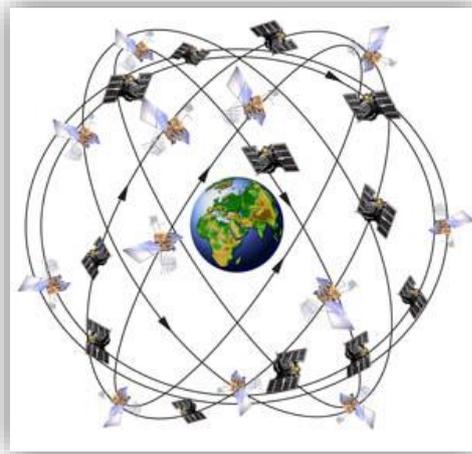


Figura 4.8: Constelação do GPS (Fonte: USA Air Force, 2015).

Os satélites da constelação GPS são dispostos em seis planos orbitais igualmente espaçados em torno da Terra. Cada plano contém quatro faixas de base ocupadas por satélites. Os planos orbitais são inclinados em  $55^\circ$  em relação à linha do Equador com o período aproximado de 12 horas siderais, ou seja, cada satélite órbita à Terra duas vezes ao dia, garantindo que no mínimo 4 satélites GPS sejam visíveis de qualquer ponto do planeta (DoD, 2015). (Fig. 4.9).

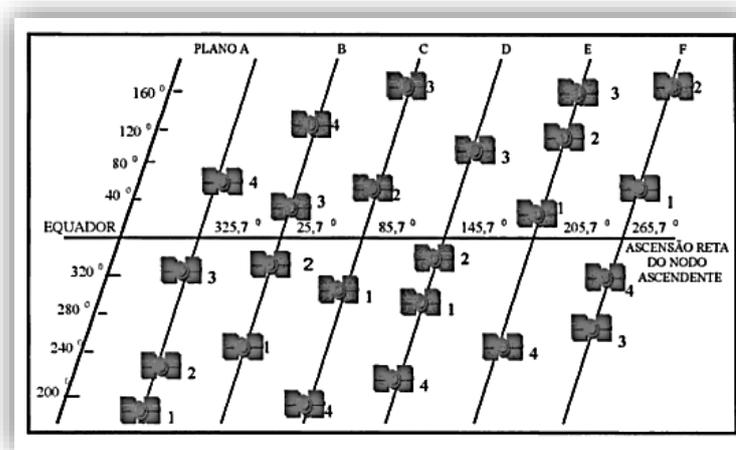


Figura 4.9: Distribuição de satélites e planos orbitais do GPS (Seeber, 2003).

Na concepção original 4 tipos de satélites fizeram parte do projeto NAVSTAR-GPS, denominados satélites do Bloco I, II, IIA (2ª geração avançada) e IIR (Reabastecimento). Os satélites do Bloco I eram protótipos, sendo o último satélite que foi lançado para esse Bloco desativado no ano de 1995. Os satélites do Bloco II e IIA referem-se à segunda geração de satélites e as diferenças entre estes, são no constante à ao incremento na capacidade de armazenamento de dados e comunicação. Os satélites do Bloco IIR, refere-se à terceira geração, cujo incremento com relação aos antecessores é a capacidade de medir distâncias entre si e calcular efemérides no próprio satélite e as transmitir entre os satélites e as estações de controle do Sistema em Terra (Seeber, 2003). No ano de 2005, lançou-se uma versão modernizada do Bloco IIR, sendo denominado IIR-M (Monico, 2008). Uma quarta geração de satélites substituindo os anteriores é denominada Bloco IIF (Follow-on: continuação), estando previsto o total de 33 satélites, atualmente com 10 satélites operacionais. A modernização se dá pela introdução de novas tecnologias, tanto no segmento espacial, como de controle dos satélites: a exemplo da substituição de computadores legados e sistemas de comunicações, sendo estes substituídos por uma arquitetura centrada em rede, permitindo uma maior e melhor frequência de comandos necessários dos satélites, melhorando a precisão e disponibilizando o sinal L5(DoD, 2015). Em 31/10/2015, foi lançado o 11º satélite do Bloco IIF, do GPS, o penúltimo desse bloco (GSP World, 2015) e o 16º lançado neste ano. Segundo Langley (2015) o próximo lançamento previsto de satélite do Bloco IIF (IIF-12), foi programado para fevereiro de 2016, tendo sido efetuado com sucesso. A última geração planejada é o Bloco GPSIII, que tem por objetivo a melhoria de serviços de posicionamento, navegação e tempo, e avanços na segurança, acurácia e confiabilidade do sistema, incluindo um tempo de vida útil 25% além dos atuais e inclusão do sinal civil dedicado L1C, que será compartilhado por outros sistemas de navegação emergido do GNSS (Lockheed Martin Company, 2015).

Segundo o DoD (2015), atualmente a constelação GPS é uma combinação de antigos e novos satélites (Fig. 4.10). Em outubro de 2015, havia 31 satélites operacionais na constelação GPS, além dos satélites desativados (residuais) e mantidos em órbita, em caso de necessidade de reativá-los.

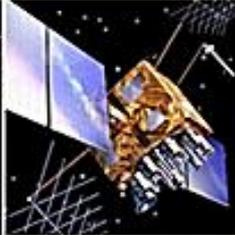
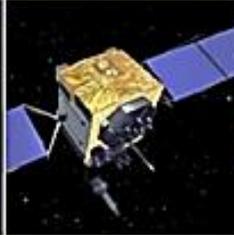
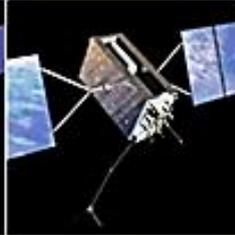
SATÉLITES LEGADOS		SATÉLITES MODERNIZADOS		
				
BLOCK IIA	BLOCK IIR	BLOCK IIR(M)	BLOCK IIF	GPS III
2 Operacionais	12 Operacionais	7 Operacionais	10 Operacionais	Em produção

Figura 4.10: Status dos Satélites do GPS (Fonte: DoD, 2015).

Todos os satélites da constelação GPS transmitem sinais de ondas portadoras ( $\lambda$ ), a partir da frequência fundamental ( $f$ ) de 10,23 MHz. Os satélites dos Blocos I, II e IIR, possuem duas portadoras, L1 e L2, com comprimentos de onda de 19cm e 24cm, respectivamente. Esses valores, multiplicados pela frequência fundamental dão as frequências de cada onda:

$$L1 = 1575,42 \text{ MHz}$$

$$L2 = 1227,60 \text{ MHz}$$

Sobre as frequências são moduladas a mensagem de navegação e os códigos pseudoaleatórios (PRN – Pseudo Random Noise), que é um dos esquemas de numeração que identifica os satélites GPS. Na concepção original foram implementados dois tipos de códigos no GPS: o código C/A (Course/Acquisition) e o código P (Precise ou Protected). O código C/A é modulado sobre a portadora L1 e o código P é modulado sobre as portadoras L1 e L2 (IBGE, 2008). O segmento de código atribuído a cada satélite é reiniciado a cada semana, à 0h TU (Tempo Universal), de sábado para domingo, criando a semana GPS, que é uma unidade de tempo do sistema (Monico, 2008).

Segundo Seeber (2003), o código C/A possui um comprimento de onda aproximado de 300m e uma frequência 1,023MHz. Com esse código usuários civis podem obter a acurácia estipulada no Serviço de Posicionamento Padrão (SPS). O código P, por sua vez, tem sido reservado para uso de militares norte-americanos e usuários civis autorizados. Sua frequência é de 10,23MHz, o que faz com que suas medidas sejam mais precisas que o código C/A. O código P é criptografado quando opera no modo AS (Anti-Spoofing), passando a ser denominado código Y – uma versão segura do código P, não disponível para usuários civis.

A partir do Bloco IIR (M), foi incluído na onda portadora L2, o código civil L2C, de modo a reduzir problemas decorrentes do código Y. Além dessas portadoras, o Bloco IIF

incorporou a portadora L5, com comprimento de onda de 25,5cm e frequência de 1176,45MHz (Fig. 4.11).

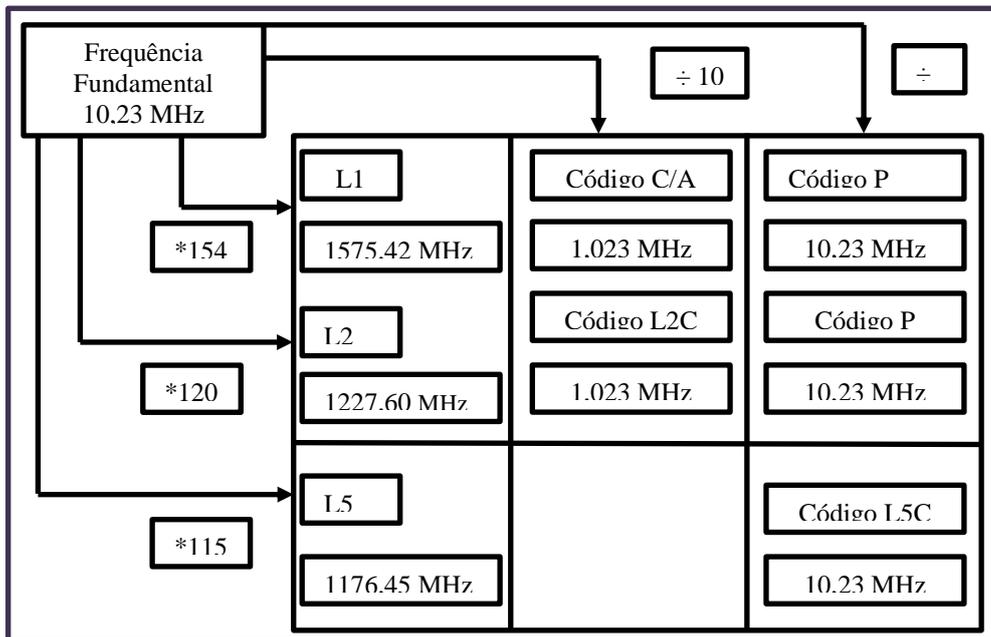


Figura 4.11: Estrutura básica do sinal GPS (Fonte: Adaptado de Monico, 2008).

No Bloco GPSIII haverá a inclusão, na onda portadora L1, do código do sinal civil dedicado L1C, que foi definido para ser similar ao código aberto do Sistema Galileo, facilitando a integração com outros Sistemas que compõem o GNSS (IBGE, 2008).

A Tab. 4.1, reúne as características das atuais e futuras gerações dos satélites GPS, incluindo o Bloco IIA (2ª geração, modernizada), Bloco IIR (Reposição), Bloco IR (M) (Modernizado), Bloco IIF (Continuação), e GPS III.

Tabela 4.1: Características das atuais e futuras gerações de satélites (Fonte: DoD, 2015).

Satélite Legados		Satélites Modernizados		
Bloco IIA	Bloco IIR	Bloco IIR (M)	Bloco IIF	GPS III
2 operacionais	12 operacionais	7 operacionais	10 operacionais	Em produção
Código C/A (frequência L1 para uso civil) <sup>(1)</sup>	Código C/A (frequência L1 para uso civil) <sup>(1)</sup>	Todos os sinais originais	Todos os sinais do bloco IIR(M)	Todos os sinais do bloco IIF
Código preciso p(y) nas frequências L1 & L2 para usuários autorizados <sup>(2)</sup>	Código preciso p(y) nas frequências L1 & L2 para usuários autorizados <sup>(2)</sup>	Novo sinal para uso civil na frequência L2 (L2C)	Terceiro sinal para uso civil sinal na frequência L5 (L5)	Quarto sinal para uso civil na L1 (L1C)
Vida útil do satélite planejada para 7.5 anos	Monitoramento do relógio do satélite “On-board”	Novo código militar (M) com diminuição de interferências	Relógios atômicos avançados	Melhora na confiabilidade, precisão e integridade do sinal
Lançados entre 1990 e 1997	Vida útil do satélite planejada para 7.5 anos	Níveis de potência flexíveis para sinais militares	Maior precisão, melhor intensidade e qualidade do sinal	Ausência de degradação intencional do sinal
	Lançados entre 1997 e 2004	Vida útil do satélite planejada para 7.5 anos	Vida útil do satélite planejada para 12 anos	Satélites 11+: refletores laser; Informações para busca e salvamento
		Lançados entre 2005 e 2009	Lançados a partir de 2010	Vida útil do satélite planejada para 15 anos
				Previsão de início de lançamento para 2016

(1) Usado pelos aparelhos de navegação

(2) Código preciso e encriptado para evitar falsificação.

#### 4.2.1.2 - SEGMENTO DE CONTROLE

O Segmento de controle GPS consiste de uma rede global de instalações terrestres que rastreiam os satélites GPS, monitoram suas transmissões, realizam análises e enviam comandos e dados para a constelação. O segmento de comando operacional inclui uma estação de controle mestre (Master Control Station – MCS), uma estação de controle mestre alternativo, 12 antenas de comando e controle, e 16 locais de monitoramento (DoD, 2015). A Fig. 4.12 mostra a distribuição das estações de controle do Sistema.

Conforme o DoD (2015), a MCS executa as funções do segmento de controle primários, proporcionando o comando e o controle da constelação GPS. Gera e monitora as mensagens de navegação atualizadas e garante a saúde e a precisão da constelação de satélites. A partir das estações de monitoramento, recebe também informações de navegação e utiliza estas informações para calcular o posicionamento preciso dos satélites GPS no espaço orbital e correções do relógio dos satélites; em seguida, envia esses dados aos satélites a partir das antenas terrestres. No caso de uma falha do satélite, a Estação Master pode reposicionar os satélites, para manter uma constelação GPS monitorada com precisão.

As estações de monitoramento observam os satélites de GPS quando eles passam sobre as estações e então enviam as suas observações para a estação de controle mestre. Também recolhem dados atmosféricos, portadoras/intervalo de distância, assim como sinais de navegação. Há 16 estações de monitoramento localizadas em todo o mundo, incluindo 6 da Força Aérea e 10 da Agência Nacional de Inteligência Geoespacial (NGA).

As antenas terrestres são usadas para comunicação com os satélites GPS, com fins de comando e controle. Estas antenas suportam links de comunicação que transmitem e recebem de dados de navegação, atualiza e processa programas, e coleta dados por telemetria. As antenas terrestres são também responsáveis pela transmissão de comandos normais para os satélites. Existem quatro locais de antenas terrestres dedicadas de GPS, localizados junto às estações de monitoramento no Atol Kwajalein, Ilha de Ascensão, Diego Garcia, e do Cabo Canaveral. Além disso, o segmento de controle está ligado à Rede de Controle de Satélites da Força Aérea (AFSCN) com oito estações de monitoramento remoto em todo o mundo, aumentando a visibilidade, flexibilidade e robustez para a telemetria, rastreamento e comando do segmento de controle.

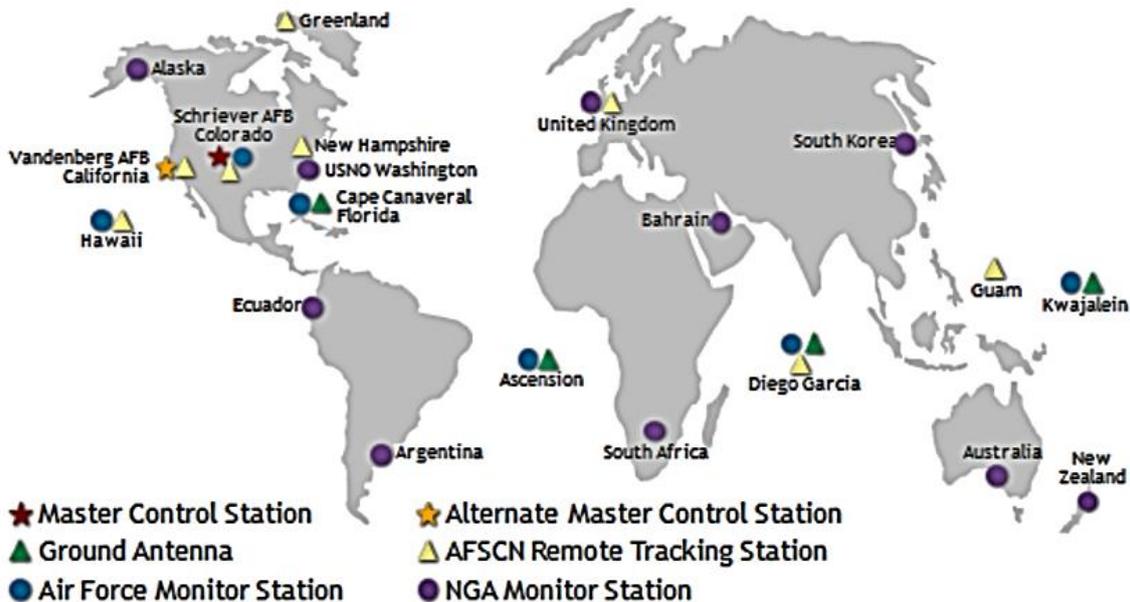


Figura 4.12: Distribuição das Estações de Controle do GPS (Fonte: DoD, 2015)

Segundo o DoD (2015), a Força Aérea tem continuamente atualizado o segmento de controle de GPS ao longo dos últimos anos e como parte do programa de modernização do GPS, foram implementadas ações através de três projetos: Iniciativa de melhora da acurácia do legado (Legacy Accuracy Improvement Initiative - LEAII), o Plano de Evolução da Arquitetura (Architecture Evolution Plan – AEP) e o Sistema de Controle Operacional da Próxima Geração (Next Generation Operational Control System – OCX, conforme o cronograma de modernização do GPS (Fig. 4.12a).

A iniciativa de melhora da precisão do legado (LOCS), concluída em 2008, ampliou o número de locais de monitoramento no segmento de controle operacional de seis para 16. Também triplicou a quantidade de dados recolhidos sobre as órbitas dos satélites GPS, permitindo uma melhoria de 10% a 15% na precisão de a informação transmitida a partir da constelação GPS. Bem como, adicionou 10 estações de monitoramento dos satélites GPS em funcionamento, de propriedade e operados pela Agência de Inteligência Geoespacial Nacional (NGA) americana.

No ano de 2007, foi implementado o Plano de Evolução Arquitetura (AEP), substituindo a estação original de controle mestre por um sistema totalmente novo, construído em modernas tecnologias de TI. O sistema AEP melhora a flexibilidade e capacidade de resposta das

operações do GPS e abre o caminho a seguir para a próxima geração de capacidades espaciais e de controle de GPS.

A última ação do OCX irá adicionar vários novos recursos para o segmento de controle de GPS, incluindo a capacidade de controlar totalmente os sinais civis modernizados (L2C, L5 e L1). A modernização está dividida em três blocos: o bloco inicial, '0', lançará o check-out dos satélites do GPSIII e irá introduzir os recursos completos do sinal de navegação L2C. O bloco 1 está programado para entrar em serviço em 2018. O Bloco 2 irá apoiar, monitorar e controlar sinais de navegação adicionais, incluindo L1C e L5. O processo, no entanto, não para e novos ajustes serão realizados ao longo do tempo, quer seja de máquinas, que sejam de processos.



Figura 4.12a: Cronograma de Modernização do GPS. (Fonte: DoD, 2015)

#### 4.2.1.3 - SEGMENTO DE USUÁRIOS

Este segmento refere-se às aplicações que os usuários, civis e militares, dos GNSS, realizam e que, por conseguinte, determinam o tipo de receptor que será utilizado e método de posicionamento. Segundo Seeber (2003), os receptores de sinais de satélites, usados em navegação ou no posicionamento geodésico, possuem requisitos próprios. Os receptores evoluíram desde a primeira geração de equipamentos, pois não estavam envolvidos pelo apelo

comercial atual, considerando que eram destinados a aplicações militares ou científicas. Atualmente as aplicações crescem a cada dia, limitadas somente pela criatividade humana.

Como a Internet, o GNSS é um elemento essencial da infraestrutura global de informação. A natureza livre, aberta e confiável do GNSS levou ao desenvolvimento de centenas de aplicações que influem em muitos aspectos da vida moderna, desde telefones celulares e relógios de pulso às escavadoras, contêineres e caixas eletrônicos, auxílio nos esforços de busca e salvamento, maior rapidez nos serviços de emergência e assistência em catástrofes, segurança de voo, aumentando a capacidade do espaço aéreo. GNSS também avança em aplicações com objetivos científicos, que requerem alta precisão geodésica, tais como previsão de tempo, monitoramento de terremotos e proteção ambiental. Segundo o DoD (2015), o sistema permanece essencial para a segurança nacional, e as suas aplicações são integradas em praticamente todos os aspectos de operações militares dos EUA. Quase todos os novos meios militares - de veículos para munições - vêm equipados com receptores GNSS/GPS.

Segundo Seeber (2003), as aplicações de métodos de geodésia por satélite são determinadas pelo nível de precisão, pelos esforços e a despesa, em termos de equipamento e processamento, bem como pelo tempo de observações necessárias. Isso proporciona uma gama significativa de combinações para escolha do receptor a ser utilizado em um posicionamento, observando o custo benefício, em decorrência do objetivo. A escolha do receptor pode ser dada com base nos tipos de dados que compõe o sinal que pode receber, ao usuário, conforme Tabela 4.2:

Tabela 4.2: Componentes do sinal e aplicações.

<b>COMPONENTES DO SINAL</b>	<b>APLICAÇÕES</b>
<b>Código C/A</b>	Navegação Posicionamento absoluto
<b>Código C/A e portadora L1</b>	Navegação Posicionamento Absoluto Posicionamento por Ponto Preciso Posicionamento Relativo e Posicionamento Diferencial
<b>Código C/A e portadora L1 e L2</b>	
<b>Código C/A e P2 portadora L1 e L2</b>	
<b>Código C/A, P1 e P2 portadora L1 e L2</b>	
<b>Código C/A, L2C, P2 portadora L1 e L2.</b>	
<b>Código C/A, L2C, L5C, P2 e portadora L1, L2 e L5</b>	

## 4.2.2 - GLONASS

É um sistema de rádio-navegação por satélite, desenvolvido pela antiga União Soviética e atualmente operado pela Força Espacial Russa, do governo russo. É um sistema alternativo e também complementar aos sistemas americano de Posicionamento Global (GPS), ao chinês Beidou/Compass, e o da União Européia, o Galileo.

Segundo a Agencia Espacial Federal Russa (2015), o GLONASS é a terceira geração dos Sistemas de Navegação Espacial Soviético, que iniciou em 1957 com a proposta de instalação de um sistema de baixa órbita denominado “Cicada”. Em 1967, foi lançado em órbita o primeiro satélite: “Cosmos-192”, cuja precisão era da ordem de 250 a 300 metros. No ano de 1979, o sistema contava com 4 satélites em órbita circular com altitude de 1000 km, plano de inclinação de 83°, uniformemente distribuído em relação à linha do equador. Esse sistema era utilizado pela Marinha e gerou grande interesse na tecnologia, tornando evidente a necessidade de um sistema de navegação que pudesse ser utilizado por todos potenciais usuários, como aviões, navios, veículos terrestres e naves espaciais. Ocorre que, desde o ano de 1972, trabalhos sobre a criação do sistema, que se tornou mais tarde a ser conhecido como GLONASS, foram iniciados. Muitas organizações estiveram envolvidas na construção do Sistema Global de Navegação por Satélite - GLONASS. O esforço foi liderado por esses que trabalharam no sistema de navegação por satélite de primeira geração: Krasnoyarsk Applied Mechanics Design Bureau (atualmente Information Satellite Systems) e o Institute of Space Device Engineering (atualmente Russian Space Systems). Testes com sistemas de navegação por satélite de alta altitude, iniciaram-se em 1982 com o lançamento do satélite “Kosmos – 1413”, tornando operacional. No ano de 1991 foram realizados com a constelação parcial de satélites e no ano de 1993 o GLONASS, foi aceito no Ministério de Defesa Russo e tornou-se por decreto, operacional, com oito satélites àquela época. Posteriormente, em 1995, o número de satélites foi elevado a 24, completando a constelação de satélites e fornecendo cobertura global em qualquer parte do planeta a qualquer instante.

Após a conclusão, com o colapso da economia russa, o sistema caiu rapidamente em desuso, os satélites mais antigos deveriam ser substituídos, mas não foram lançados. Só então, partir de 2001, a Rússia se comprometeu a restaurar o sistema, o que foi feito paulatinamente e atualmente, o sistema está operacionalmente completo, com 28 satélites em órbita e 23 em operação, 3 sob verificação dos fabricantes e 2 em fase de testes do voo (NIS GLONASS, 2015).

#### 4.2.2.1 - SEGMENTO ESPACIAL

Segundo Monico (2003), este segmento consiste de uma constelação de 24 satélites ativos e três de reserva, distribuídos em três planos orbitais, separados de  $120^\circ$ , com cada plano contendo 8 satélites, igualmente espaçados. As órbitas são aproximadamente circulares, com uma inclinação de  $64,8^\circ$  e altitude com relação à Terra de 19.100 km, com período orbital de aproximadamente 11 horas e 15 minutos (Fig. 4.13). Os planos possuem uma latitude de deslocamento de  $15^\circ$ , entre si, o que faz com que cada satélite atravesse o equador um de cada vez ao invés de três ao mesmo tempo. Dessa forma, se a constelação está completa, há sempre 5 satélites disponíveis de qualquer ponto, em qualquer momento (Glonass/GNSS Forum, 2015).

Cada satélite do sistema é identificado por um número “slot”, que define o plano orbital correspondente e a posição no plano. Ou seja, 1 a 8 estão no primeiro plano, 9 a 16, estão no segundo plano e 17 a 24 no terceiro. Além dessa numeração, recebem um número baseado na série Cosmos e um número sequencial GLONASS (Monico, 2003).

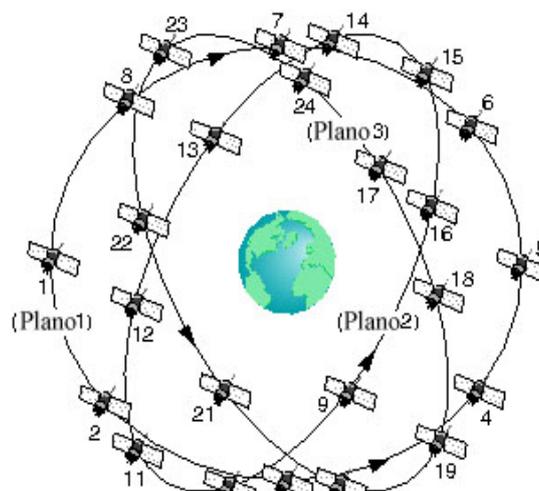


Figura 4.13: Configuração do GLONASS e os planos orbitais.  
(Fonte: Domínio público, Internet).

Ainda segundo Monico (2003), o GLONASS transmite sinais em duas bandas, denominadas portadoras L1 e L2, moduladas por dois códigos binários e as mensagens de navegação. Mais recentemente foi introduzida a portadora L3 CDMA (Fig.4.14).

Cada satélite possui sua própria frequência. Segundo Seeber (2003), a frequência de L1 é dada por

$$fL1 = f_0 + k \cdot \Delta fL1, \text{ onde } k = 0,1,2,\dots,24 \quad (4.2)$$

Com  $f_0 = 1.602\text{MHz}$ ,  $\Delta fL1 = 0,5625\text{ MHz}$ , onde  $k$  representa o número da frequência e o canal do satélite;  $k = 0$ , somente é utilizado para testes. L1 e L2 possuem a seguinte relação:

$$fL1/fL2 = 9 / 7.$$

S/C	FDMA signals		CDMA signals		
	L1	L2	L1	L2	L3
GLONASS-M	L1OF L1SF	L2OF L2SF	-	-	L3OC (2014+)
GLONASS-K1	L1OF L1SF	L2OF L2SF		L2SC (2017+)	L3OC
GLONASS-K2	L1OF L1SF	L2OF L2SF	L1OC L1SC	L2OC L2SC	L3OC

Figura 4.14: Implementação dos sinais do GLONASS (Fonte: Victor, 2015).

Assim como no GPS, as mensagens de navegação são moduladas na portadora a uma taxa de 50 bps, contendo informações sobre as órbitas (efemérides), almanaque e status dos satélites.

No ano 2003, o lançamento do primeiro satélite da série GLONASS-M, marcou o início da modernização e segunda geração de satélites, com precisão de posicionamento melhorada e tempo de vida operacional aumentado em sete anos. Novos satélites dessa série foram lançados até o ano de 2010, concluindo o propósito de disponibilidade integral do sistema em 99,5% em nível mundial. Em outubro de 2011 iniciou-se a terceira geração com o lançamento do primeiro satélite da série GLONASS-K, com melhor precisão de posicionamento e tempo de vida operacional estendido de 10 a 12 anos e um peso reduzido para 750 kg. A próxima geração de satélites do sistema de navegação GLONASS, deverá ser representada pela série GLONASS-K2, em desenvolvimento, com teste orbital previsto para fins de 2017, início de 2018 (Fig. 4.15).

Atualmente há ainda nove satélites da série GLONASS-M em reserva e mais nove satélites da série GLONASS-K1, em produção. Com a expectativa de vida útil desses satélites

e dos lançamentos previstos, o GLONASS será atualizado por volta de 2028-2030 (GPS World, 2015).

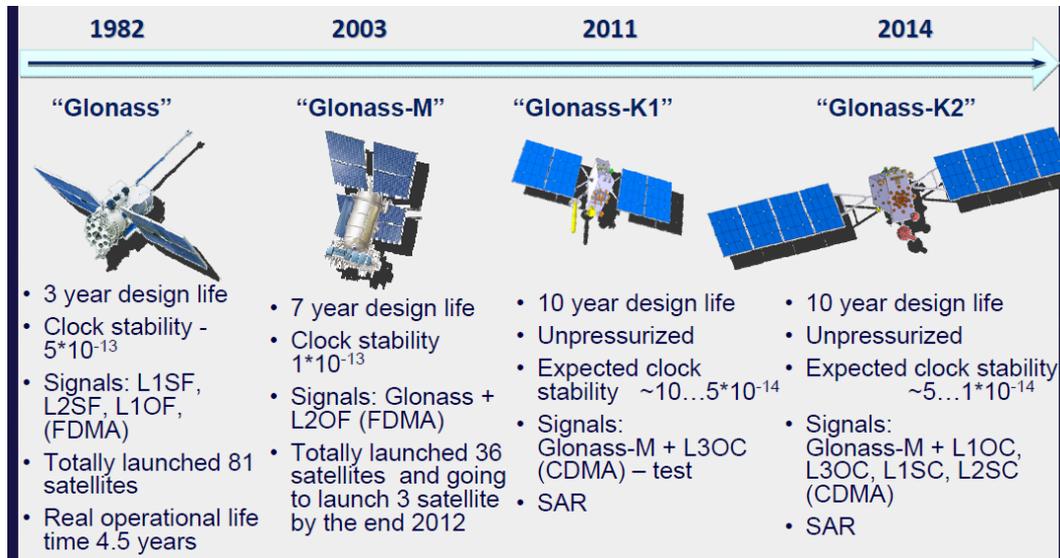


Figura 4.15: Gerações do GLONASS (Fonte: Oleynik, 2011).

#### 4.2.2.2 - SEGMENTO DE CONTROLE

Este segmento consiste de um Centro de Controle Central e de uma rede de estações de rastreamento de satélites no território Russo. Similar ao GPS, monitora o status dos satélites, determina as efemérides e corrige o relógio dos satélites GLONASS com relação ao Tempo Coordenado Universal (UTC) e duas vezes por dia atualiza dados de navegação dos satélites. A partir do ano de 2013, foi instalada na Universidade de Brasília – UnB, Distrito Federal, como parte de um acordo de cooperação internacional entre o Brasil e a Rússia para desenvolvimento de pesquisas na área aeroespacial, a Estação Óptica a Laser Sazhen-TM-BIS, que faz parte do GLONASS e foi a primeira estação instalada fora da Rússia. Esta estação tornou-se oficialmente operacional em agosto de 2014. Mais duas estações no Brasil, através de acordos de cooperação também foram instaladas, uma na cidade de Recife – Pernambuco, no Instituto Tecnologia de Pernambuco – ITEP e outra na Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, cidade de Santa Maria - Rio Grande do Sul.

O segmento terrestre do GLONASS é composto dos Cosmódromos, do Complexo de Comando de Medição (CMC) e Centro de Controle. Os cosmódromos, durante a primeira implantação do sistema de navegação, forneciam meios de colocar os satélites em sua órbita ou substituí-los em caso de falha destes. Ou seja, são bases ou plataformas de lançamento de foguetes: cosmódromos de Baikonur, Plesetsk e Svobodny. O CMC dá informações para navegação dos satélites, bem como controla as espaçonaves. O Centro de Controle, por sua vez, é conectado com os cosmódromos e os CMC, coordenando a operação de todos os sistemas de satélites. Assim como o segmento espacial, o segmento terrestre também foi modernizado, foram introduzidos novos relógios atômicos de Césio e Rubídio nos satélites, implantação de avançadas tecnologias para controle e comando dos satélites e dados da órbita e relógio, baseada em rádio (rádio frequência) e bandas óticas.

O referencial geodésico é o sistema PZ-90 (Parametry Zemli 1990), alinhado com o ITRF (ITRF2000), no nível do milímetro. Foi realizada a sincronização da escala de tempo do GLONASS com o Tempo Universal (UTC) em menos de 2 ns, com a correção dos relógios, em agosto de 2014, excluindo uma componente sistemática (Victor, 2015). Essas implementações resultam em aumento da acurácia do sistema, conforme Fig. 4.16.

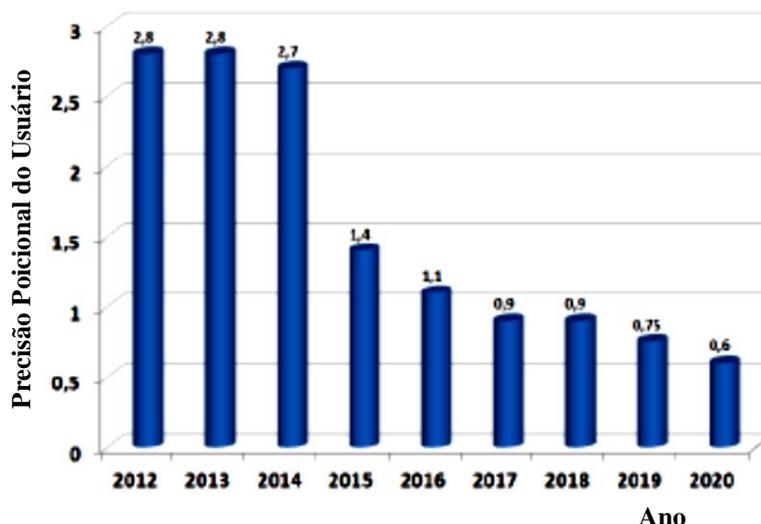


Figura 4.16: Incremento da acurácia posicional ao longo do tempo, devido à modernização do GLONASS (Fonte: Victor, 2015).

### **4.2.3 - SISTEMA GALILEO**

Galileo é o Sistema de Navegação Global Europeu, idealizado e desenvolvido pela parceria entre a Comunidade Europeia (CE – Commission European) e a Agencia Espacial Europeia (ESA – European Space Agency). O sistema nasceu principalmente no intuito de dotar a Europa de independência em navegação por satélite e propõe prover alta acurácia, garantindo o serviço de posicionamento global sob controle da comunidade civil e será inter-operável com outros sistemas de posicionamento (CE, 2015).

O programa do Galileo foi estruturado de acordo com duas fases principais: fase de validação da órbita (IOV – In-Orbit Validation) e fase de plena capacidade operacional (FOC – Full Operatonal Capacity). A primeira fase consistiu em qualificar o sistema através de testes e operações de dois satélites experimentais e uma constelação reduzida de quatro satélites operacionais e de sua infraestrutura terrestre conexas. Os satélites experimentais foram lançados em 2005 e 2008, respectivamente com o objetivo de caracterizar o ambiente de órbita média da Terra (MEO) (radiação, campo magnético, etc.) e para testar o desempenho da tecnologia crítica da carga útil (relógios atômicos), entre outros.

#### **4.2.3.1 - SEGMENTO ESPACIAL**

O segmento espacial do sistema Galileo consistirá, quando em sua constelação completa, de 30 satélites em órbita média da Terra (MEO), a uma altitude de 23.222 km, sendo 24 operacionais e mais seis de reserva, todos ativos, distribuídos em órbitas circulares, em três planos orbitais, com um ângulo de  $56^\circ$  em relação ao plano do equador (ESA, 2015). Segundo Monico (2008), o período orbital é de aproximadamente 14h14min, ocupando a mesma posição no espaço após aproximadamente 10 dias. Com a constelação completa e a configuração dos satélites, os sinais do sistema Galileo terão boa cobertura para latitudes mesmo acima de  $75^\circ$ .

Em 11 de outubro de 2011, os dois primeiros satélites operacionais foram lançados, seguido pelo lançamento dos terceiro e quarto satélites operacionais em 12 de outubro de 2012. A finalidade foi validar plenamente o conceito Galileo, usando os quatro satélites em conjunto com as estações do sistema Galileo e os centros de controle. A primeira posição fixa independente europeia, foi conseguida com o sistema Galileo em 12 de março de 2013.

A segunda fase, FOC, consistiu na implantação da infraestrutura do solo e espaço restante. Ele inclui uma fase operacional inicial intermediária com capacidade com 18 satélites (os quatro satélites IOV mais 14 outros) (CE, 2015).

Em 11 de Setembro de 2015, foram lançados, com sucesso, mais dois satélites Galileo FOC, de números 9 (Alba) e 10 (Oriana), após a fase de teste na órbita, estarão aptos a entrar em serviço. Dessa forma estará no espaço, um terço da constelação planejada para o Galileo. O próximo lançamento está previsto para 15 de dezembro de 2015 (Langley, 2015).

A Comissão Europeia e a ESA pretendem garantir o fornecimento gradual de serviços iniciais do Galileo nos próximos anos, tão logo a constelação de satélites esteja concluída; os serviços completos estarão disponíveis até 2020, usando a rede Galileo completa de 30 satélites (Fig. 4.17) e suas estações terrestres de apoio (CE, 2015).

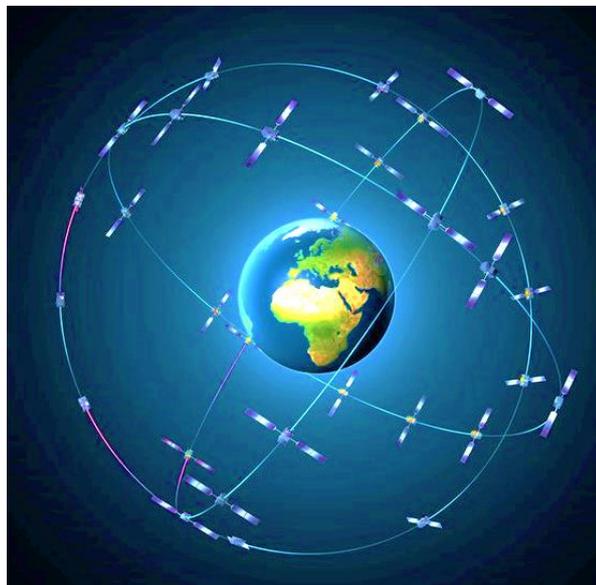


Figura 4.17: Constelação completa do sistema Galileo (Fonte: ESA-P. Carril, 2014).

No que concerne aos sinais transmitidos pelos satélites do sistema Galileo, segundo ESA (2005), cada satélite irá transmitir 10 diferentes tipos de sinais de navegação fazendo o possível para o Galileo oferecer os sinais do tipo aberto (OS), segurança de vida (SOL), comercial (CS) e serviços públicos regulados (PRS). É feita uma distinção entre os sinais que contêm dados de navegação (os canais de dados) e sinais que não transportam dados (canais piloto) (Fig. 4.18).

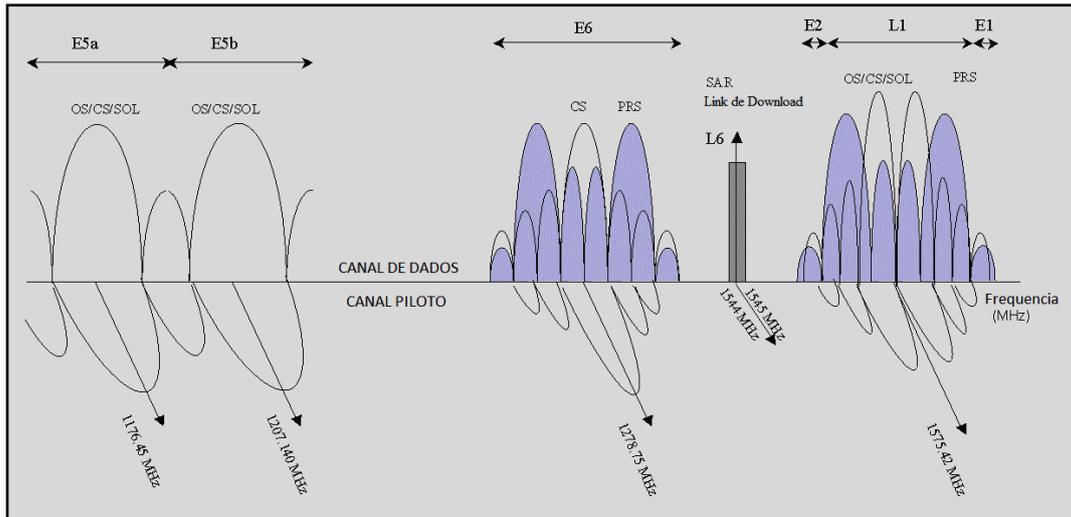


Figura 4.18: Sinais de navegação do Galileo (Fonte: Adaptado de ESA, 2005).

As frequências usadas pelos satélites estão dentro da faixa de 1.1 a 1.6 GHz. Todos os satélites transmitem na mesma frequência, isto é, o sinal Galileo L1 é transmitido em 1575,42 MHz a partir de qualquer satélite. Para permitir que os receptores distingam de quais satélites os sinais são provenientes e para permitir que os receptores meçam o tempo que o sinal levou para se deslocar, a partir do satélite para o receptor, um código é adicionado à sinal, que é diferente para cada satélite. Outros sinais são a portadora E5a com frequência de 1176,45 MHz, E5b com 1207,140MHz e a E6 com 1278,75 MHz.

Cada sistema de navegação tem o seu tempo interno, do sistema de referência, usado para sincronizar todos os relógios do sistema e manter a coerência global. O sistema de tempo utilizado no sistema Galileo é o GST (Galileo System Time), com base no Centro de Controle Galileo, em Fucino, na Itália, pela facilidade de sincronismo preciso, considerando a média dos diferentes relógios atômicos.

#### 4.2.3.2 - SEGMENTO DE CONTROLE

Segundo o ESA (2015), o segmento de controle do sistema Galileo tem dois Centros de Controle Galileo (GCCs) que foram implementados em solo europeu para prever o controle dos satélites e para realizar a gestão das missões de navegação. Os dados fornecidos por uma rede global de estações de sensores Galileo (GSSS) são enviados para os centros de controle Galileo através de uma rede de comunicações redundante. Os GCCs utilizarão os dados das

estações de sensores, para calcular a informação integridade e para sincronizar o sinal da hora de todos os satélites com os relógios das estações terrestres. A troca de dados entre os centros de controle e os satélites é realizada através de estações up-link.

Como um recurso adicional, o Galileo está fornecendo uma função global de Resgate e Salvamento (SAR), com base no sistema operacional Cospas-Sarsat. Os satélites são, portanto, equipados com um *transponder*, o qual é capaz de transferir os sinais de perigo dos utilizadores dos transmissores (usuários) para centros de coordenação de salvamento regionais, o que irá iniciar a operação de resgate. Ao mesmo tempo, o sistema irá enviar um sinal de resposta para o usuário, informando-o de que a sua situação foi detectada e que ajuda está a caminho. Esta última característica é nova e é considerada uma grande atualização em relação ao sistema existente, que não fornece o feedback do usuário.

Ao todo, serão 16 estações de sensores, 2 centros de controle, 5 estações de missão up-link, 5 estações de telemetria, rastreamento e comando estações (TTC), e 4 instalações de serviço, que terá: o centro de serviço Galileo, centro de referência do Galileo, o prestador de serviços de dados de busca e salvamento, e um centro de monitoramento de segurança do Galileo (CE, 2015) (Fig. 4.19).

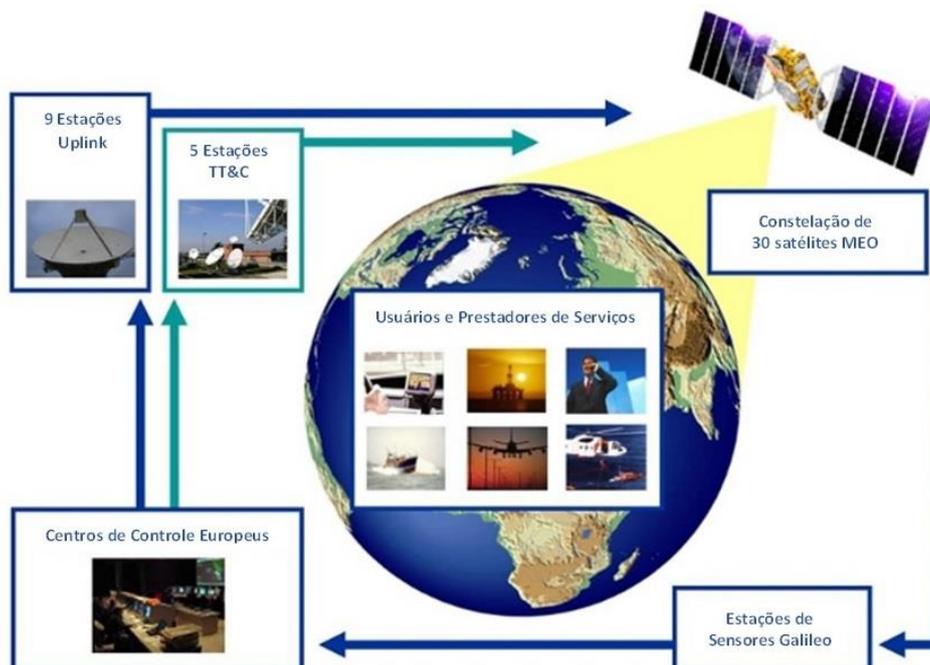


Figura 4.19: Estrutura do sistema Galileo (Fonte: Adaptado de CE, 2015).

Segmento terrestre mundial do sistema Galileo a partir de março de 2013 é o mostrado na Fig. 4.20. A própria escala e alcance das Galileo significa que seu segmento de controle

terrestre é distribuído em todo o mundo, como um dos desenvolvimentos mais complexos já empreendidos pela ESA (ESA, 2014).



Figura 4.20: Segmento terrestre mundial do sistema Galileo a partir de março de 2013  
(Fonte: ESA, 2014).

#### 4.2.4 - SISTEMA BEIDOU/COMPASS

No ano de 1980, a China iniciou estudos sobre sistemas de navegação global de acordo com as condições do país. No ano de 2000, o sistema Beidou foi estabelecido e fez com que a China fosse a terceira nação proprietária de um sistema de navegação global e independente, seguida do USA e Rússia. O objetivo do sistema era de que até o ano de 2012, oferecesse os serviços de navegação e posicionamento para as regiões do Pacífico e Ásia e globalmente, até o ano de 2020 (CSNO, 2013). A terminologia “Beidou”, remonta a estrela Ursa Maior, que era utilizada para identificar as direções.

Nesse contexto, o sistema Beidou (BDS) é o sistema de navegação global por satélite da China que tem sido desenvolvido de forma independente com a meta de ser um sistema aberto, estável e de tecnologia confiável. Bem como, objetiva oferecer um serviço global de posicionamento, de modo a consumir a ampliação do sistema e garantir a sustentabilidade deste.

Quando totalmente implantado, a constelação espacial de BDS será composta por cinco satélites em órbita estacionária (Geostationary Earth Orbit -GEO), vinte e sete satélites em órbita média (Medium Earth Orbit - MEO) e três satélites em órbita inclinada geoestacionária (Inclined Geosynchronous Satellite Orbit - IGSO).

O sistema Beidou, assim como os outros sistemas apresentados, é composto de três partes ou segmentos: espacial, do solo ou terrestre e do usuário (Fig. 4.21).



Figura 4.21: Segmentos básicos do sistema Beidou (Fonte: Adaptado de CSNO, 2015).

Conforme CSNO (2013), o sistema de referência adotado pelo Beidou é o sistema de coordenadas geodésicas da China (China Geodetic Coordinate System 2000 - CGCS2000), que tem origem no centro de massa da Terra. A origem do CGCS2000 é também o centro geométrico do elipsóide CGCS, bem como o eixo de rotação (eixo Z) do sistema.

A referência de tempo para o Beidou é o sistema de navegação por satélite de tempo Beidou (BDT). O BDT adota o sistema internacional de unidades (SI), como unidade básica para a acumulação contínua. A época de início de BDT foi 00:00:00 em 1 de janeiro de 2006, do Tempo Universal Coordenado (UTC). BDT é contado com semana e segundos de semana (DT). BDT é relacionado com o UTC através UTC (NTSC). A compensação BDT em relação a UTC é controlado a razão 100 nanosegundos (módulo 1 segundo). Os segundos bissextos são transmitidos em mensagens de navegação (NAV) (CSNO, 2013)

#### 4.2.4.1 - SEGMENTO ESPACIAL

Segundo CSNO (2013), o sistema Beidou tem sido desenvolvido em conformidade com o roteiro de "três etapas" e o pensamento de "a partir do regional para global, e de "ativo para

passivo" e forma um caminho de desenvolvimento como região-destaque, orientado ao mundo e com características próprias (Fig. 4.22).



Figura 4.22: Etapas de desenvolvimento do Sistema Beidou  
(Fonte: Adaptado de CSNO, 2015).

A constelação inicial de três satélites de órbita geoestacionária (GEO), foi completada em 2003. Um quarto satélite GEO, foi lançado em 2007. O Sistema regional Beidou (Beidou-1) foi substituída por um sistema global, conhecido como Beidou-2 (também denominado Compass). Em 30 março de 2015, foi lançado o primeiro satélite da nova 3ª geração e em setembro de 2015, foi lançado o satélite IGSO I2-S, que é o quarto satélite desta geração (Beidou 3), (GPS World, 2015). (Fig. 4.23).

A constelação espacial do sistema Beidou é composta por 5 satélites GEO e 30 satélites não-Geo. Os satélites GEO são posicionados a uma órbita de 35786 km posicionados a 58.75 ° E, 80 ° E, 110,5 ° E, 140 ° E e 160 ° E, respectivamente. Os satélites MEO estão funcionando a uma órbita de 21,500 km de altitude e uma inclinação de 55 °, os quais são uniformemente distribuídos em 3 planos orbitais. O não-GEO satélites incluem 27 satélites MEO e 3 satélites IGSO.

Os satélites IGSO estão operando em órbita a uma altitude aproximada de 36.000 km e uma inclinação de 55 ° com relação ao plano equatorial, que estão distribuídas uniformemente em 3 planos IGSO.

No que se refere aos sinais do sistema, estes são compostos pela frequência da portadora, variação de código e mensagem de navegação. A portadora B1 possui uma frequência de 1561,098 MHz e a portadora B2, uma frequência de 1207,140 MHz (CSNO, 2013). Segundo o Barbosa (2015) a terceira geração, inclui a migração do sinal B1, para a

frequência de 1575,42 MHz, a mesma frequência dos sinais civis L1 do GPS e E5 do Galileo, modernizados e a banda B3 (IGS, 2015).

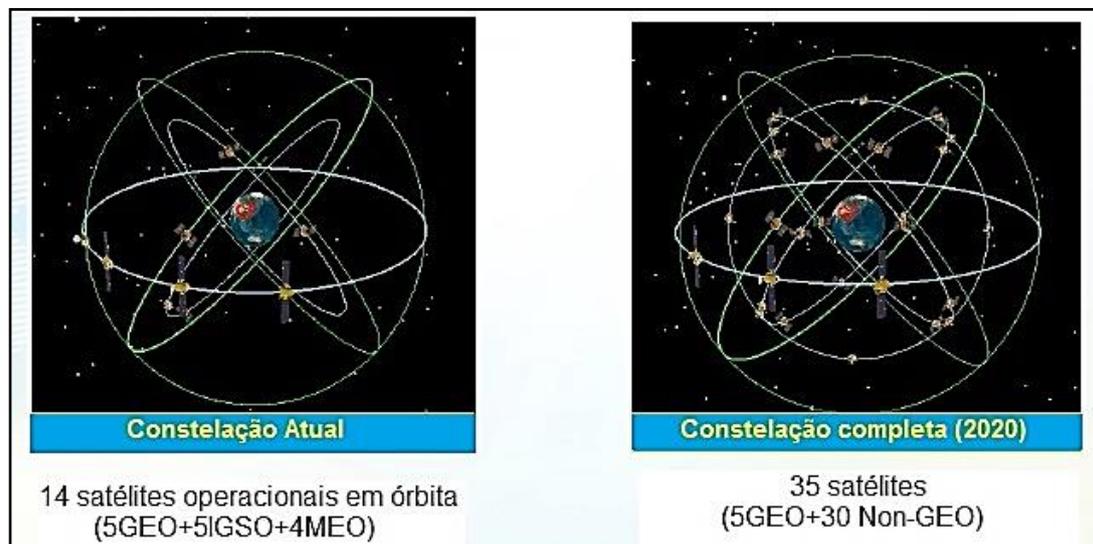


Figura 4.23: Constelação atual e completa (2020), do sistema Beidou  
(Fonte: Adaptado de CSNO, 2015).

#### 4.2.4.2 - SEGMENTO TERRESTRE

O segmento terrestre consiste de uma Estação de Controle Principal (Master) – MCS, Estações de Sincronização do Tempo e Uploads (TS/US) e estações de monitoramento (MS). As principais atividades do MCS, são coletar observações de cada MS, processar dados, gerar mensagens de navegação dos satélites, realizar o upload das mensagens de navegação para os satélites, monitorar a carga útil dos satélites, realizar planejamento e programação da missão e conduzir o sistema de operação e controle.

As principais tarefas dos TS/US são de fazer o upload das mensagens de navegação, para troca de dados com os MCS, realizar a sincronização do tempo e medida, sob a coordenação geral do MCS.

O MS tem como principais atividades, rastrear e monitorar continuamente a os satélites de navegação, receber sinais de navegação e fornecer dados de observação ao MCS, para geração das mensagens de navegação.

### **4.3 - ALGUMAS CONSIDERAÇÕES SOBRE AS OBSERVÁVEIS GNSS E INFLUÊNCIAS NAS OBSERVAÇÕES**

Segundo Seeber (2003), os sinais, em seu trajeto entre satélites e estações terrestres, se propagam através de regiões atmosféricas de natureza diferentes e estado variável e, portanto, experimentam diferentes tipos de influências. Podem ocorrer variações nas direções de propagação, na velocidade de propagação e na intensidade do sinal. Para o usuário que está interessado em sinais sem perturbações atmosféricas, isto aparece como fato indesejado. Os impactos nos resultados observacionais são, em muitos casos, maiores do que a acurácia necessária em geodésia satélite. Consequentemente, as influências atmosféricas têm de ser determinadas diretamente por medição e/ou por modelagem, considerando a aplicação do processo de ajustamento.

Quatro observáveis podem ser identificadas nos sinais dos sistemas que compõem o GNSS (Seeber, 2003): medições de pseudodistâncias a partir do código, diferença de pseudodistâncias a partir da contagem integrada Doppler, fase da onda portadora ou diferença da fase portadora e diferenças do tempo de viagem do sinal a partir das medições interferométricas. Dessas, a pseudodistância e a fase da onda portadora, ou diferença de fase da portadora, são as mais relevantes no posicionamento e permitem determinar a posição, velocidade e tempo (Polezel, 2010).

Outras influências que eivam as medições ou observações, podem ser atribuídas à fatores relativos à imperfeição do equipamento e à falibilidade humana (Gemael, 1994).

#### **4.3.1 - PSEUDODISTÂNCIAS**

Segundo Monico (2010), a pseudodistância nada mais é do que a medida de distância entre a antena do satélite, no instante de transmissão do sinal, e a antena do receptor, no instante de recepção. Ocorre que a medida de distância se baseia nos códigos gerados nos satélites ( $G^s(t)$ ) e no receptor, que gera uma réplica do código produzido no satélite, denominado de  $Gr(t)$ . Considerando que há uma diferença entre os relógios dos satélites, de alta precisão e num determinado sistema de tempo; e os relógios dos receptores, com osciladores de menor precisão

e operando no tempo do próprio receptor, tem-se um retardo ou defasagem ( $\Delta t$ ) no processo de saída e chegada do código, devido a propagação do sinal no trajeto (Fig. 4.24).

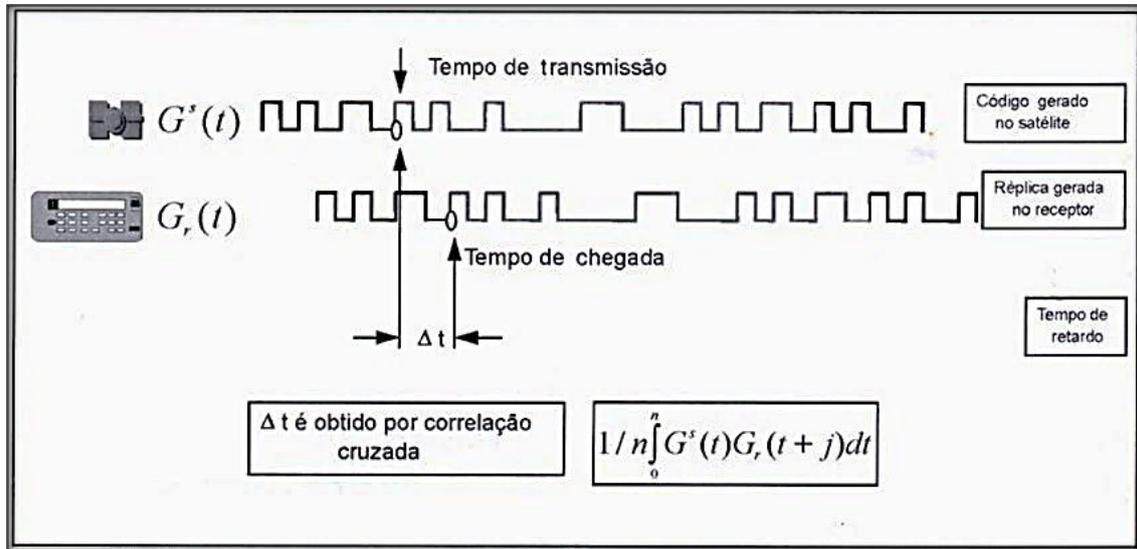


Figura 4.24: Princípio de medida da pseudodistância (Fonte: Monico, 2008).

#### 4.3.2 - FASE DA ONDA PORTADORA

Mais precisa do que a pseudodistância é a observável da fase da onda portadora. Essa medida é realizada a partir da diferença entre a fase do sinal recebido no satélite ( $\Phi^s$ ) e a fase do sinal gerado no receptor ( $\Phi_r$ ), no instante de recepção do sinal ( $t_r$ ). O número de ciclos que entram no receptor é contado a partir da entrada da onda portadora. Ou seja, o receptor conta os ciclos contínuos e sucessivo que recebe. Mas, a entrada de ciclos tem início pela fração ( $\epsilon\phi_r^s$ ) e não pelo início do ciclo; o receptor não conhece o número inteiro de ciclos que havia entre próprio receptor e o satélite, gerando dessa forma uma incógnita, a ambiguidade ( $N_r^s$ ). Esta incógnita é estimada no ajustamento, com os demais parâmetros. O número inteiro de ciclos entre o receptor e o satélite, no instante da primeira medida, deve ser solucionado (Fig. 4.25).

A fase observada, em ciclos, ( $\Phi_r^s$ ), segundo King et al. (1988), citado em Monico (2003), é dada, no instante ( $t$ ) de recepção do sinal na estação de recepção (receptor) por:

$$(\Phi_r^s) = \Phi^s(t) - \Phi_r(t) + N_r^s + \epsilon\phi_r^s \quad (4.3)$$

Uma vez que tal solução seja obtida, pode-se realizar posicionamento com precisão de um a dois centímetros em tempo real (Monico, 2010).

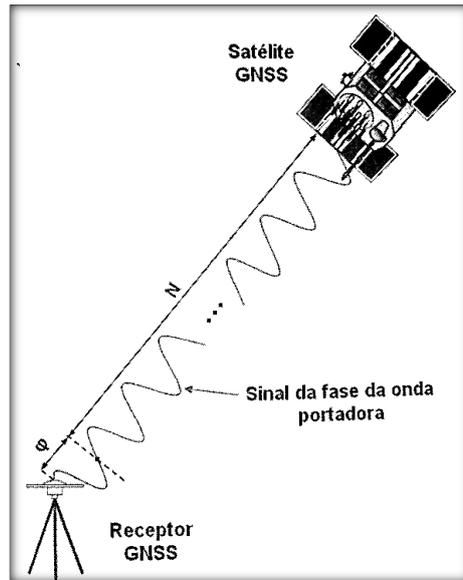


Figura 4.25: Fase da onda portadora (Fonte: Monico, 2008).

### 4.3.3 - ERROS EM MEDIÇÕES POR SISTEMAS DE POSICIONAMENTO

O posicionamento ou medições por GNSS, são suscetíveis à degradação decorrente de três tipos de erros de medição, inerentes aos processos: erros grosseiros, erros aleatórios ou acidentais e erros sistemáticos.

Segundo Gemael (1994), os erros grosseiros referem-se aos erros cometidos normalmente pelo observador por falta de atenção em realizar uma operação, por exemplo ao configurar o receptor de sinais ou coletar dados em um teclado alfanumérico. Esses erros podem se constituir em problemas, pois mesmo a detecção sendo relativamente fácil, em alguns casos, quando os erros são grandes; em outros pode ser difícil, sendo detectável, em geral, por análise estatística. Cercar-se de cuidados, mesmo em procedimentos padrão, pode evitar a ocorrência de erros grosseiros ou mesmo detectá-los.

Erros sistemáticos são os erros decorrentes de causas conhecidas e sistemáticas, podendo ser atribuídos a influências ambientais, a vício de equipamento ou mesmo do operador e tendem a se acumular. Tais erros podem ser eliminados por modelos matemáticos já estabelecidos para esse fim e por técnicas especiais de observação. Os erros acidentais ou aleatórios, são detectados quando os erros sistemáticos já foram eliminados. Esses erros ocorrem ora num sentido, ora em outro, não sendo vinculados a nenhuma causa conhecida e

por apresentarem distribuição normal tendem a se neutralizar à medida que o número de observações cresce, em que pese a sua natureza aleatória.

Monico (2008), enfatiza que, com relação ao posicionamento GNSS, os erros sistemáticos podem ser modelados como termos adicionais ou mesmo eliminados por técnicas apropriadas de observação, assim como erros grosseiros. Os erros aleatórios, em sendo inevitáveis, são uma propriedade inerente às observações. Na Tabela 4.3 são apresentados uma síntese dos erros sistemáticos envolvidos nas observáveis GNSS, quanto à possíveis fontes. Alguns tipos de erros aparecem em mais de uma fonte, pois há influência destes erros também nestas. Polezel (2010) chama a atenção para que os erros mencionados na referida tabela, devem ser atenuados para obtenção de um resultado preciso: com correta técnica de posicionamento, por combinação linear das ondas portadoras ou por adoção de modelos matemáticos adequados. Uma discussão sobre os erros apresentados na Tab. 4.3, fogem ao escopo desse estudo, mas detalhamentos destes, são encontrados em bibliografias que contém o tema, como por exemplo Monico (2008), Seeber (2003), entre outros.

Tabela 4.3: Fontes e efeitos de erros sistemáticos envolvidos no GNSS  
(Fonte: Adaptado de Monico, 2008).

<b>FONTE</b>	<b>ERROS</b>
<b>SATÉLITE</b>	Erro da órbita
	Erro do relógio
	Relatividade
	Atraso entre duas portadoras no hardware do satélite
	Centro de fase da antena do satélite
	Fase wind-up
<b>PROPAGAÇÃO DO SINAL</b>	Refração troposférica
	Refração ionosférica
	Perdas de ciclos
	Multicaminho ou sinais refletidos
	Rotação da Terra
<b>RECEPTOR/ANTENA</b>	Erro do relógio
	Erro entre canais
	Centro de fase da antena do receptor
	Atraso entre duas portadoras no hardware do receptor.
	Fase wind-up
<b>ESTAÇÃO</b> (Alguns erros são, na realidade efeitos geodinâmicos que devem ser corrigidos)	Erro nas coordenadas
	Multicaminho ou sinais refletidos
	Marés terrestres
	Movimento do Polo
	Carga oceânica
	Pressão da atmosfera

#### 4.4 - MÉTODOS DE POSICIONAMENTO GNSS

Conforme IBGE (2008), a determinação da posição de um objeto ou feição, relativamente a um referencial, por meio dos GNSS, pode ser realizado por diversos métodos e observáveis, as quais definem a precisão do resultado. Para um posicionamento que se almeje melhor precisão das coordenadas, é indispensável a utilização da fase da medida da portadora. Outrossim, a utilização da pseudodistância é geralmente aplicada à posicionamentos com precisão de ordem métrica.

O tipo de receptor utilizado em um posicionamento é determinante para obtenção de resultados pretendidos em um posicionamento, considerando o objetivo. IBGE (2008) apresenta a seguinte classificação, conforme a utilização:

**Receptores de navegação** – destinados a levantamentos/posicionamentos com precisão de ordem métrica, sendo utilizada as pseudodistâncias, derivadas do código C/A (no caso do GPS), na maioria dos casos; é possível extrair observações de pseudodistâncias, da fase da portadora, por meio de alguns programas de pós-processamento.

**Receptores Topográficos** - Receptores de uma única frequência, capazes de rastrear a fase da portadora e observações de pseudodistância (P. ex.: L1 e C/A). Esses receptores possuem uma restrição quanto a área de abrangência, num raio de até 10 km, para uma precisão compatível com o objetivo. O receptor pode ser utilizado em conjunto com um ou mais receptores, localizados em estações de referência.

**Receptores Geodésicos** – são receptores capazes de rastrear a fase da onda portadora, pelo menos em duas frequências (L1 e L2), o que permite utilizar uma linha de base maior que 10 km, sendo possível modelar a maior parte da refração ionosférica, a partir do uso da combinação linear livre da ionosfera (ion free).

Monico (2008), esclarece que, quanto ao referencial, o posicionamento pode ser classificado em absoluto e relativo. O posicionamento é dito absoluto, quando as coordenadas estão associadas ao geocentro. E dito relativo, quando as coordenadas são determinadas com relação a um referencial materializado por um ou mais vértices, com coordenadas conhecidas. Complementar à classificação e com relação ao referencial adotado, o objeto a ser posicionado pode estar em repouso ou movimento. Se estiver em repouso o posicionamento é estático, se em movimento é um posicionamento denominado cinemático. Ainda no contexto do posicionamento GNSS, pode-se utilizar o posicionamento denominado diferencial GNSS – DGNSS, através da pseudodistância (Polezel, 2010).

Em posicionamento por satélites de navegação, são comuns os termos posicionamento em tempo real e pós-processado, que são conceitos referidos quando ao modo de obtenção da coordenada do objeto ou feição que se está medindo. Quando há referência a um posicionamento em tempo real, implica que a obtenção da coordenada se dá praticamente no mesmo instante em que as observações são coletadas, por exemplo em navegação ou no posicionamento RTK (Real Time Kinematic), que será abordado posteriormente. No posicionamento pós-processado, a posição dos pontos objeto ou feições, são determinados após o processamento das observações coletadas, em software específico, com técnicas mais rigorosas e controle de qualidade da precisão, quando se objetiva maior precisão, caso de redes geodésicas, por exemplo. Dados de navegação, se armazenados enquanto da coleta, podem ser se pós-processados com relação a uma estação de referência ou PPP (Posicionamento por Ponto Preciso), podendo-se obter resultados refinados. (Monico, 2008).

#### 4.4.1 - POSICIONAMENTO ABSOLUTO OU POR PONTO

Monico (2008), também ressalta que pode existir denominações diferentes para um mesmo tipo de posicionamento, não existindo uma terminologia padrão. Por exemplo, o posicionamento absoluto é também denominado posicionamento por ponto (Fig. 4.26). A característica deste, é quanto ao tipo de efemérides utilizadas para obtenção das coordenadas e observáveis utilizadas (fase da portadora e pseudodistância). Quando se utiliza as efemérides transmitidas (efemérides dos satélites), a posição do objeto é determinada no referencial vinculado ao sistema de referência que está sendo utilizado, ou configurado no receptor e a precisão das coordenadas é menor que 10 metros.

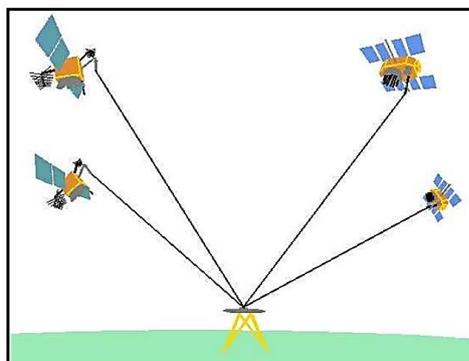


Figura 4.26: Posicionamento Absoluto ou por Ponto (Fonte: IBGE, 2008)

A disposição geométrica dos satélites é um fator importante e que exerce influência na precisão dos resultados que serão obtidos, dado pela diluição da precisão – DOP. O DOP depende da precisão da observação de pseudodistância, associado ao desvio padrão da observação ( $\sigma_r$ ) e da configuração geométrica dos satélites, obtida pelos DOPs. Segundo Monico (2008), existem várias designações de DOP encontrados na literatura tais como HDOP (para posicionamento horizontal), VDOP (para o posicionamento vertical), PDOP (para o posicionamento tridimensional) e TDOP (para determinação do tempo). Para o posicionamento por ponto o DOP mais significativo é o PDOP e pode ser interpretado como sendo o inverso do volume  $V$  de um tetraedro, formado pela posição do usuário e dos quatro satélites.

$$PDOP = \frac{1}{V} \quad (4.4)$$

A melhor geometria ocorre quando o valor do PDOP é menor, ou seja, quando o volume do tetraedro é maximizado. Na figura 4.27 observa-se que a disposição dos satélites implica no volume do tetraedro e que quanto melhor a dispersão destes, melhor a configuração para o posicionamento com melhor resultado. Na atualidade, a disponibilidade de satélites GNSS, supera a quantidade mínima necessária para obtenção de bons resultados.

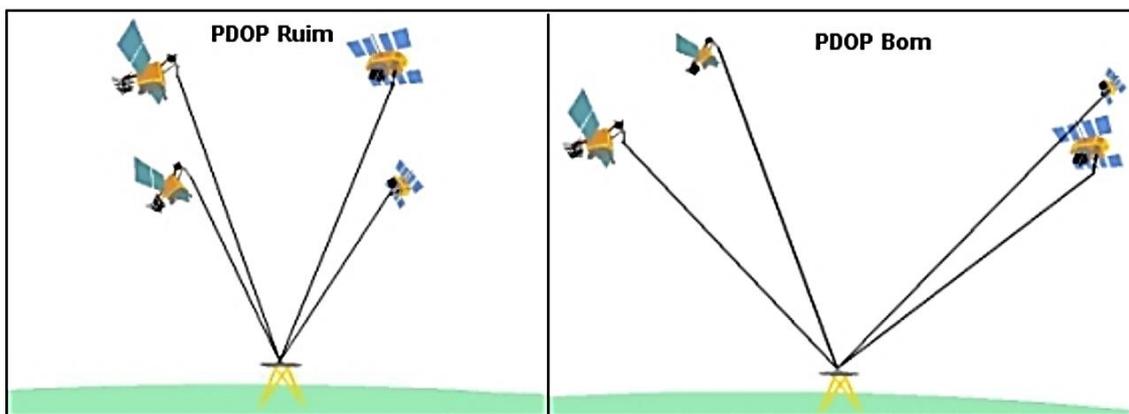


Figura 4.27: Geometria dos satélites – PDOP (Fonte: IBGE, 2008).

Quando se utiliza as efemérides precisas e as correções dos relógios, com dados da fase da portadora, tem-se o posicionamento por ponto preciso (PPP), ou seja, o sistema de referência utilizado é o das efemérides precisas dados pelo IGS, atualmente o ITRF 2008. Esse tipo de posicionamento requer a utilização da pseudodistância e fase das ondas portadoras L1 e L2. Isto possibilita a redução dos efeitos de primeira ordem da ionosfera. Além disso, os efeitos da

troposfera devem ser modelados. Os receptores de navegação não estão preparados para executar este tipo de posicionamento, pois é necessário copiar os arquivos de dados do receptor para posterior processamento em software apropriado, bem como, deve-se empregar antenas geodésicas.

#### 4.4.2 - POSICIONAMENTO RELATIVO

No posicionamento relativo, cujo objeto a ser posicionado, pode também estar em repouso (estático) ou em movimento (cinemático), a posição é determinada com relação a uma ou mais estações de coordenadas conhecidas, denominadas estações de referência ou estação base. São necessários que pelo menos dois receptores colem dados, de no mínimo, dois satélites simultaneamente; um dos receptores deve ocupar a estação com coordenadas conhecidas. Os elementos que compõem a linha base,  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ , são estimados e, ao serem acrescentados às coordenadas da estação de referência ou estação base, fornecem a posição desejada (Monico, 2008); (IBGE,2008), (Fig. 4.28). A precisão, dependendo da observável, varia em função do tipo de equipamento utilizado, tempo de rastreamento das observações, comprimento das linhas de base e modelagem dos efeitos (erros).

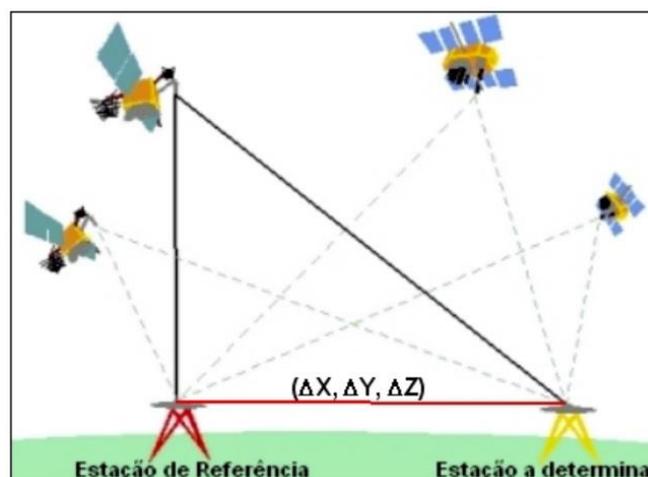


Figura 4.28: Posicionamento Relativo (Fonte: IBGE, 2008)

Segundo Monico (2008), métodos intermediários entre o posicionamento relativo estático e o cinemático, surgiram com o objetivo de aproveitar a capacidade do sistema em fornecer coordenadas muito mais precisas, mesmo após um breve período de coleta de dados,

ou mesmo com o receptor em movimento. Várias terminologias são adotadas para designar o posicionamento relativo, mas algumas referem-se ao mesmo método. Conforme IBGE (2008), o posicionamento relativo pode ser dividido em: estático, estático-rápido, semicinemático e cinemático.

#### **4.4.2.1 - POSICIONAMENTO RELATIVO ESTÁTICO**

No posicionamento relativo estático, dois ou mais receptores rastreiam, simultaneamente, os satélites visíveis por um período de tempo superior a 20 minutos, podendo se estender por várias horas, dependendo do objetivo.

Este tipo de posicionamento permite obter precisão da ordem de 1,0 m a 0,1 ppm, ou mesmo melhor que isso. Levantamentos realizados em linhas de base com comprimento inferior a 10 km, cujos receptores estejam estacionados em locais onde não haja ocorrência de obstrução e sob condições ionosféricas favoráveis, 20 minutos são suficientes para se conseguir solução das ambiguidades com receptores de simples frequência. No entanto, nas redes geodésicas, em que as linhas de base forem maiores que 15 km e a precisão requerida for melhor que 1 ppm, é imprescindível o uso de receptores de dupla frequência e tempo de observação (Monico, 2008).

#### **4.4.2.2 - POSICIONAMENTO RELATIVO ESTÁTICO-RÁPIDO**

O posicionamento relativo estático-rápido é também conhecido pela terminologia de pseudocinemático. É realizado de forma similar ao estático, mas diferença fundamental entre estes métodos está no intervalo de tempo do rastreamento, que é inferior a 20 minutos. Este tipo de posicionamento é adequado quando se deseja alta produtividade, sendo possível a utilização de receptores de frequência simples ou duplas, mas observado uma linha de base de até 10 km. E sob circunstâncias normais, sua precisão varia de 1 a 5 ppm.

Um receptor serve como base, permanecendo fixo sobre uma estação de referência, coletando dados, enquanto outro receptor percorre as estações de interesse, permanecendo nestas por cerca de 5 a 20 minutos, coletando os dados, não sendo necessário desligar o receptor

móvel entre as estações. Posteriormente os dados, tanto da estação base quanto das estações móvel, devem ser processados.

#### **4.2.2.3 - POSICIONAMENTO RELATIVO SEMICINEMÁTICO**

O posicionamento relativo semicinemático também é conhecido como posicionamento pseudo-estático. Como as próprias denominações sugerem, esta técnica de posicionamento pode ser entendida como um estágio de desenvolvimento intermediário entre o posicionamento relativo estático e cinemático. É uma técnica similar ao estático-rápido, onde o diferencial está no tempo de permanência em cada estação e na necessidade do receptor permanecer ligado durante todo o período do levantamento. Este posicionamento baseia-se no fato de que a solução do vetor de ambiguidades, requer que a geometria envolvida entre as duas estações e os satélites, se altere. Dessa forma, coletam-se dados na estação base e por, no mínimo, dois curtos períodos na estação em que se pretende determinar suas coordenadas. As duas coletas devem ser realizadas por um intervalo de tempo suficiente (20 a 30 minutos) para proporcionar alteração na geometria dos satélites e permitir a solução das ambiguidades (Monico, 2008).

Alguns autores inserem nesta técnica, o posicionamento stop-and-go, que segundo Seeber (2003), provavelmente deu origem à denominação dos levantamentos cinemáticos. A ideia básica é que, inicialmente, determina-se as ambiguidades e num segundo momento se ocupa as estações de interesse, por um curto intervalo de tempo, o suficiente para identificar a estação (stop) e em seguida deslocar-se para próxima (go), sem perder a sintonia dos satélites. É um método adequado para áreas não sujeitas a obstrução de sinais e é essencial que o receptor informe em caso de perdas de ciclo (Monico, 2008)

#### **4.2.2.4 - POSICIONAMENTO RELATIVO CINEMÁTICO PÓS- PROCESSADO E EM TEMPO REAL**

Com precisão na ordem de 1 a 10 ppm, o posicionamento relativo cinemático consiste em se determinar um conjunto de coordenadas para cada época de observação, onde um receptor ocupa a estação de referência enquanto o outro permanece estacionado ou se deslocando sobre as feições de interesse. Portanto, no posicionamento cinemático, embora a

antena esteja em movimento, a trajetória é descrita por uma série de pontos. Isso tem como consequência a necessidade de o usuário dispor de no mínimo cinco satélites para realizar o posicionamento (IBGE, 2008). Os dados desse tipo de posicionamento podem ser processados após a coleta (pós-processados) ou durante a própria coleta (em tempo real).

Conforme Monico (2008), no posicionamento relativo cinemático tem-se como observável fundamental a fase da onda portadora, muito embora o uso da pseudodistância seja muito importante na solução do vetor de ambiguidade. Quando os dados são processados após a coleta, diz-se que estes são pós-processados. As observações simultâneas dos dois receptores possibilitam calcular as duplas diferenças de fase, onde vários erros envolvidos nas observáveis são reduzidos. Quanto à solução do vetor de ambiguidades, as opções são de solucioná-los antes de iniciar o movimento ou estima-los com os dados coletados em movimento. Se não houver perda de sintonia com os satélites, durante todo o trajeto, o vetor de ambiguidade pode ser solucionado no ajustamento ao final do levantamento.

Há muito benefícios, em diversas aplicações, na obtenção das coordenadas da antena do receptor em tempo real, notadamente quanto à redução do tempo de execução e equipe, maior produtividade e menores custos envolvidos.

Conforme Monico (2008), para obtenção das coordenadas corrigidas no momento seguinte à observação, é necessário que os dados coletados na estação de referência sejam transmitidos para a estação móvel. Para tanto há necessidade de um sistema de comunicação entre a estação base ou de referência e a estação móvel. Também o receptor da estação móvel, deve dispor de software apropriado para realização do processamento dos dados, em tempo real, com solução quase instantânea do vetor de ambiguidades. Esse método é denominado de Posicionamento RTK (Real Time Kinematic), em que se utiliza a fase da onda portadora para obtenção das coordenadas corrigidas. O sistema RTK é composto por dois receptores, com uma ou mais frequências, com as respectivas antenas, link de comunicação, para transmissão e recebimento de correções e/ou observações, da estação de referência e software apropriado para realizar o processamento e validação dos dados. Normalmente o sistema de comunicação entre o a estação de referência e a estação móvel é um link de rádio (Fig. 4.28a).

Para execução do posicionamento RTK, a Radio Technical Commission for Maritime Services Special Committee 104 (RTCM SC-104), adicionou quatro novos tipos de mensagens criando um novo formato, apropriado para transmissão das correções diferenciais da fase da portadora. Essas mensagens contém as medidas de fase da onda portadora e pseudodistâncias coletadas na estação de referência e as correções às respectivas medidas, as quais devem ser enviadas para estação móvel, com as demais informações necessárias.

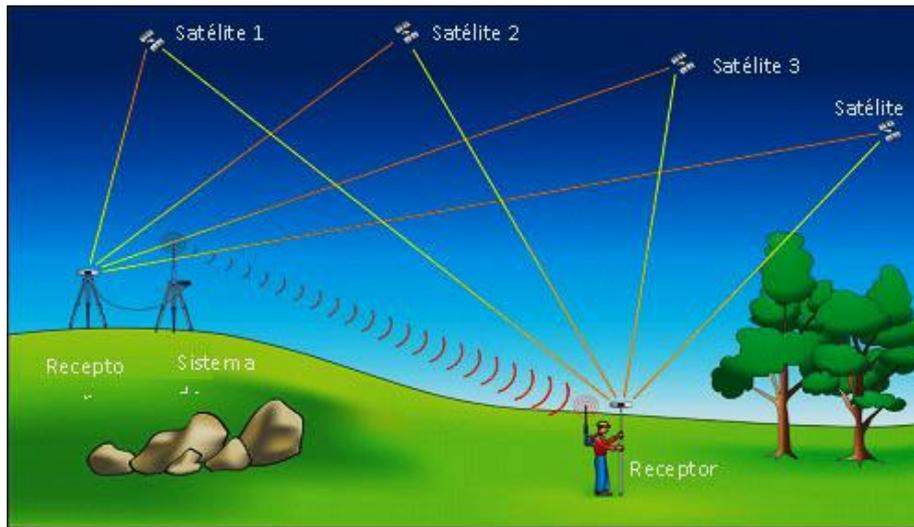


Figura 4.28a: Posicionamento cinemático em tempo real – (DGPS e RTK)

Conforme Langley (1998) uma das limitações desta técnica diz respeito à utilização do link de rádio na transmissão das correções. Como a transmissão deve ser realizada a uma taxa de pelo menos 2400 bits por segundo, exige-se o uso de frequências UHF (Ultra High Frequency) ou VHF (Very High Frequency), o que limita o uso em distâncias menores que 4,3km.

Outras considerações referem-se à latência do sistema e à perda de ciclos. A primeira diz respeito ao atraso no processamento dos dados, decorridos desde a coleta destes na estação de referência, até o instante em que eles se tornam disponíveis no receptor móvel. A segunda refere-se ao fato de que a perda de ciclos irá degradar a acurácia do posicionamento e, portanto, faz-se necessária a utilização de software no receptor móvel, cujo algoritmo seja capaz de detectar e corrigir as falhas de perda de ciclos, em tempo real.

Uma alternativa principalmente ao problema do limite de alcance na transmissão de correções UHF/VHF é a utilização da técnica RTK utilizando um outro sistema de transmissão de dados, para o qual a distância da estação móvel à estação de referência seja resolvida. A solução vem através do uso da conexão GSM (Global System Mobile) / GPRS (General Packet Radio Services), e estações de referência de uma rede de estações ativas.

A transmissão das correções dos sinais de satélite GNSS da estação de referência para estação móvel, através da Internet, pela telefonia celular, com a conexão GSM/GPRS em substituição as transmitidas via rádio UHF em tempo real é realizada com o uso de um protocolo HTTP, o NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol), desenvolvido com o propósito de substituir o link de rádio pela conexão via Internet.

Segundo Guandalini (2012), na União Europeia estima-se que o uso da técnica usando a conexão GSM/GPRS é de 95% enquanto que o uso da conexão UHF/VHF é de apenas 5%. No Brasil o posicionamento RTK, com o uso da conexão GSM/GPRS ainda é incipiente se comparado conexão UHF/VHF, de cerca de 1% dos levantamentos à época do estudo. O posicionamento RTK com conexão GSM/GPRS será tratado com maior ênfase no item 4.4.4, passando a ser utilizada a expressão posicionamento pelo RTK via NTRIP ou posicionamento RTK/NTRIP, considerando que a transmissão dos dados (correções) utiliza o protocolo NTRIP. Na Tab. 4.4 é apresentada uma síntese das vantagens da conexão GSM/GPRS em relação à conexão UHF/VHF.

Uma outra opção de levantamento relativo cinemático é técnica RTK em rede. Conforme Souza (2013), o método RTK foi expandido para uso em rede com o objetivo de eliminação de alguns erros sistemáticos, principalmente os provenientes das refrações troposféricas, ionosféricas e erros do estado dos relógios dos satélites em relação ao tempo GNSS. Com esse método existe, além de outras, a possibilidade de se usar o conceito VRS (Estação de Referência Virtual). O usuário poderá ampliar a distância do receptor móvel em relação às estações de referência, além de melhorar a confiabilidade dos resultados (Monico, 2008).

Tabela 4.4: Vantagens e Desvantagens das conexões GSM/GPRS e UHF/VHF, no posicionamento RTK. Fonte: Adaptado de Guandalini (2012).

	<b>Conexão UHF/VHF</b>	<b>Conexão GSM/GPRS</b>
<b>Vantagens</b>	Sistema de trabalho independente da cobertura GSM	Custo baixo do sistema completo
	Envio das correções de fase sem custo adicional	Equipe de campo com apenas 1 profissional
		Não há limitações topográficas para o envio de correções de fase
		Aumento na produtividade dos projetos realizados
<b>Desvantagens</b>	Custo elevado do sistema completo	Necessidade de cobertura GSM na área de trabalho
	Limitações de alcance dos rádios devido a obstáculos topográficos	
	Receptor base com grande número de periféricos em campo	Usuário torna-se susceptível a problemas com a rede GSM.
	Necessita trocar a posição do receptor base, conforme o trabalho de campo	
	Equipe de campo de no mínimo 2 profissionais	

A utilização de um número maior de estações de referência permite realizar a combinação das observações por meio de modelagem, e assim tratar os erros atmosféricos dentro da área de abrangência da rede. A modelagem dos erros facilita a solução correta das ambiguidades da fase da onda portadora, com adição indispensável para obtenção da acurácia a nível centimétrico no posicionamento (Barbosa et al., 2010).

#### **4.4.3 - POSICIONAMENTO DGNSS**

No posicionamento diferencial GNSS (DGNSS), um receptor móvel coleta dados simultaneamente à uma estação fixa, de coordenadas conhecidas. São calculadas diferenças, nas coordenadas, tanto da estação fixa, quanto do receptor móvel; bem como são calculadas as diferenças da pseudodistâncias da estação fixa e o receptor móvel, tanto as observadas a partir dos satélites (posição por ponto), quanto a partir da estação fixa. Dessa forma, a qualidade dos resultados melhora consideravelmente. A diferença deste método de posicionamento para o posicionamento relativo é que neste último há um vetor ligando as duas estações e o que se usa é o modelo de combinação linear simples das observáveis ou de dupla diferença (Monico, 2008).

#### **4.4.4 - POSICIONAMENTO RTK VIA PROTOCOLO NTRIP (RTK VIANTRIP)**

O posicionamento RTK/NTRIP tem como princípio o fato de que as correções recebidas na estação móvel, são oriundas não de um link de rádio, como no posicionamento tradicional RTK, mas de uma conexão de Internet. As correções são transmitidas de uma estação de referência, de coordenadas conhecidas para a estação móvel. Dessa forma, são necessários para o posicionamento RTK/NTRIP, um receptor de uma ou mais frequências, com modem e software adequado para receber as correções; a coordenada da estação de referência ativa e o acesso ao recebimento das correções a partir de um serviço específico de disponibilização dessas correções.

No que tange aos receptores GNSS para posicionamento RTK/NTRIP, vários fabricantes disponibilizam a tecnologia em seus equipamentos, a diferença está na operacionalidade dos sistemas de navegação. De qualquer forma, na atualidade, os receptores são construídos com a opção de atualização dos softwares que os compõem, para recepção de

sinais de qualquer sistema de navegação, simultaneamente. A qualidade da conexão GSM/GPRS, pode influenciar na recepção das correções.

As estações de referência ativa, são um fator sem o qual não é possível esse tipo de posicionamento. A quantidade destas estações e distribuição no território, tem impacto na precisão do posicionamento. No Brasil, a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo, do IBGE, disponibiliza correções aos usuários através do protocolo específico para dados GNSS, o NTRIP no formato RTCM 3.1.

#### **4.5 - SISTEMAS DE TRANSMISSÃO DE DADOS GNSS EM TEMPO REAL ATRAVÉS DO PROTOCOLO NTRIP**

A transmissão de dados GNSS em tempo real demanda da utilização de um sistema de comunicação Internet GSM/GPRS e de Estações de Referência Ativas GNSS. Conforme Pivaro (2008), o GSM é constituído por alguns elementos, a saber: Estação Móvel, Estação Rádio Base, Controladora da Estação Rádio Base e o Sistema de Comutação.

A Estação Móvel (EM), é o conjunto formado por um aparelho telefônico móvel (celular) e o módulo assinante (SIM Card), sendo o único componente da rede móvel GSM que está ligado diretamente ao usuário assinante, possibilitando-o receber ou efetuar chamadas de voz ou dados. O módulo assinante é um microchip (SIM Card) cuja principal função é armazenar dados referentes à assinatura e ao assinante, necessários para utilização da rede GSM.

A Estação Rádio Base (ERB), é responsável por controlar o canal que a EM necessita trocar informações com a rede. As ERB's em geral, utilizam estruturas verticais para fixação de antenas, de modo a obter uma eficiente propagação de sinal, também chamada de interface aérea. A área de cobertura de uma ERB é denominada de célula e o fato de uma rede GSM ser composta por uma série de células agrupadas, fez com que o sistema de telefonia móvel recebesse a denominação de telefonia móvel celular ou sistema móvel celular. A Fig. 4.29 apresenta um esquema teórico da área de cobertura de uma rede GSM, com várias ERB's e suas respectivas células, que se encaixam perfeitamente. Ocorre que as ondas irradiadas sofrem atenuação ao longo do caminho e não se propagam uniformemente em todas as direções, decorrentes da variação de relevo nas regiões onde estão instaladas as ERB's, bloqueando o sinal em algumas áreas inscritas nos polígonos e deformando-os (Fig. 4.30). Se uma EM

encontra-se na região de borda de células, a operadora da rede utiliza parâmetros de cobertura, de modo que a EM esteja sempre na célula mais adequada realizar ou receber uma chamada.

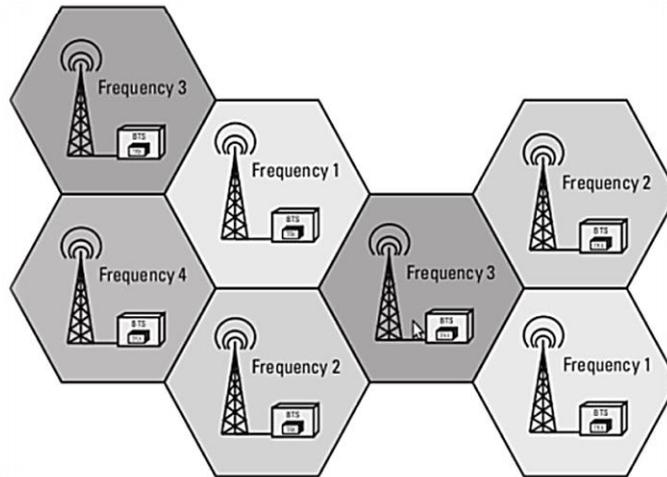


Figura 4.29: Esquema teórico da cobertura de uma rede GSM (Fonte: Heine, 1999).

A Controladora da Estação Rádio Base (BSC - Base Station Controller), conforme Heine (1999), tem como função o controle das ERB's e coletam informações sobre o tráfego de dados e o comportamento das EM's.

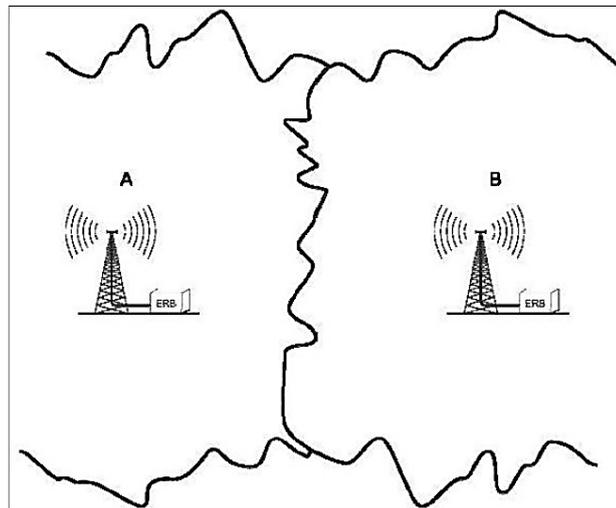


Figura 4.30: Esquema real de uma borda de cobertura de duas células de ERB's: o relevo irregular (topografia) influencia a área e cobertura (Fonte: Pivaro, 2008).

O Sistema de Comutação (SS), recebe o nome de *core* (núcleo) e sua função principal é comutar as chamadas, por meio da conexão ao sistema de estação base, que é composto pelas ERB's e a Estação Base de Comutação, completando os elementos do GSM.

A tecnologia GPRS, por sua vez é uma evolução do GSM cuja essência é possibilitar o tráfego de dados por pacotes para que a rede de telefonia celular possa ser integrada à internet. O GSM com o GPRS integrado recebeu o nome de geração 2.5G, que foi uma evolução essencial nas telecomunicações (Santos, 2008). Sua arquitetura utiliza toda a estrutura já montada na rede GSM, incluindo-se novos elementos de rede e interfaces, além de atualizar alguns já existentes.

Seguindo a atualização de tecnologias, foi desenvolvida uma nova geração denominada tecnologia EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution), que caracteriza a geração 2.75G, posterior à 2G ou à 2.5G. A principal função dessa tecnologia foi de aumentar a eficiência do GPRS, motivo pelo qual também é conhecida como GPRS Melhorado (Enhanced General Packet Radio Services – EGPRS). A Tab. 4.5 resume as características das tecnologias GSM, GPRS e EDGE, quanto ao aumento da taxa de transmissão de dados por comutação do circuito. A principais diferenças das fases da segunda geração de celulares está no transporte de dados e nas taxas de transmissão requeridas por cada um (Santos, 2008).

Tabela 4.5: Comparativo entre as tecnologias GSM, GPRS e EDGE (Fonte: Santos, 2008)

TECNOLOGIA	SERVIÇO	Taxa de transmissão máxima por ITC (kbits/s)	Taxa de transmissão máxima por ITC por quadro – ITCs (kbits/s)
GSM	Voz	13	13
	Dados por comutação de circuitos	14,4	14,4
GPRS	Voz	13	13
	Dados por comutação por pacotes	21,4	171,2
EDGE	Voz	13	13
	Dados por comutação por pacotes	59,2	473,6

Por conseguinte, com a necessidade de uma demanda de transmissões mais rápidas e eficientes, a tecnologia UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) foi desenvolvida para ser uma solução integrada para aspectos de transmissão de voz e dados na telefonia. Foi concebida para ser o sucessor 3G da tecnologia GSM e possibilitar um uso efetivo

de banda larga móvel, com taxas de até 2 Mb/s para usuários com pouca mobilidade, e até 144 Kb/s em situações de alta mobilidade (Guedes e Vasconcelos, 2009). Sua arquitetura utiliza a mesma rede de suporte dos sistemas GPRS e EDGE, oferecendo menor custo por bit, se comparado a essas tecnologias (Fig. 4.31). A principal diferença entre esses sistemas está nos protocolos e interfaces da interface aérea.

Os avanços na tecnologia UMTS, melhorando sua infraestrutura, mais precisamente de maior velocidade de acesso e capacidade da rede, além de melhor transmissão de dados foram denominados de HSPA (High Speed Packet Access), também conhecidos como 3.5G.

Conforme Guedes & Vasconcelos (2009), buscando-se soluções para tornar a transmissão de dados mais eficiente, ao mesmo tempo em que o volume do tráfego encontra-se em franca ascensão, foi desenvolvido o padrão LTE (*Long Term Evolution*) definindo o sistema móvel de 4ª Geração (4G). O objetivo foi oferecer velocidades ainda maiores de transmissão de dados: a tecnologia LTE alcança taxas de 75 Mbit/s no *uplink* e até 300 Mbit/s no sentido de *downlink*. Do ponto de vista das estruturas físicas, as antenas da rede 4G são mais baixas e possuem um sinal mais denso, podendo servir a um número 3 a 4 vezes maior de assinantes, bem como suportar mais usuários simultaneamente. No entanto, as antenas 4G possuem uma cobertura menor, exigindo um maior número dessas para um sinal constante (Fig. 4.32).

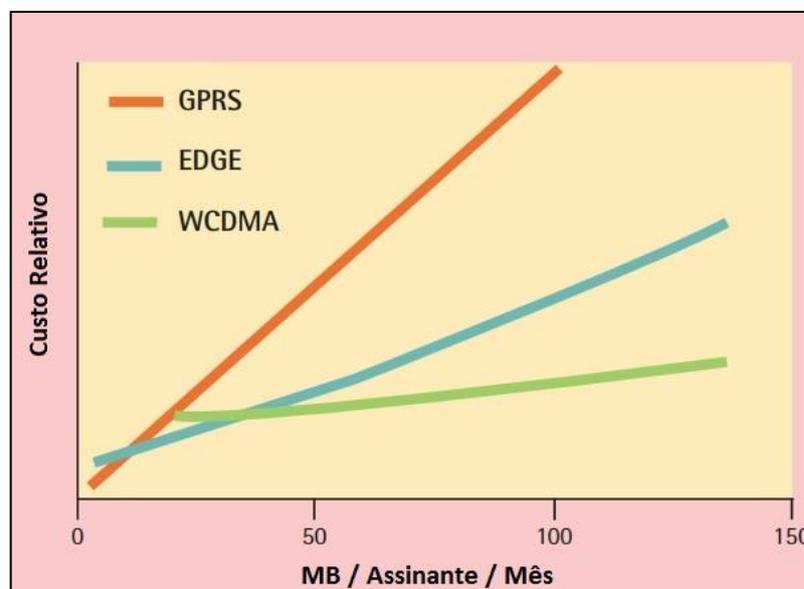


Figura 4.31: Comparação do custo relativo do número de assinantes 3G/UMTS (WCDMA) que oferece menor custo que as tecnologias GPRS e EDGE (Fonte: UMTS Fórum, 2005).

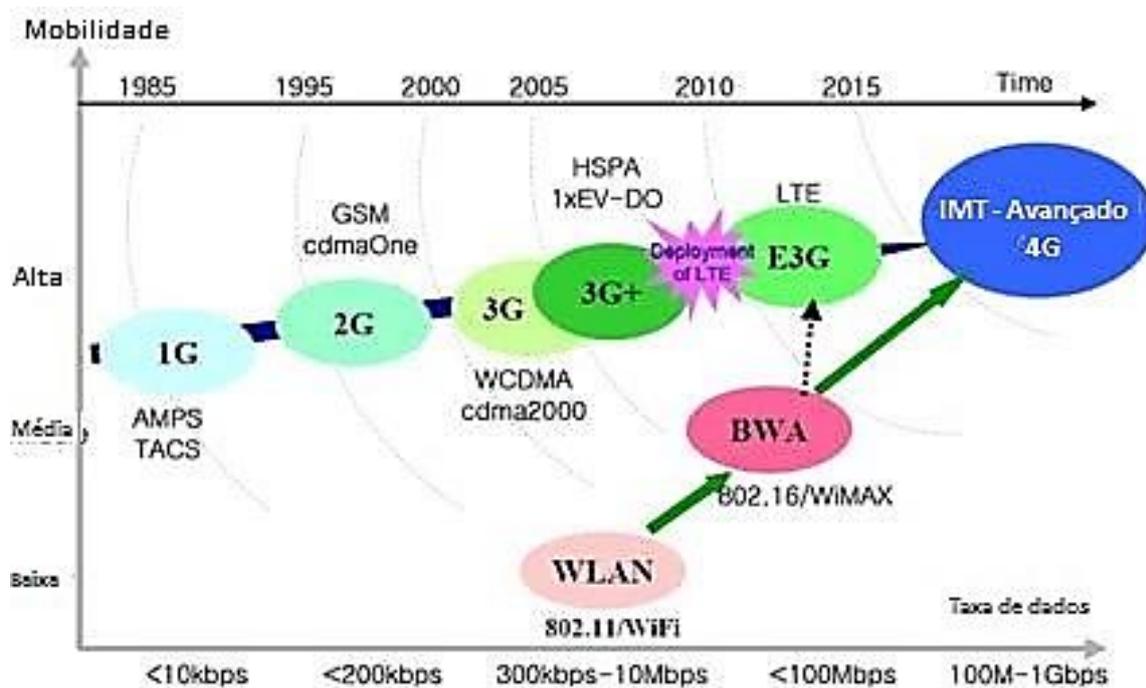


Figura 4.32: Evolução da tecnologia GSM de acordo com velocidade e geração.  
 Fonte: UMTS (2008), citado em Mota (2010).

No Brasil, segundo a Anatel (2015) a tecnologia 4G, em dezembro de 2014, cobria 147 municípios, destes incluídos 23 capitais e o Distrito Federal, atingindo um total de 41,8% da população. A previsão para dezembro de 2016, é de que todos os municípios com mais de 100 mil habitantes tenham o serviço, no total de 288, perfazendo 55,1% da população com cobertura 4G. Diferente da rede 3G, onde a transmissão de dados entre as torres e a central de comunicação ocorre por meio de ondas de rádio, a rede 4G do Brasil utiliza cabos de fibra óptica. A Fig. 4.33 mostra a cobertura 4G da operadora Claro (Claro, 2016), para uma determinada região de Recife, capital do estado de Pernambuco. O usuário pode consultar a área de abrangência, informando o CEP (Código de Endereçamento Postal) da área de interesse. É informada além da cobertura, a qualidade da área coberta e a finalidade, por meio de uma legenda. Segundo a operadora, a velocidade de navegação depende de condições externas (climáticas e topográficas), da velocidade de deslocamento e da distância que o usuário se encontra das antenas de transmissão, podendo variar. A cobertura GSM no Brasil apesar de ter evoluído, ainda é bastante precária: há necessidade de aumento substancial de ERB's, mesmo próximo à grandes centros urbanos existem áreas com baixa cobertura de sinal e em zonas mais afastadas, ou mesmo nenhuma cobertura. A tendência é o incremento sistemático das redes, quanto às taxas de transmissão de dados, considerando que a demanda é crescente.

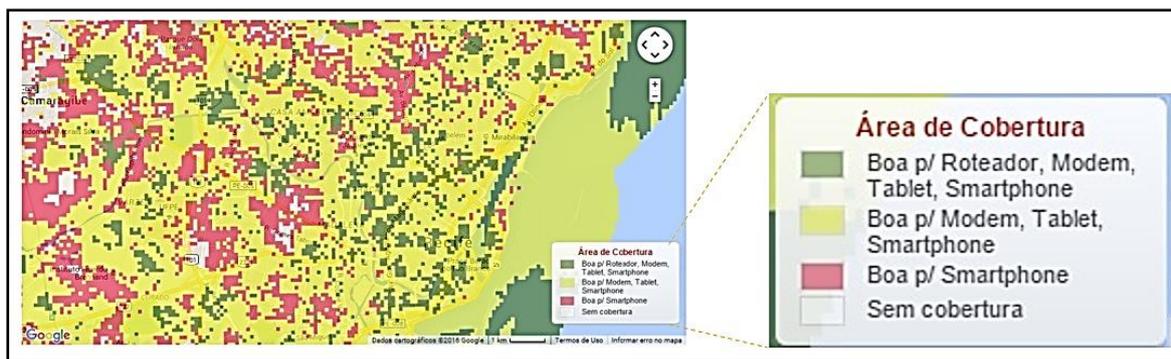


Figura 4.33: Área de cobertura 4G, de uma região na cidade de Recife, PE. Brasil, com indicativo de área de cobertura para melhor resultado, conforme a aplicação (Fonte: Claro, 2016).

#### 4.6 - PROTOCOLO NTRIP

Segundo Kurose e Ross (2006), um protocolo define o formato e a ordem de mensagens trocadas entre duas ou mais entidades de comunicação, bem como as ações tomadas sobre a transmissão e/ou recepção de uma mensagem ou outro evento. Nesse contexto, o uso de protocolos comuns entre usuários, pressupõe compatibilidade e interoperabilidade. Para intercâmbio de dados GNSS alguns protocolos foram desenvolvidos, sendo os protocolos NMEA 0813 e RTCM-SC-104, os que se tornaram padrões na área de posicionamento, respectivamente produzidos pela National Marine Electronics Association (NMEA) e pelo Special Comitê 104 da Radio Technical Commission for Maritime, (RTCM), organizações não governamentais dos EUA.

O Comitê Especial 104 (SC-104) da RTCM, é responsável pela disseminação dos padrões para os sistemas diferenciais GNSS, utilizados mundialmente para navegação por satélite, tanto marítima quanto terrestre. Os padrões são compostos por mensagens numericamente identificadas, de acordo com o tipo de informação transmitida, tanto da estação de referência, quanto de dados do sistema. De acordo com a evolução das técnicas de posicionamento, de novas tecnologias e meios de comunicação, foram incorporadas novas mensagens, constituindo as diferentes versões do padrão RTCM SC-104. Na Tab. 4.6, um exemplo do conteúdo de alguns tipos de mensagens para versão 2.3 do padrão RTCM, lançado no ano de 2001. A versão RTCM 10403.2 (Differential GNSS – Versão 3, de fevereiro de 2013), é a mais atual para o padrão.

Em setembro de 2004 a RTCM SC-104 adotou um novo protocolo padrão para transmissão das mensagens GNSS padronizadas através da Internet, denominado NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol). Esse padrão foi denominado RTCM 10410.0. Em junho de 2011 foi publicada uma nova versão (2.0) com implementações, denominada RTCM 104110.1(RTCM, 2015).

Tabela 4.6: Alguns tipos de mensagens padronizadas padrão RTCM versão 2.3 (2001).

1 Correções Diferenciais GPS	16 Mensagem Especial
2 Correções Delta Diferenciais GPS	18 Observações Brutas da Fase da Portadora RTK
3 Parâmetros da Estação de Referência GPS	19 Observações Brutas de Pseudodistância RTK DH8-12 Original 9 – 12
4 Datum da Estação de Referência	20 Correções de Fase da Portadora RTK
5 Saúde da constelação GPS	21 Correções de alta precisão de Pseudodistância RTK
6 Mensagem nula	22 Parâmetros Estendidos da Estação de Referência
7 Almanaque dos Radiofaróis DGPS	23 Registro de Definição do Tipo de Antena
8 Almanaque das estações pseudolites	24 Ponto de Referência da Antena (ARP)

O Protocolo NTRIP foi desenvolvido pela Agencia Federal Alemã de Cartografia e Geodesia (BKG) em cooperação com a Universidade de Dortmund. Trata-se de um protocolo genérico global baseado em HTTP 1.1 (Hypertext Transfer Protocol) para transmissão de dados diferenciais pela Internet, comparativamente fácil de implementar e que pode ser acessada através de serviços móveis de transmissão do protocolo IP, tais como GSM, GPRS, EDGE ou UMTS (Weber et al., 2003).

Segundo Chen & Weber (2004), as principais características do protocolo NTRIP são:

- Aplicação não é limitada a um plano particular ou a um conteúdo codificado de transmissão, possui capacidade de distribuir qualquer tipo de dados GNSS.
- Potencial para suportar uso em massa, disseminando centenas de transmissões simultaneamente, para até mil usuários possível, quando se usa software de transmissão via Internet.
- Considerando as necessidades de segurança; provedores de transmissão e os usuários não necessariamente entram em contato; transmissão via HTTP, muitas vezes não está bloqueado por firewalls ou servidores proxy que protegem a rede local.

- Permite transmissão através de qualquer linha fixa ou rede IP móvel por causa do uso do protocolo TCP / IP.

Lenz (2004) diz que não há desvantagens explícitas na utilização do protocolo NTRIP como uma alternativa aos métodos mais tradicionalmente aceitos de obtenção de correções em tempo real. O NTRIP permite fluxos de dados de estações de referência ou bases de dados para aplicações de SIG, que podem ser acessados por uma variedade de clientes e usuários através de uma técnica de comunicação definida. Os usuários móveis, tais como RTK e de mapeamento /GIS, podem usar o seu receptor e com um telefone celular GPRS, para acessar a Internet no campo e, ao mesmo tempo aplicações estacionárias na periferia estação de referência podem estar acessando os mesmos dados.

Dammalage et al. (2006) concluíram que usar o transporte de dados RTCM via NTRIP, com qualquer software compatível comercial ou cliente, proporciona benefícios significativos para os usuários GNSS - RTK / DGPS. Um dos aspectos mais positivos do NTRIP é o fator de custo e da maior distância da estação base. Além disso, o protocolo NTRIP supera o problema de usuário único, pois há a possibilidade de transmitir correções RTK / DGPS para vários usuários simultaneamente.

Observa-se um consenso nas vantagens de utilização da técnica RTK para levantamentos por posicionamento GNSS. A precisão alcançada com a técnica é de alguns centímetros, variando conforme a solução utilizada para o cálculo. Ou seja, a desvantagem apontada até então restringe-se a existência de recepção de sinais de celular, o que no entanto caminha para uma cobertura cada vez mais abrangente.

#### **4.7 - REDES ATIVAS NO BRASIL: A REDE BRASILEIRA DE MONITORAMENTO CONTÍNUO – RBMC**

A Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, fundação pública, vinculada ao Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, instituída nos termos do Decreto-Lei nº 161, de 13 de fevereiro de 1967, rege-se pela Lei nº 5.878, de 11 de maio de 1973, tem como missão retratar o Brasil, com informações necessárias ao conhecimento da sua realidade e ao exercício da cidadania, por meio da produção, análise, pesquisa e disseminação de informações de natureza estatística-demográfica, socioeconômica, e geocientífica-geográfica, cartográfica, geodésica e ambiental.

Entre outros compete à Fundação IBGE, ainda: “atuar nos Planos Geodésico Fundamental e Cartográfico Básico, criados pelo Decreto-Lei nº 243, de 28 de fevereiro de 1967...”. Nesse contexto a Fundação IBGE, em sendo responsável pela estrutura geodésica nacional, vem implementando ações, de modo a atender às necessidades de estudos, projetos, obras, entre outros. A dinâmica ainda não é a ideal, mas não se pode dizer que é incipiente, considerando não somente o tamanho do território brasileiro, como os recursos necessários, quer sejam financeiros ou humanos.

No âmbito das ciências geodésicas a Fundação IBGE, além das estruturas planimétricas e altimétricas, passivas, disponibiliza uma rede de estações ativas, denominada Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo – RBMC (Fig. 4.34). Conforme IBGE, as estações da RBMC desempenham justamente o papel do ponto de coordenadas conhecidas pertencentes ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), eliminando a necessidade de que o usuário imobilize um receptor em um ponto que, muitas vezes, oferece grandes dificuldades de acesso, em um posicionamento relativo. Além disso, os receptores que equipam as estações da RBMC são de alto desempenho, proporcionando observações de grande qualidade e confiabilidade.

No aspecto estrutural as estações da RBMC são materializadas através de pinos de centragem forçada, especialmente projetados, e cravados em pilares estáveis, possui um receptor e antena geodésica, conexão de Internet e fornecimento constante de energia elétrica que possibilita a operação contínua destas. A maioria dos receptores da rede possui a capacidade de rastrear satélites dos GPS e GLONASS, enquanto alguns rastreiam apenas o GPS. Esses receptores coletam e armazenam continuamente as observações do código e da fase das ondas portadoras transmitidos pelos satélites.

Todas estações pertencentes à RBMC, fazem parte da Rede de Referência SIRGAS (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas), cujas coordenadas finais têm precisão da ordem de  $\pm 5$  mm, configurando-se como uma das redes mais precisas do mundo. Outrossim, as observações vêm contribuindo, desde o ano de 1997, para a densificação regional da rede do IGS (International GPS Service for Geodynamics), garantindo uma melhor precisão dos produtos do IGS – tais como órbitas precisas – sobre o território brasileiro.

📍 Estações operantes      📍 Estações em estado de advertência      📍 Estações inoperantes

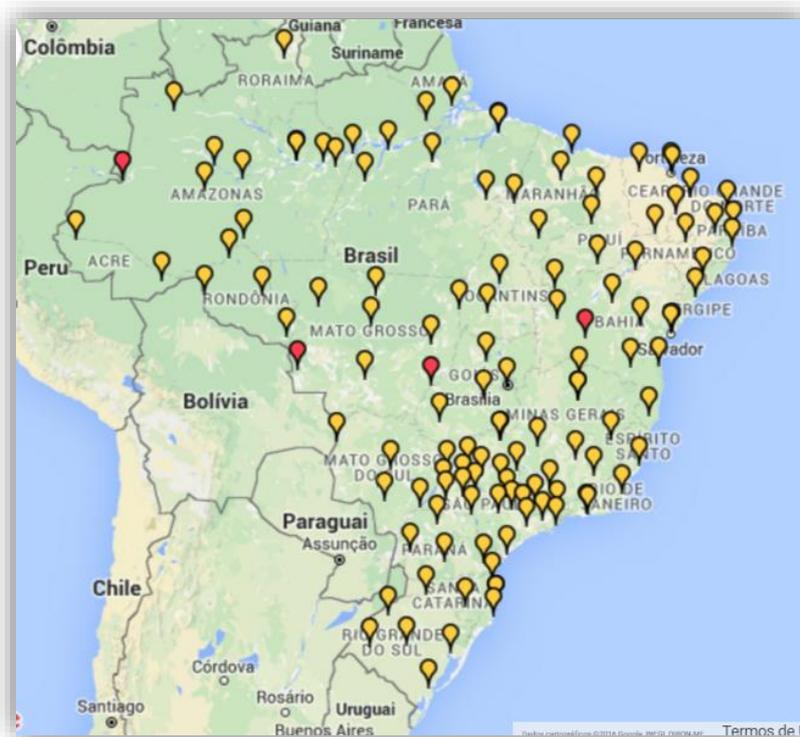


Figura 4.34: Distribuição espacial das estações da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do Sistemas GNSS-RBMC (IBGE, 2016).

A operacionalização das estações é totalmente automatizada, sendo as observações organizadas, em arquivos diários, correspondendo a sessões iniciando às 00h 01min e encerrando às 24h 00min (tempo universal), com intervalo de rastreamento de 15 seg. Após o encerramento de uma sessão, os arquivos com as respectivas observações são transferidos do receptor para o Centro de Controle Kátia Duarte Pereira, da RBMC, na Coordenação de Geodésia, da Diretoria de Geociências do IBGE (Rio de Janeiro-RJ). Neste Centro, são criados novos arquivos em formato padrão RINEX2, nos quais é realizado um controle de qualidade das observações. Em seguida os arquivos de dados RINEX2 e as órbitas transmitidas são compactados e disponibilizados na área de download do portal do IBGE, para qualquer usuário cadastrado (IBGE, 2015), sem custos para estes.

Ocasionalmente, algumas perdas de dados devido a problemas de conexão de Internet e de falta de energia podem ocorrer, e são imediatamente comunicados através da rede social Twitter da RBMC ([http://twitter.com/IBGE\\_RBMC](http://twitter.com/IBGE_RBMC)), bem como na própria página do órgão. É recomendado aos usuários, antes de realizar um levantamento, verificar a situação da estação

que será utilizada através dos canais fornecidos. As estações estão distribuídas no território brasileiro em um total de 130 (IBGE, 2016).

Atendendo a uma demanda de disponibilização de dados GNSS em tempo real, a despeito do já ocorrer com outros países, o IBGE criou o serviço de posicionamento em tempo real a partir das estações da RBMC, denominado então de RBMC-IP (Internet Protocol).

A RBMC-IP é um serviço para usuários que fazem uso da técnica RTK em tempo real ou DGPS (GPS diferencial) nos seus levantamentos. Os dados são disponibilizados via protocolo Internet conhecido por Networked Transport of RTCM via Internet Protocol (NTRIP), em formato RTCM. O NTRIP foi projetado para disseminar correção de dados diferencial ou outros tipos de dados GNSS para usuários, móveis ou estacionários, pela Internet, permitindo conexões simultâneas de computadores, Laptops e PDAs que possuem acesso à Internet sem fio, como, por exemplo, GPRS, GSM ou modem (3G, 4G). Atualmente, o servidor "caster" do IBGE recebe dados de 95 estações da RBMC (Fig. 4.35).

A transmissão dos dados é realizada da seguinte forma: um receptor GNSS envia continuamente mensagens RTCM até um servidor "Caster" localizado no IBGE. Um usuário, com um aplicativo "Cliente", tais como GNSS Internet Radio ou BNC (BKG NTRIP Client) e com uma conexão Internet, se conecta ao servidor do IBGE e escolhe a(s) estação(ões) da RBMC-IP cujos dados ou correções diferenciais deseja receber. As correções são recebidas pelo receptor GPS (ou GNSS) do usuário através de uma porta serial padrão e desta forma obtêm-se as posições corrigidas (Fig. 4.36).

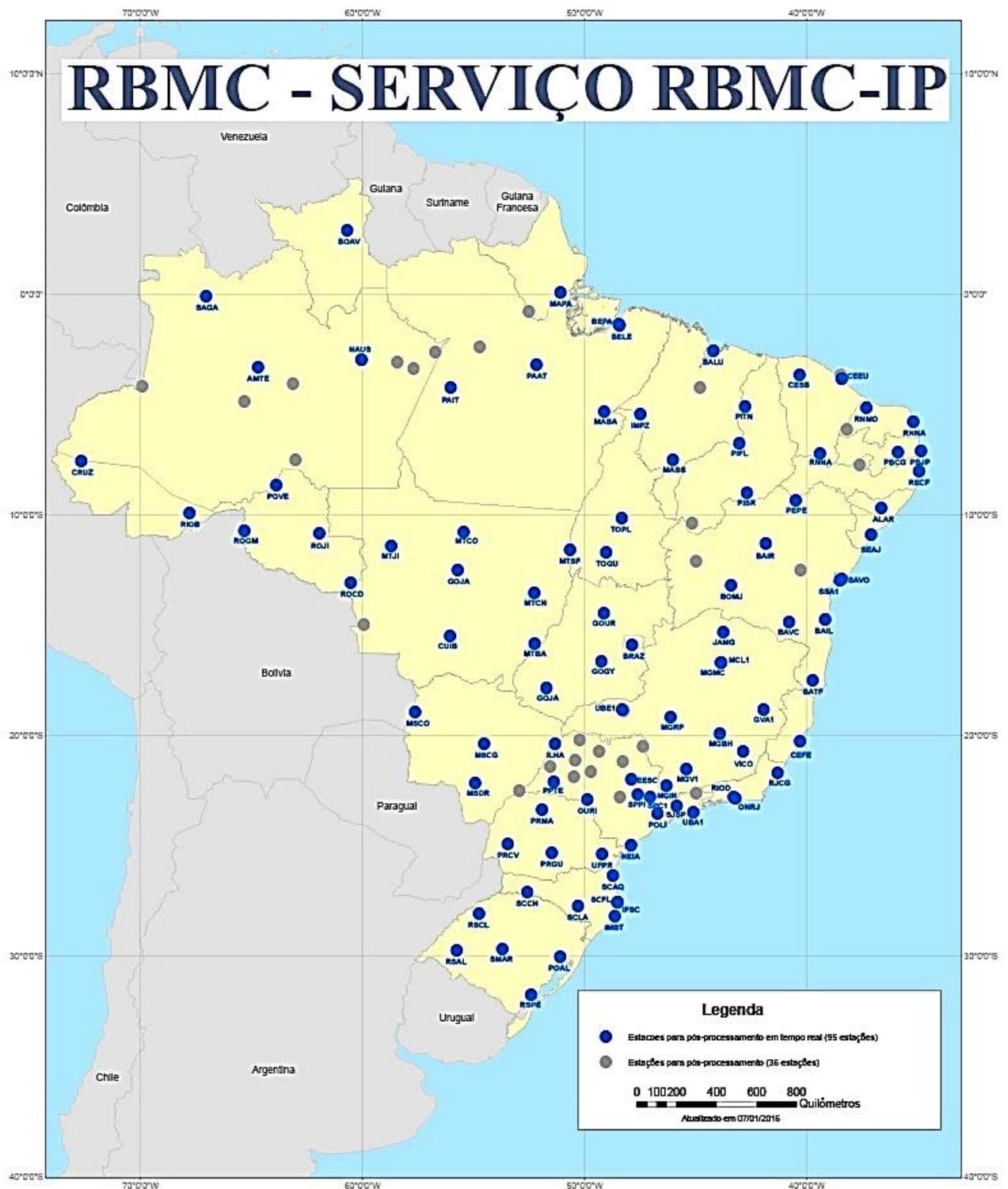


Figura 4.35: Distribuição espacial no território brasileiro das estações da RBMC-IP, do IBGE, com um total de 95 estações em tempo real. Situação em setembro de 2016 (Fonte: IBGE, 2016).

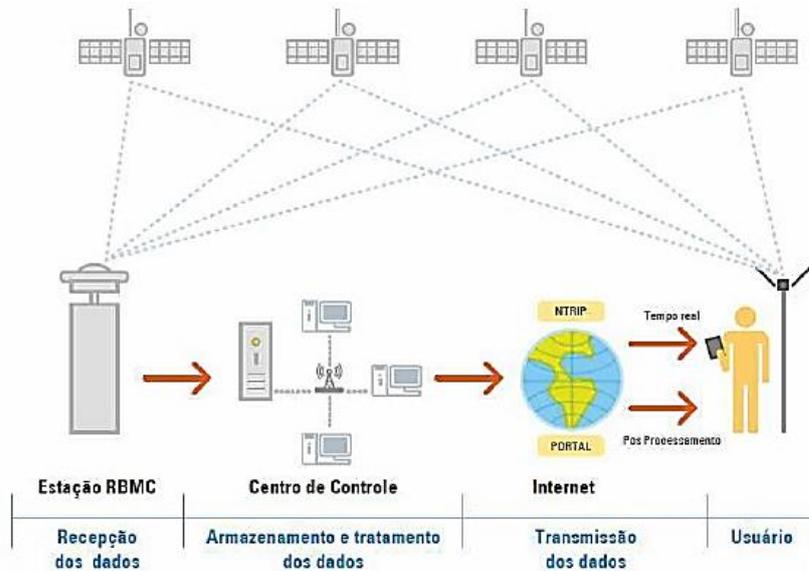


Figura 4.36: Processo de transmissão de correções de dados GNSS da RBMC-IP ao usuário. (Fonte: IBGE, 2013).

No que tange à precisão para levantamentos RTK/NTRIP, Costa et al., (2008), em testes realizados quando da concepção e funcionamento do serviço RBMC-IP, para 11 estações da rede (Fig. 4.37), foram observados que para soluções RTK em distâncias de até 50 km entre a estação de referência e o *rover*, foi possível obter resultados com ambiguidades inteiras, com precisões horizontal e vertical inferiores a 3 cm e 5 cm respectivamente. Para acurácia, nos pontos testados, poderia se chegar a 6 cm e 17 cm nas componentes horizontal e vertical respectivamente. Nestes casos, a solução passou por duas etapas antes de atingir a sua convergência (Fig. 4.38). Para distâncias entre 100 a 200 km, o maior desvio padrão encontrado foi de 61 cm na componente vertical e 33 cm na componente horizontal; nestes casos, a acurácia foi melhor que 50 cm nas componentes vertical e horizontal (Fig. 4.39). Os resultados obtidos indicaram que a técnica RTK/NTRIP, com as correções obtidas das estações da RBMC-IP, pode ser utilizada em levantamentos topográficos de um modo geral, limitado apenas pela disponibilização de sinal de Internet no local do levantamento.

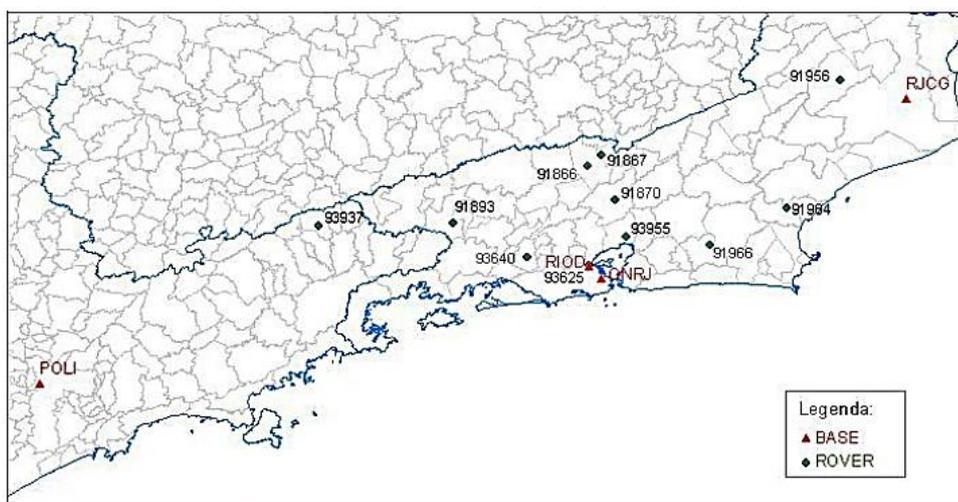


Figura 4.37: Distribuição espacial de estações da RBMC-IP e estações levantadas em testes da técnica RTK/NTRIP no estado do RJ (Costa et al., 2008).

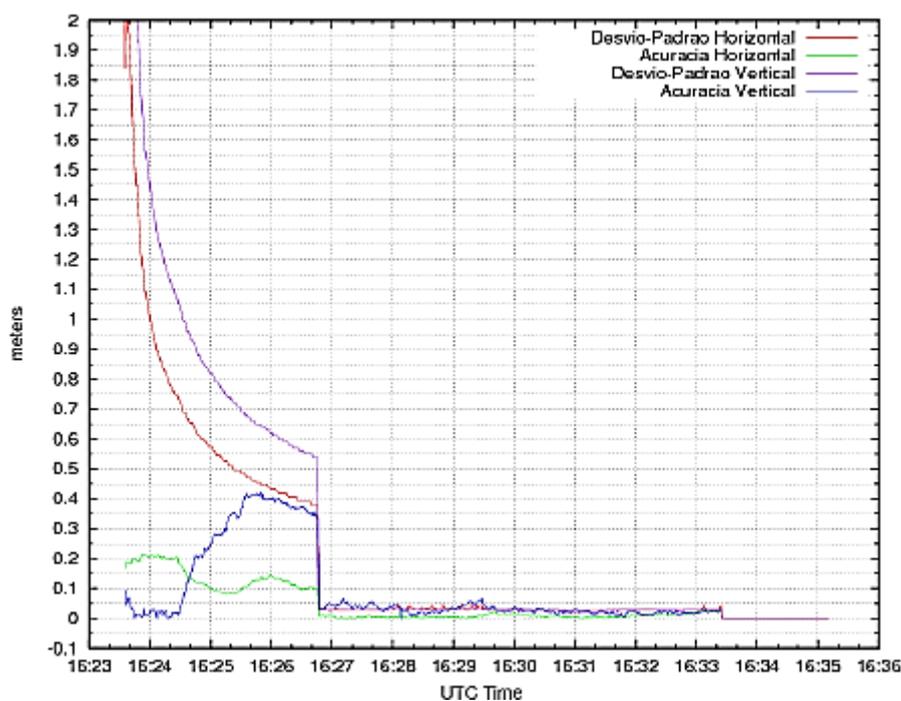


Figura 4.38: Resultados de teste com a técnica RTK/NTRIP, usando o serviço RMBC-IP, para linhas de base de até 50 km – Estação Petrópolis - RJ (Costa et al., 2008).

A disponibilização dos serviços, compatíveis com as tecnologias existentes de receptores de sinais GNSS e o atendimento aos usuários a partir do processamento de dados online, estão em consonância com a missão institucional do IBGE de produzir informações, entre outras, de natureza cartográfica, geodésica e ambiental.

Alavancando as soluções de equipamentos e sistemas de posicionamento, existem as demandas das engenharias, planejamento urbano e regional, das ciências sociais, da saúde, meteorologia, meio ambiente, recursos hídricos, entre outras áreas que tem como subsídios dados decorrentes de levantamentos; ou mesmo, produtos como mapas e sistemas de informações geográficas que os auxiliam, quer na tomada de decisão, quer na elaboração de projetos ou execução destes. A cada necessidade que surge é apresentada uma solução ou otimização das existentes, tal qual em diversas áreas de estudo.

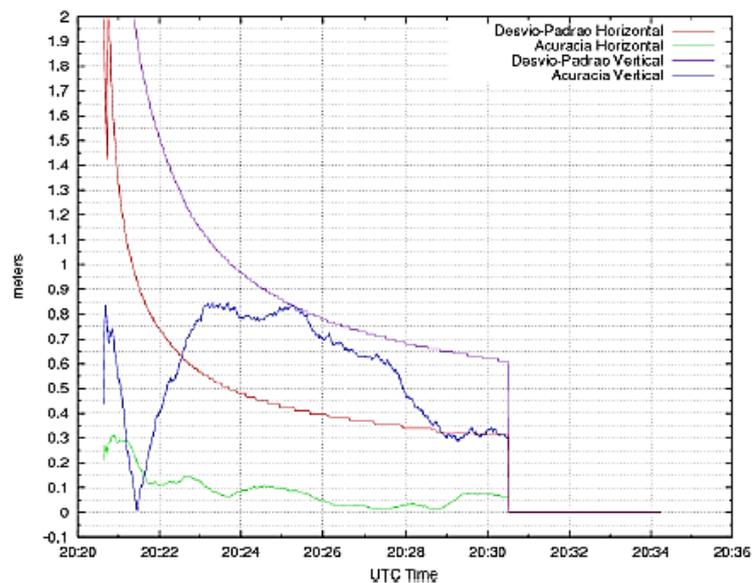


Figura 4.39: Resultados de teste com a técnica RTK/NTRIP, usando o serviço RMBC-IP, para linhas de base entre 100 a 200 km m – Estação São Fidélis - RJ (Costa et al., 2008).

#### 4.8 - INTEGRAÇÃO DO POSICIONAMENTO GNSS E TOPOGRAFIA

A publicação das normas da ABNT, NBR 13.133 – Execução de Levantamento Topográfico e NBR 14.166 – Rede de Referência Cadastral Municipal – Procedimento, foram instrumentos precursores da utilização de coordenadas referidas a um sistema de projeção e a um sistema de referência geodésico. Em geral, levantamentos topográficos em zonas rurais, por exemplo, eram realizados usando um referencial local na determinação de coordenadas (Garnés, 1998) & (Garnés et al., 2005), não fazendo menção a um sistema geodésico.

Tais instrumentos, não obstante as recomendações e conceitos abordados, trouxeram um alerta quanto à definição do sistema de projeção topográfico ou sistema topográfico local, à medida que estudos demonstraram a necessidade da completa definição do sistema, através dos parâmetros: coordenadas geodésicas ( $\varphi$ ,  $\lambda$ ,  $H$ ), do Datum, das componentes do desvio da vertical ( $\xi$ ,  $\eta$ ), ondulação geoidal ( $N$ ) e parâmetros do elipsoide ( $a$ ,  $f$ ). Outro ponto é o fato do sistema de projeção plana oblíqua ortográfica, não tratar o aspecto da altitude de forma simultânea aos demais e considerar a forma da Terra, esférica, por aproximação.

No âmbito da NBR 14.166, as recomendações, conforme estudo realizado por Garnés et al. (2005), foram no sentido de que tanto as formulações apresentadas para determinação do fator de elevação do plano topográfico para o nível médio do terreno, quanto para transformação de coordenadas geodésicas em topográfica plano-retangulares (Fig. 4.40), não devem ser utilizadas por conduzirem a erros de dezenas de metros. Ao invés dessas, usar uma transformação de base vetorial pela matriz  $R$ , cujos elementos são produtos de senos e cossenos da latitude e longitude, onde: o índice subscripto ( $_0$ ) denota valores para o ponto origem do sistema; e,  $R$  representa uma matriz de rotações (Fig. 4.41).

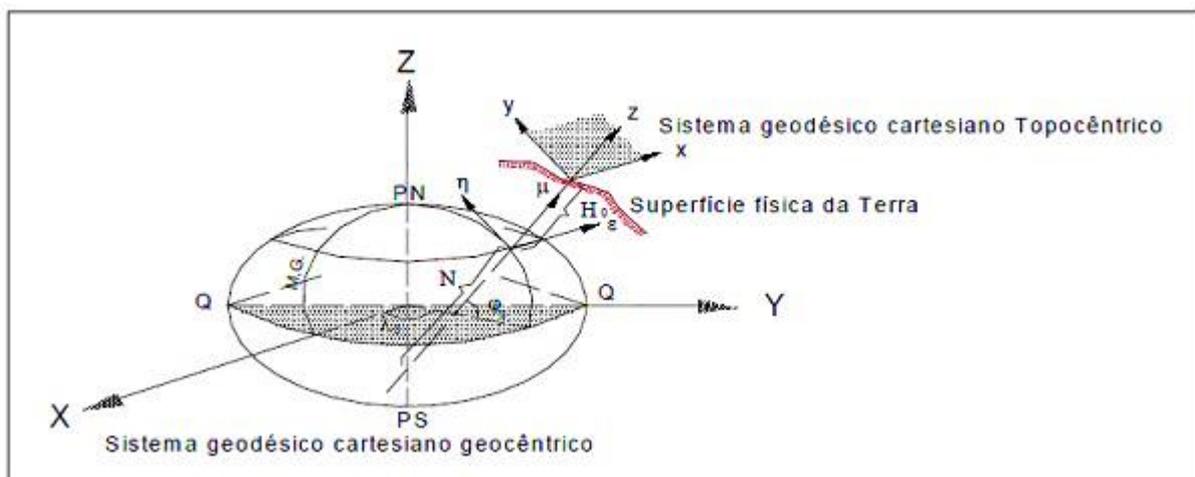


Figura 4.40: Sistemas Geodésico Cartesiano Geocêntrico e Topocêntrico (Fonte: Garnés et al., 2005).

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} -\text{sen } \lambda_0 & \cos \lambda_0 & 0 \\ -\text{sen } \varphi_0 \cos \lambda_0 & -\text{sen } \varphi_0 \text{sen } \lambda_0 & \cos \varphi_0 \\ \cos \varphi_0 \cos \lambda_0 & \cos \varphi_0 \text{sen } \lambda_0 & \text{sen } \varphi_0 \end{bmatrix}}_{\mathbf{R}} \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix}$$

Figura: 4.41: Modelo para transformação de base vetorial pela matriz  $R$ .

Onde:

$x, y$  e  $z$  - são as coordenadas geodésicas topocêntricas, do ponto a determinar.

$\varphi_0, \lambda_0$  - Coordenadas geodésicas do ponto origem do sistema geodésico cartesiano topocêntrico;

$X_0, Y_0, Z_0$  - são as coordenadas cartesianas geocêntricas do ponto origem;

$X, Y, Z$  - são as coordenadas cartesianas geocêntricas do ponto a determinar ( $x, y, z$ ).

Outro marco de utilização de coordenadas geodésicas foi a Lei 10.267/2001, que entre outros tornou obrigatório o georreferenciamento de imóveis rurais ao Sistema Geodésico Brasileiro – SGB. A essa época, a integração das tecnologias GNSS e a topografia já estava consolidada. A precisão necessária ao posicionamento GNSS e por conseguinte determinação dos vértices limites de propriedades, observadas as técnicas de medição, permite o uso de receptores de até 1 frequência. O levantamento topográfico com estações totais, soma-se ao posicionamento por GNSS, a partir do momento em que há necessidade de levantamento de limites de difícil acesso.

A integração dessas tecnologias, ou seja, a compatibilização de dados levantados por topografia e as posições obtidas pelo GNSS, está condicionada a uma transformação entre os sistemas de coordenadas (cartesianas e geodésico) ou ainda transporte de coordenadas geodésicas; e dependendo da precisão necessária e extensão da área, a redução de ângulos e distâncias, minimizando as deformações do sistema de projeção.

Seixas & Burity (2005), aplicaram o conceito de posicionamento por GPS, para medição e monitoramento de áreas de risco em sítios industrializados, mas considerando a necessidade de definição dos sistemas de referência intrínsecos ao objeto monitorado e a ameaça. Podendo o monitoramento ser contínuo, devido ao decurso de deformação irregular e sem predição; ou descontínuo, quando as variações temporais das forças deformáveis e a reação do objeto são ao menos pré-conhecidas ou foram pré-determinadas.

Segundo Azambuja & Matsuoka (2007), discrepâncias em decorrência da deformação linear possuem comportamento diferenciado quando se utiliza projeções UTM (projeção cilíndrica secante) e GAUSS (projeção cilíndrica tangente), sendo que na primeira as distorções diminuem para leste e oeste a partir do meridiano central até se anularem, passando a crescer a partir do meridiano de secância, enquanto que na projeção de GAUSS estas distorções aumentam em ambas as direções a partir do meridiano central.

Souza (2012) aplicou métodos para determinação do desvio da vertical, integrando o posicionamento GNSS com levantamentos topográficos e verificou haver consistência nos

resultados que obteve, ressaltando que, o conhecimento das componentes do desvio da vertical fornece subsídios vitais a compatibilização entre coordenadas vinculadas aos métodos.

Na literatura, são diversas as referências de utilização do posicionamento GNSS e levantamento topográficos integrados, sendo estas opções quando se deseja o maior detalhamento do objeto a ser levantado, com isso a topografia é responsável pela informação complementar, nesta integração.

## 5 - CIÊNCIAS GEODÉSICAS APLICADAS À GEOTECNIA

A integração das ciências da terra sempre ocorreu de forma natural, espontânea e subjetiva, tendo em vista que seus objetos de estudo serem correlatos. Com o advento das tecnologias computacionais (banco de dados, imagens, processadores robustos, equipamentos, etc.) essa integração torna-se mais consistente e objetiva, à medida que as soluções para os mais diversos desafios são apresentadas. As engenharias, de um modo geral, assim como outras ciências, têm obtido vantagens na apresentação de projetos que demandam o georreferenciamento de seus objetos de estudo, fruto do desenvolvimento das tecnologias que são inerentes à geodésia e topografia (coordenadas), quanto ao posicionamento e à cartografia (cartas, imagens), quanto a representação do espaço. A Geotecnia, não obstante as demais áreas, tem seu objeto de estudo desde sempre interligado aquelas áreas, desde o momento que faz uso de mapas, imagens de satélites e informações posicionais, para produção da cartografia geotécnica até do da fotogrametria para estudos de solos não saturados. Nesse contexto, integrar conhecimento, somar esforços e tecnologias, no intuito de atingir objetivos, é uma opção que traz resultados positivos.

### 5.1 - O POSICIONAMENTO GNSS COM A TÉCNICA RTK-NTRIP

A evolução de uma tecnologia é caracterizada em função da sua maturidade e visibilidade. Conforme Gartner (2016), o ciclo de evolução, neste contexto, passa por estágios bem característicos (Fig.5.1):

- 1 Lançamento da Tecnologia: esta envolve as fases de pesquisa e desenvolvimento, primeiros *startups*, necessidades de customização, viabilidade comercial não está comprovada, em geral ainda não há um produto.
- 2 Pico de Expectativas: grande mídia começa a publicar sobre o assunto, há algumas histórias de sucesso, levantamento de vantagens e desvantagens.
- 3 Desilusão: são descritos os problemas com fornecedores, uma minoria dos adeptos do início obteve sucesso, surgimento de alguns serviços, interesse diminui e as expectativas começam a não ser totalmente atingidas.
- 4 Rampa de Consolidação: desenvolvimento de metodologias e boas práticas, a tecnologia começa a ser melhor compreendida, novas empresas iniciam.

5 Platô de Produtividade: há aumento substancial da adoção pela tecnologia. A tecnologia é sustentável (já “se paga”).

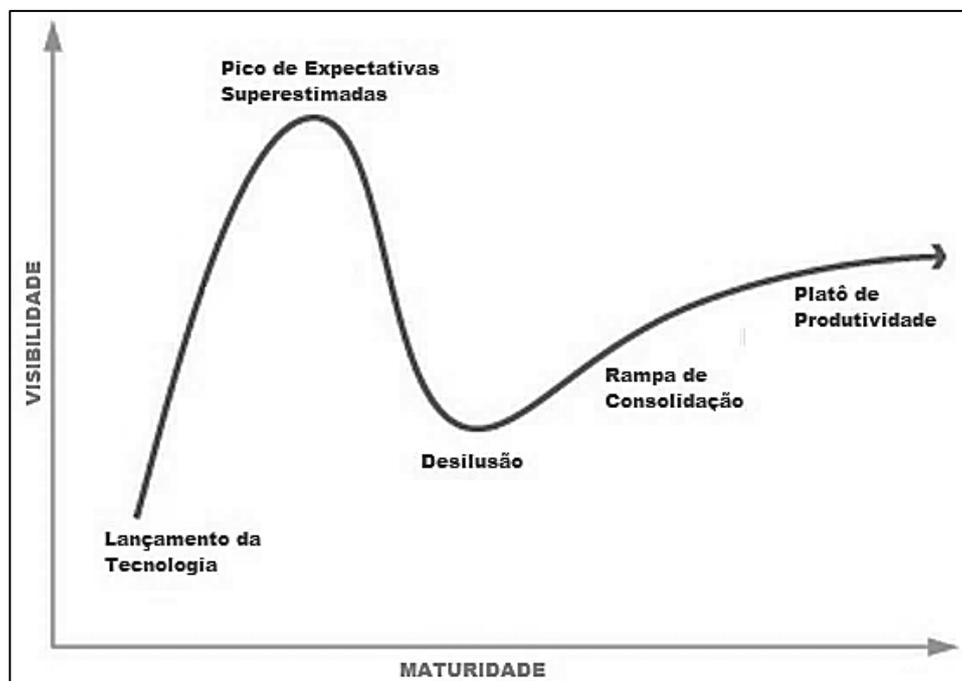


Figura 5.1: Ciclo Hype de Gartner (Adaptado de Gartner, 2016).

França (2016) enfatiza que considerando a aquisição de dados espaciais com ênfase nos levantamentos geodésicos e topográficos, a tecnologia GNSS na atualidade, já passou por todos os estágios do ciclo Hype, estando na fase de que é largamente adotada. Há uma disponibilidade grande de receptores e a sua utilização é eficiente em termos de qualidade e custo, podendo ser integrada às outras tecnologias, como a exemplo as estações totais, no mesmo patamar. Em estágios anteriores estão em consolidação, sendo absorvido pelo mercado de forma ainda lenta, as estações totais robotizadas, cujo custo é ainda um fator limitante, inviabilizando o investimento, não sendo necessariamente uma desvantagem, muitas áreas as utilizam, como a indústria automobilística, por exemplo. No Brasil há alguns registros do uso de estações robotizadas no monitoramento de área de risco de deslizamentos, mas de forma incipiente. A tecnologia de Laser Scanner, passa por um estágio de maturidade em que sua visibilidade é crescente mas tem uma minoria de adeptos, pois a aquisição de dados espaciais advindos desta, mesmo representando um volume extremamente superior em um tempo extremamente curto, possui nuances de precisão que ainda não superam os obtidos com estações totais, em se tratando de laser aerotransportados. Os custos são altos e os investimentos em conhecimentos

sobre o processamento dos dados, armazenamento e própria tecnologia de softwares, são mais complexos do que se supunha. Nos casos de levantamentos terrestres a precisão é compatível, sendo o custo de aquisição a “desvantagem/desilusão”. De qualquer forma, trata-se de uma tecnologia em ascensão. No pico de expectativas está a tecnologia dos RPA - Aeronave Remotamente Pilotada, mais conhecidas como VANTS - Veículos Aéreos Não Tripulados, cuja utilização perpassa diversas áreas, como defesa, segurança, monitoramentos, fotogrametria, mapeamento entre outras, sendo um aliado em levantamentos topográficos, em franca expansão, mas com restrições quanto à normatização e ao objeto do levantamento, não sendo possível, por exemplo o levantamento de áreas com cobertura.

Bakuta et al. (2008), apresentaram resultados de teste realizados usando a técnica RTK/NTRIP, em pontos distantes entre 1,5 até 20 Km das estações de referência permanentes, pertencentes à Universidade de Warmia e Mazury em Olsztyn, Polônia. Concluíram que medições que requerem precisão de poucos centímetros, podem ser realizadas com esta técnica, desde que observados a geometria de satélites, quanto à diluição de precisão (DOPS), não sendo este, no entanto, um indicador de acurácia do posicionamento.

Ressalta ainda que em comparação com os dados pós-processados, mesmo em sendo característico a obtenção de melhores resultados, em certas situações, é possível obter-se melhor precisão nas medições diretas via RTK-NTRIP. Caso em que sugere que os algoritmos de cálculo dos receptores são melhores e permitem uma determinação mais precisa das coordenadas sob condições de observação adversa, do que os algoritmos de softwares.

Uradzinski et al. (2008), avaliaram o desempenho de soluções RTK/NTRIP para navegação de automóveis, com posicionamento o mais exato e preciso possível, de modo a melhorar a eficiência do tráfego na estrada e segurança do condutor, evitando inclusive colisões. Observando o potencial da técnica RTK/NTRIP, objetivou-se em investigar a sua utilidade para rastreamento de veículos, detecção da posição de um veículo em relação a uma autoestrada ou prevenção de colisões. O posicionamento poderia, inclusive, ser usado para ajudar a partilhar informação de posição precisa entre veículos circundantes. Nesse contexto o posicionamento GNSS foi considerado, na atualidade, o que existe mais avançado em termos de navegação precisa. A abordagem foi baseada em experimentos de campo e na análise tanto da precisão, quanto da disponibilidade de dados de correções RTK/NTRIP, usando transmissões móveis sem fio. No experimento, foi investigado as vantagens e desvantagens de cada componente do sistema de navegação, bem como em diferentes rotas e sob diferentes condições de condução.

Os testes indicaram que o desempenho da técnica de posicionamento é adequado para auxiliar o condutor de um veículo no controle do movimento. Os resultados obtidos foram comparados com os dados pós-processados. Em vias sem obstáculos aéreos as máximas diferenças não excederam 23 centímetros (Tab. 5.1), o que significa que apesar da latência de alguns segundos, das correções da fase da portadora, os dados foram consistentes no processamento da solução de navegação.

Tabela 5.1: Discrepâncias do teste RTK/NTRIP e pós-processamento em vias sem obstáculos aéreos. (Fonte: Uradzinski et al., 2008).

<b>Discrepância</b>	<b>dx (m)</b>	<b>dy (m)</b>	<b>dz (m)</b>
<b>Mínimo</b>	-0.083	-0.105	-0.155
<b>Máximo</b>	0.231	0.173	0.175
<b>Média</b>	-0.001	-0.007	-0.007
<b>Desvio padrão</b>	0.012	0.010	0.015

Em um segundo teste, em trechos com alguns obstáculos aéreos (copa de árvores, áreas de florestas, pontes), houve perda de recepção de sinais GNSS por até 23 segundos, apesar disso, a solução RTK/NTRIP ainda foi fixada no nível do centímetro. As diferenças entre a solução pós-processada e o posicionamento RTK/NTRIP foi entre 1 e 3 centímetros e a diferença máxima não excedeu 48 cm, conforme Tab. 5.2.

Tabela 5.2: Discrepância do teste RTK/NTRIP e pós-processamento em vias com alguns obstáculos aéreos. (Fonte: Uradzinski et al., 2008).

<b>Discrepância</b>	<b>dx (m)</b>	<b>dy (m)</b>	<b>dz (m)</b>
<b>Mínimo</b>	-0.366	-0.483	-0.251
<b>Máximo</b>	0.196	0.146	0.356
<b>Média</b>	0.005	-0.011	0.012
<b>Desvio padrão</b>	0.026	0.074	0.065

Outros testes foram conduzidos e semelhantes resultados obtidos. Concluiu-se que enquanto se estiver usando uma conexão de Internet rápida sem fio, a latência dos dados de referência não tem um impacto significativo sobre o resultado RTK/NTRIP. A combinação da

constelação GPS e GLONASS foi muito precisa, mesmo nas áreas urbana. Observou-se que em alguns locais, edifícios e copas de árvores foram prejudiciais para solução de navegação, pois em geral, bloqueavam sinais de satélites. Em tais situações, uma combinação de informações de posicionamento de alta precisão obtido a partir de NTRIP / RTK com INS (Sistema de Navegação Inercial) de alta precisão ou outros sensores poderia resolver o problema, dando suporte os mais recentes conceitos de sistemas de controle de veículos.

et al. (2011), analisaram as experiências realizadas na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP, utilizando a tecnologia GNSS/NTRIP, em termos de acurácia. Os experimentos consistiram no levantamento de pontos de coordenadas conhecidas e análise dos erros obtidos. Primeiro em distâncias curtas na base USP de calibração de equipamentos e, a seguir, em distâncias crescentes até aproximadamente 30 km, em função dos limites previstos para o método RTK; e também para distâncias maiores utilizando o método DGPS, até 2.700 km. Foram testados e analisados: o uso de diferentes estações de referência; a variação da acurácia com a distância; o uso de um receptor L1 e outro L1/L2, bem como o uso das técnicas RTK e DGPS em termos de acurácia, isto é, a diferença entre essas coordenadas e aquelas consideradas como padrão, verificando se os equipamentos atingem os valores previstos nas especificações técnicas. Observou-se que a precisão alcançada em cada caso depende fortemente os receptores e na atividade da ionosfera; estes são, na verdade, processadores de dados em campo: eles contam com elaborados programas e capacidades computacionais para executar cálculos muito rápidos no campo. Além disso, cada receptor ou fabricante implementa diferentes programas e estratégias para resolver a ambiguidade e para calcular as coordenadas.

Prieto (2007), realizou experimentos para comprovar a confiabilidade do uso da técnica RTK/NTRIP em posicionamento GNSS e como a técnica poderia ser aplicada de forma a atender a legislação da cartografia e regulamentos do Cadastro de Terras na Venezuela. Comparou também custos, tempo e facilidade de realização dos levantamentos com a técnica. Os resultados obtidos indicaram o algoritmo utilizado pelo sistema, foi capaz de obter soluções fixas a 38 km da base, com precisão de 4 cm, o que trouxe um panorama novo para medições cadastrais e cartográficas. Destacou ainda que o tempo de convergência para obtenção da solução fixa (ambiguidades solucionadas como inteiras) a 10 km da base, foi quase instantâneo, sempre abaixo de 10 segundos e a 20 km, de 1 minuto, com uma solução centimétrica; e a 36 km, 3 minutos, a partir do momento que o receptor foi ligado. A Fig. 5.2 apresenta os resultados obtidos de um levantamento de pontos entre o bairro de Chacao (Caracas) e a cidade de Guatire, a precisão e a diferença com o pós-processamento, relativamente à distância da estação de referência.

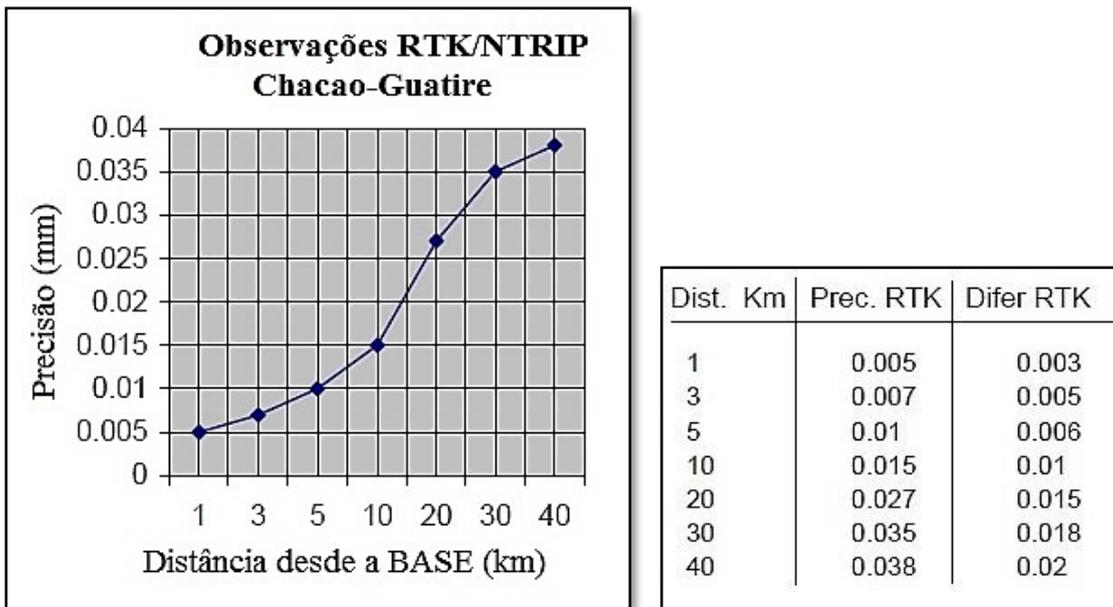


Figura 5.2: Valores obtidos com posicionamento GNSS, RTK/NTRIP e as diferenças com o posicionamento estático relativo (pós-processado). (Fonte: Adaptado de Prieto, 2007).

Prieto (2007), enfatizou que o protocolo NTRIP, em um ambiente onde as redes de celulares estejam generalizadas, pode preencher os requisitos de medição tanto para o cadastro urbano, quanto rural, e servir como um instrumento para os profissionais que necessitem desse tipo de informação, considerando que naquele país, a precisões mínimas estabelecidas são de 10 cm para o cadastro urbano e 50 cm, para o rural. Para o caso da Venezuela, a época do levantamento, à medida em que a rede de Estações Permanentes REMOS, for densificada e as redes GSM / GPRS se estenderem ao longo do país, o NTRIP estará cada vez mais presente na então nova cultura de tempo real.

Dammalage & Samarakoon (2008), realizaram testes usando a técnicas DGPS e RTK baseados no protocolo NTRIP, com receptores de alta (L1/L2 e C/A), média (L1 e C/A) e baixa precisão (C/A), que são classificados de acordo com acurácia, desempenho e custo.

Os testes foram executados com sete distâncias de linha de base diferentes, de cerca de 4, 16, 30, 230, 290, 360 e 520 km. Para a conveniência de apresentação dos resultados, as distâncias da linha de base são representadas como 5, 15, 30, 200, 300, 400 e 500 km respectivamente. Pontos de controle foram monumentados e atribuídas coordenadas de alta precisão, medidas pelo Departamento de Terras da Tailândia. Os resultados indicam que as precisões obtidas usando a técnica NTRIP e os resultados obtidos dos dados pós-processado DGPS possuem uma boa equivalência conforme apresentado na Tab. 5.3.

Tabela 5.3: Comparação de precisão posicional média, para três diferentes receptores GPS.  
(Fonte: Adaptado de Dammalage & Samarakoon, 2008).

Linha de Base	Alta acurácia (Receptor L1/L2)		Média acurácia (Receptor L1)		Baixa acurácia (Receptor portátil)	
	RTK com VHF	RTK com NTRIP	DGPS ( Pós - processado)	DGPS com NTRIP	Sem correção	DGPS com NTRIP
5km	0.161 m	0.162 m	0.586 m	0.532 m	4.37 m	3.36 m
15km	0.160 m	0.152 m	0.496 m	0.621 m	2.68 m	1.84 m
30km	0.160 m	0.158 m	0.416 m	0.340 m	2.21 m	1.96 m
200km	-	-	0.775 m	0.782 m	2.29 m	1.83 m

Dammalage & Samarakoon (2008), concluíram que, na Tailândia, o uso do protocolo NTRIP é a opção com custo benefício mais rentável pela técnica RTK, com uma grande cobertura e uso. Bem como, que proporciona um método mais confiável e seguro de transmissão de correções RTCM, comparando o mesmo com os sinais de rádio; e que, erros aleatórios devido a limitações de alto tráfego internet e processamento do receptor foram encontrados e podem ser o principal fator de diminuição da precisão de correções em tempo real. Recomendam ainda o desenvolvimento de um método de correção que inclua uma técnica de filtragem, em tempo real, para remover estes erros grosseiros. As vantagens elencadas no estudo, juntamente com o desenvolvimento de alta velocidade de Internet móvel para dados NTRIP, conduziram a uma nova geração de posicionamento em tempo real.

Ademais, o protocolo NTRIP fornece novos conceitos de técnica de compartilhamento de dados GNSS levando a muitas aplicações, tais como o conceito de "Rede Global em Tempo Real de estações de referência GNSS". O que poderia levar a muitas pesquisas no âmbito mundial, devido à disponibilidade de dados de estações de referência GNSS em tempo real em todo o mundo, atualmente pelo IGS. O protocolo NTRIP fornece potencialmente uma grande quantidade de benefícios, não só em aplicações globais, mas também em aplicações regionais, locais ou mesmo individuais, tais como dados para derivar em tempo real, via satélite, parâmetros orbitais e erros do relógio do satélite, modelagem da ionosfera local e global. Além disso, outras aplicações locais RTK ou DGPS, tais como levantamento de campos precisos, coleta de dados para GIS, mapeamento móvel, navegação, entre outros, poderiam aproveitar o protocolo NTRIP, proporcionando grandes benefícios para os usuários, bem como provedores de transmissão (Dammalage & Samarakoon, 2008).

Guandalini (2012), analisou a viabilidade e a confiabilidade da conexão GSM, na técnica de posicionamento GNSS RTK via NTRIP, com receptores de simples e dupla frequência, com diferentes distâncias entre a estação base de referência e o receptor móvel,

usando as soluções fixa e flutuante. Avaliando ainda as limitações e recomendações no emprego da técnica. No estudo usou como base a estação, ERA POLI (SAT 93800), localizada no campus da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP, pertencente a RBMC, do IBGE, mas utilizando a técnica do IP direto, considerando que à época ainda não havia IP da RBMC para aquela estação. Ao todo foram realizados 16 experimentos e os resultados e suas análises foram apresentados usando o teste de tendência, teste de precisão, valores máximo e mínimo das diferenças, precisão média e diferença padrão. Na análise de tendência, aplicou o teste T-Student comparando-se o valor da amostra, com o valor esperado, analisando as tendências com relação aos eixos de coordenadas e altimetria. Para análise do ajustamento, aplicou o teste do Qui-Quadrado, comparando-se a variância esperada com a encontrada e os valores propostos como limites. Como referência, foram utilizadas as coordenadas oficiais do vértice em questão, comparando-se com as obtidas no estudo, verificando o atendimento do limite do valor nominal do fabricante dos receptores e a aplicação à Engenharia.

Guandalini (2012), em uma parte do experimento, concluiu que a média das discrepâncias com o emprego do receptor L1/L2 foi inferior a 2 cm nos eixos de coordenadas de latitude e longitude, em todos os experimentos com solução fixa e de 10 cm, com solução flutuante. A média dessas diferenças é a apresentada ao usuário, na interface do receptor, o que não pode ser considerado como a acurácia do levantamento. A diferença padrão ( $(\sum(\text{valor médio} - \text{valor real})^2 / (n-1))^{1/2}$ ) máxima foi de 2 cm nas soluções fixas, com linhas de base de até 96 km e 12 cm com solução flutuante. Para receptores de uma frequência, L1, os resultados foram mais susceptíveis aos efeitos de PDOP altos e baixa disponibilidade de satélites. De um modo geral a técnica RTK/GSM foi compatível com as aplicações propostas em substituição às técnicas tradicionais com Estação Total ou mesmo às técnicas GNSS pós-processadas.

Entre as vantagens no uso da técnica, foi citada a consistência do sinal, considerando que dentro da área de cobertura a conexão GSM/GPRS é estável e transmite informações com rapidez e segurança. Fato que torna viável a utilização da técnica em locais com topografia acidentada, área urbanas densas ou com obstruções em geral, que causariam interferência com o uso da técnica RTK/UHF. Guandalini (2012), ressalta a importância de sobreposição das Estações de Referência Ativa (ERAs), como medida de segurança, em caso de interrupção no funcionamento.

Souza et al. (2014), realizaram análise de um posicionamento GNSS em trajetórias cinemáticas, com permanência sobre os pontos de referência por um período de aproximadamente 2 minutos, apenas para reconhecimento do vértice, a posteriori por meio do

instante da observação, utilizando os métodos PPP cinemático em tempo real; RTK via NTRIP e posicionamento relativo pós-processado, tendo como referências pontos de coordenadas geodésicas estabelecidas no campus da UFPE: estação RBMC-IP (RECF – SAT 93110-1999) e na rede de referência geodésica/cadastral do município da cidade de Recife, Pernambuco.

Para o posicionamento RTK/NTRIP, utilizando conexão internet via celular GPRS em ruas e avenidas da cidade do Recife-PE (Brasil), os resultados obtidos indicaram que o menor erro planimétrico foi de 6 mm e o maior de 4,675 m. A solução fixa somente foi observada para o vértice com linha de base inferior a 3 km e para superiores, solução flutuante, corroborando que o comprimento da linha de base, é um dos fatores que influencia na velocidade de resolução de ambiguidades. Outrossim, também as constantes perdas de sinais durante o percurso com recomeço da resolução das ambiguidades, associada a latência das correções de fase pelo NTRIP da RBMC-IP, foram causas da degradação da acurácia do método. O pós-processamento dos dados gravados enquanto do posicionamento RTK/NTRIP, obteve resultados de menor erro planimétrico de 11 mm e o maior de 24,9 cm, para os mesmos pontos.

Comparando-se o posicionamento com os resultados das precisões médias para cada tipo de levantamento foram respectivamente de: pós-processamento relativo (0,039 m); PPP em tempo real BKG (0,465 m) e RTK/NTRIP (1,235 m). Por outro lado, as discrepâncias médias com relação à posição conhecida das estações foram respectivamente de: pós-processamento relativo (0,207 m); RTK/NTRIP (2,855 m); PPP tempo real BKG (10,458 m).

Segundo Souza et al. (2014), a precisão dada pelo desvio padrão é um indicativo da consistência interna dos processamentos das observáveis GNSS e dos dados com base no algoritmo (incluindo os filtros de *outliers*) que o desenvolvedor implementa. Os resultados podem ou não refletir a dispersão da verdadeira posição. A precisão do posicionamento GNSS só permite uma análise interna da distribuição de frequências do posicionamento em si. Dessa forma, em um contexto mais realístico, é preciso fazer a análise da acurácia do posicionamento. Uma das formas de medir essa acurácia é a de inclusão das tendências, por meio do Erro Médio Quadrático (EMQ), dessa forma a acurácia dos métodos ficou classificado, conforme a Tab. 5.4. Considerando que no estudo os métodos de posicionamento foram aplicados em condições reais, sujeitos aos efeitos de multicaminho, perda de sinal com a Internet e obstruções diversas, houve problemas na solução das ambiguidades por ocasião do reinício das resoluções sempre que os sinais dos satélites eram perdidos, a fixação das ambiguidades só foi conseguida para os dois pontos de referência que ficavam com distâncias menores que 3 km da base. Como o resultado foi pior que o pós-processamento relativo, ficou evidente que além das perdas dos sinais, a latência das correções enviadas pelo protocolo NTRIP da RBMC-IP teve consequência

no desempenho do método, cuja precisão ficou em torno de 1,20 m e a acurácia em torno de 2,8 m.

Tabela 5.4: Erro médio quadrático do posicionamento planimétrico dos métodos testados e precisão média (Fonte: Souza et al., 2014).

	Pós-processamento Relativo (m)	PPP em tempo real BKG (m)	RTK/ NTRIP(m)
<b>Precisão média</b>	<i>0,039</i>	<i>0,465</i>	<i>1,235</i>
<b>EMQ<sub>1M</sub> médio</b>	<i>0,140</i>	<i>8,574</i>	<i>2,671</i>
<b>EMQ<sub>2</sub> médio</b>	<i>0,123</i>	<i>8,495</i>	<i>2,664</i>
<b>EMQ<sub>3</sub> médio</b>	<i>0,207</i>	<i>10,458</i>	<i>2,855</i>

Briceño et al. (2009), realizaram diversos testes, usando posicionamento estático diferencial pós-processado, sobre uma série de estações localizadas a distâncias variáveis em relação a estação MARA, pertencente a rede geodésica REMOS, da Venezuela. Adicionalmente, os mesmos pontos foram ocupados no modo em RTK/NTRIP com uma e dupla frequência, permitindo dessa forma efetuar comparações entre as determinações e avaliar os diversos efeitos que influenciam nas precisões e acurácia finais, obstruções e interferências no sinal GNSS, latência e outros fatores que atuam sobre observações em tempo real. Para tal, selecionou-se um total de 13 pontos de observação, formando assim raios de ação entre os 5 m a 120 km, da estação MARA (Fig. 5.3).

O resultado obtido pelo posicionamento RTK/NTRIP comparado com as determinações provenientes do pós-processamento foram satisfatórios em todos os pontos, independentes do raio de distância, obstruções e dificuldades na recepção de sinais de satélites. As medições foram realizadas em tempo real, com um mínimo de 6 satélites, com PDOP médio de 2 e uma latência no sinal diferencial de 2 segundos. O comportamento das determinações na componente horizontal descreveu uma tendência similar as variações com respeito ao padrão de coordenadas não excedem  $\pm 3\text{cm}$  e  $\pm 15\text{cm}$  para a altitude elipsoidal, com exceção da estação localizada a 5 km da estação MARA, com obstrução de considerada elevação.

No caso dos ensaios realizados, ao contrário do comportamento mostrado pelos componentes planimétricas dependendo do intervalo, a altitude apresentou variações aleatórias com valores mínimos e máximos de 1,8cm 27,1cm. Em todas as determinações se obtém a solução fixa, exceto a que corresponde ao comprimento da linha base máxima (120 km), sendo obtido tipo flutuante, para aquele caso. O efeito da resolução de ambiguidade e as diferenças

absolutas entre as coordenadas são mostradas na Fig. 5.4, com ambas frequências portadoras e as pós-processadas, com o aumento das diferenças de valores médios de 20 centímetros.

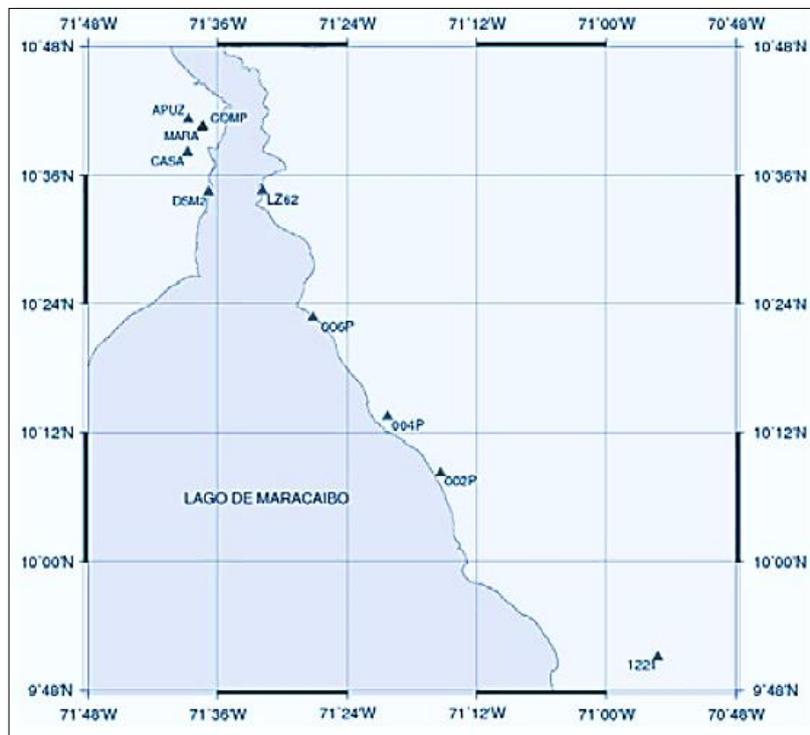


Figura 5.3: Localização relativa das estações utilizadas nos testes GNSS RTK/NTRIP (Fonte: Briceño et al., 2009)

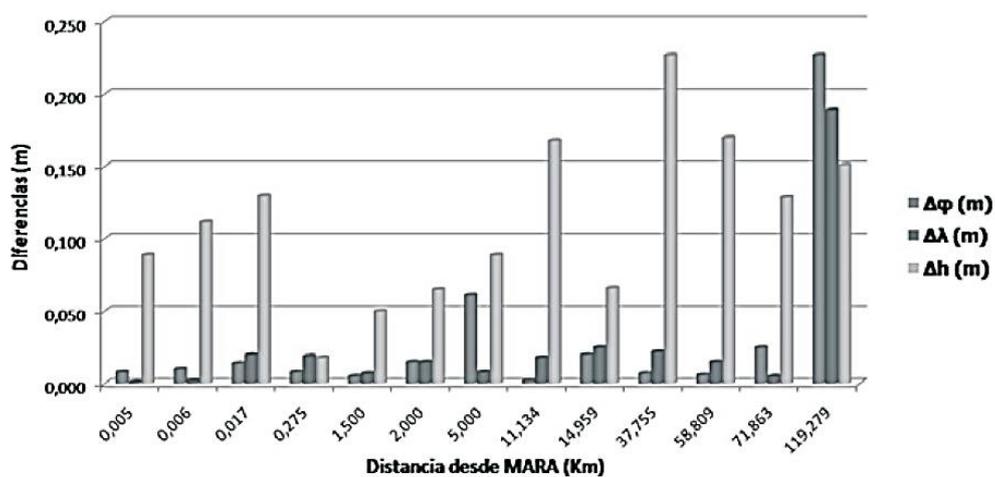


Figura 5.4: Comparação entre coordenadas pós-processadas e NTRIP para dupla frequência. (Fonte: Briceño et al., 2009).

As comparações entre as observações GPS NTRIP de uma frequência em relação as coordenadas, que originaram as diferenças absolutas são mostrados na Fig. 5.5. A utilização da portadora L1, como quantidade observável em tais medições, somente foi eficaz sob aproximadamente 11 km de linhas de base, ou seja, de curta duração. A determinação de posicionamento não excedeu  $\pm 5$  centímetros, enquanto que para as precisões das componentes verticais ficaram entre  $\pm 3$  cm e  $\pm 15$  cm. Nas determinações acima de 11 km, da estação base MARA, as soluções foram do tipo flutuantes, embora tenha sido medido com o mesmo número de satélites e os valores médios de latência também em torno de 2 segundos; foi inferido que a aplicação de observações em tempo real com uma frequência via NTRIP são contraindicados.

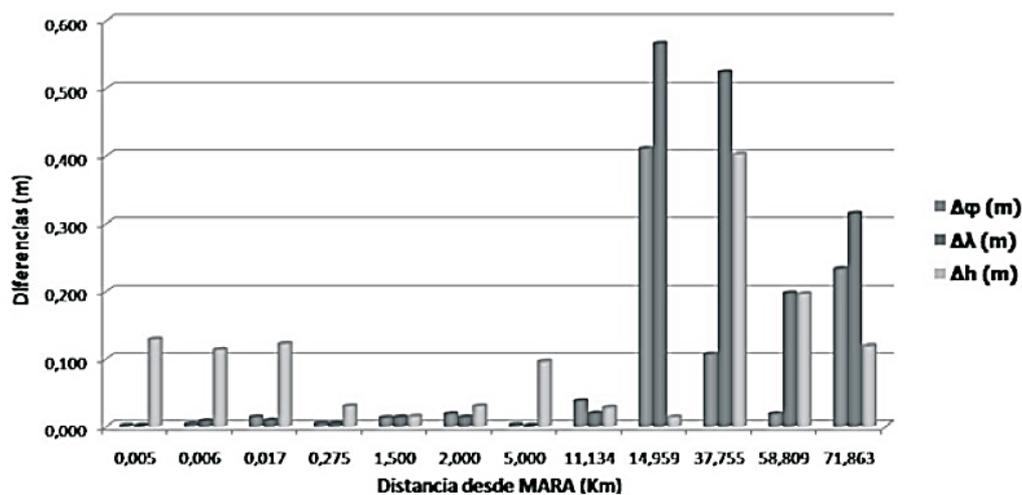


Figura 5.5: Comparação entre coordenadas pós-processadas e NTRIP para uma frequência. (Fonte: Briceño et al., 2009).

Costa et al. (2008), realizaram testes em 11 estações pertencentes a Rede Geodésica Brasileira, localizadas no estado do Rio de Janeiro e utilizou como estações de referência das estações da RBMC-IP: POLI (São Paulo), RIOD (Rio de Janeiro), ONRJ (Rio de Janeiro – Observatório Nacional) e RJCG (Campo dos Goytacazes), conforme apresentado na Fig. 4.37, de modo a demonstrar a confiabilidade do protocolo NTRIP, em diferentes distâncias entre a estação de referência e a estação móvel (receptor rover).

Para que fosse realizada uma avaliação sobre a acurácia e precisão obtida através das técnicas RTK e DGPS, utilizando como meio transmissor das correções RTCM o NTRIP, os resultados obtidos foram comparados com os resultados oficiais constantes no Banco de Dados Geodésicos, da RGB. Naquela ocasião foi utilizado um laptop com modem 3G, no qual foram instalados os programas: Internet Radio-NTRIP Client para o recebimento das correções e uma

unidade de controle de display (CDU), para acompanhamento dos resultados e soluções obtidas em tempo real, considerando que no receptor utilizado não havia modem embutido (GSM). Os levantamentos foram realizados em três dias no modo estático, sendo a distância entre a estação de referência e a estação rover, o ponto mais crítico para obtenção da solução fixa. Em alguns casos foram obtidas soluções inteiras com as ambiguidades resolvidas em outros casos a solução foi float (solução sem resolução das ambiguidades). Observou-se que em distâncias de até 50 km entre a base e o rover, as ambiguidades foram resolvidas proporcionando soluções inteiras. O tempo de latência foi outro fator importante analisado no levantamento, ele é o tempo decorrido entre a geração das correções na estação de referência e a sua aplicação no receptor rover, incluindo a sua passagem pelo Caster. Em média este tempo é de 1 a 2 segundos para estações de referência com Internet a cabo e de 3 a 4 segundos para estações de referência com Internet por satélite.

Conforme Costa et al. (2008), as informações mais relevantes para análise e os resultados obtidos com o RTK e DGPS, são:

- Distância entre a referência e o rover;
- Acurácia das coordenadas RTK, quando comparada com os valores obtidos no BDG;
- Precisão das coordenadas obtidas no levantamento RTK
- Número de satélites;
- Tipo de solução;
- HDOP (horizontal Dilution of Precision);
- Latência.

Costa et al. (2013), realizaram testes com o posicionamento, estático, RTK e PPP em tempo real, aplicando as correções transmitidas pelo serviço RBMC-IP. Na obtenção dos resultados foram utilizados programas gratuitos (RTKnavi e BNC), disponíveis na Internet, sendo o *RTKnavi* utilizado no modo estático e cinemático relativo e o BNC (BKGNTrip Client) na solução do PPP em tempo real. Os ensaios realizados com o PPP no modo cinemático não obtiveram resultados satisfatórios, pois a conexão Internet não era estável, na ocasião do levantamento. Os testes realizados no modo cinemático relativo em tempo real (RTK) mostraram que a qualidade da solução degrada com o aumento da distância entre as estações de referência e móvel, principalmente quando não é possível a resolução de ambiguidades. Nos levantamentos estáticos a precisão dos resultados, na maioria dos ensaios, foi da ordem de poucos centímetros, mais em intervalos de tempo diferentes, levando um mais tempo para a convergência na solução PPP.

Moreira (2011), avaliou a precisão do posicionamento RTK usando correções diferenciais transmitidas pelo serviço RBMC-IP, em função de diferentes comprimentos de linha de base e taxas de coleta. Comparou a precisão posicional dos pontos levantados pelo método RTK/NTRIP com o posicionamento efetuado pelo método relativo estático pós-processado.

Da análise dos resultados e dos procedimentos adotados no posicionamento conclui que no posicionamento RTK/NTRIP, independente do número de épocas utilizadas, foi possível obter resolução das ambiguidades com uma linha de base de até 54,03 km. Os valores de acurácia, com solução fixa, não apresentaram diferença superior a 0,041 m na componente horizontal e 0,083 m na componente vertical. Na Fig. 5.6 são apresentadas as acurácias horizontais para cada estação levantada, utilizando diferentes épocas, mas não foi possível determinar uma tendência de aumento dos erros planimétricos em função da distância entre a estação de referência e as estações levantadas.

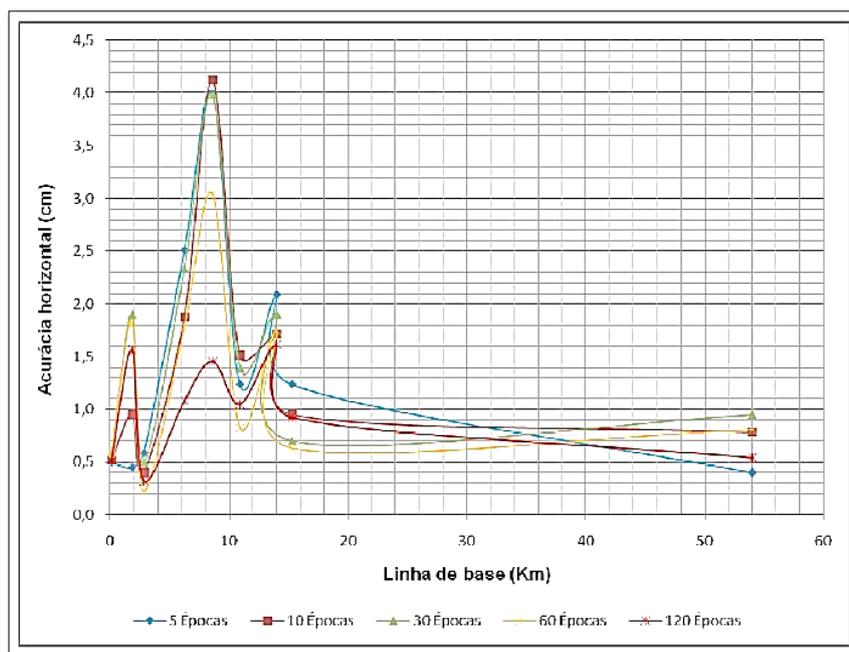


Figura 5.6: Comparativo dos valores de acurácia horizontal pelo método RTK/NTRIP, em função do comprimento da linha de base. (Fonte: Moreira, 2011).

Para os erros verticais, verificou a tendência de aumento destes de acordo com o aumento da linha de base, notadamente onde se concentrou o maior número de estações levantadas (Fig. 5.7).

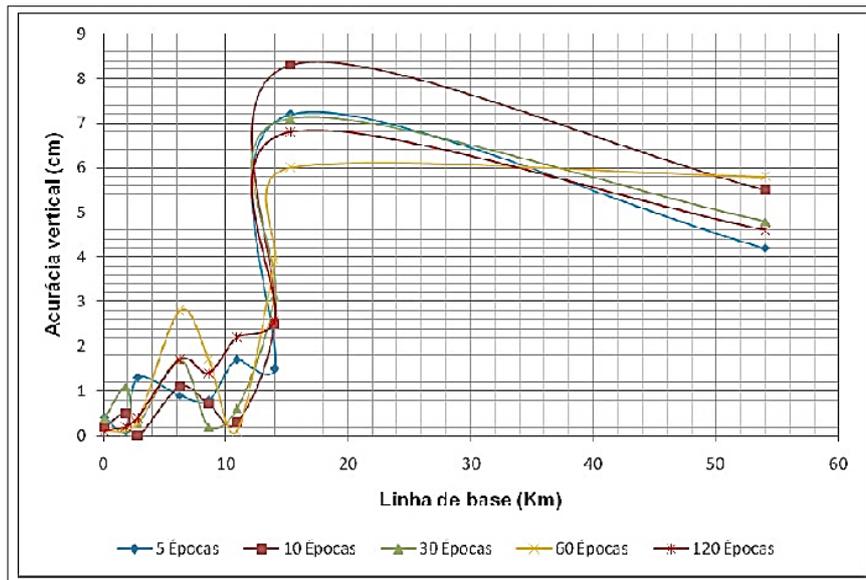


Figura 5.7: Comparativo dos valores de acurácia vertical pelo método RTK/NTRIP, em função do comprimento da linha de base. (Fonte: Moreira, 2011).

Moreira (2011), levando-se em consideração as análises realizadas no estudo, em função dos resultados obtidos, recomendou o posicionamento RTK utilizando correções diferenciais transmitidas pelo protocolo NTRIP (serviço IBGE-IP), para locais com cobertura de sinais de Internet wireless ou serviços de telefonia celular tais como GPRS, GSM e 3G ou superior, como um ótimo instrumento para execução de levantamentos planimétricos cadastrais. Recomendou também que fosse explorada as potencialidades do método, por exemplo, utilizando RTK em rede, inclusão do GLONASS nas observações e análise dos efeitos da interferência de redes elétricas no posicionamento, quanto ao multicaminho.

Acompanhando as tendências e desenvolvimento de tecnologias, Hwang et al. (2012), desenvolveram uma aplicação para smartphone que proporcionou comunicação sem fio, via NTRIP e recursos de processamento RTK e que objetivava simplificar o posicionamento GNSS, com técnica RTK/NTRIP, enquanto reduzia o custo. Um método de determinação de um modelo de erro nas medições RTK em rede, foi proposto, considerando ambos os erros aleatórios e auto correlação, para calcular com precisão as coordenadas medidas pelo aplicativo usando filtros de estimação de estado. A avaliação do desempenho aplicação desenvolvida mostrou elevada precisão de posicionamento em tempo real, dentro de alguns centímetros de intervalo de erro a uma frequência de 20 Hz, com RMS da ordem de 0,0069 m e 0,0068 para coordenadas de latitude e longitude, respectivamente e 0,0269 m para altimetria. A latência para transferência de mensagens de correção, que afetou significativamente a precisão das medições NRTK (Network Real Time Kinematic), foi de  $0,71 \pm 0,32$  s. Fato que confirmou

que os smartphones 3G são muito adequados para o posicionamento NRTK. Um Filtro de Kalman foi aplicado às coordenadas medidas, a partir da aplicação, para avaliar a adequação do método de determinação de um modelo de erro, tal como proposto no estudo. Os resultados mostraram-se mais precisos, em comparação com os do modelo de erro existente, que só considerava o erro aleatório.

Na mesma linha de disseminação do uso do NTRIP em aplicações GNSS com smartphones, Oliveira (2014), realizou um estudo objetivando definir uma metodologia para posicionamento relativo em tempo real e pós-processado utilizando um micro receptor GNSS usado em smartphones, de modo a melhorar a acurácia. Para tal analisou o posicionamento relativo utilizando o método dos mínimos quadrados (MMQ) época a época e o método recursivo com a matriz de ganho de Kalman, em tempo real e pós-processado; bem como, gerou arquivos no formato RINEX a partir de dados rastreados por micro receptores GNSS; analisou dados de rastreio da rede CORS (Continuously Operating Reference Station) e RBMC; e, implementou algoritmos para ajustamento com o MMQ convencional e na forma recursiva utilizando a matriz de ganho de Kalman. Os resultados com a metodologia de processamento relativo em micro receptores GNSS em aplicações em smartphones proposta, melhorou de forma significativa o posicionamento estático, visto que o posicionamento por ponto simples proporcionava um erro planimétrico médio de 6,0 metros e com pós-processamento se reduziu para 0,29 m. Quanto ao posicionamento em tempo real pelo método dos mínimos quadrados recursivo, utilizando a matriz de ganho de Kalman, os resultados melhoraram de forma significativa a acurácia do posicionamento em micro receptores GNSS, uma vez que o erro médio planimétrico alcançado foi seis vezes menor que alcançado pelo método convencional de posicionamento destes dispositivos. O pós-processamento se mostrou muito mais eficaz que o processamento em tempo real, devido ao uso da fase da onda no pós-processamento e também ao tratamento das observáveis do software utilizado. De um modo geral, concluiu que apesar das acurácias alcançadas terem atingido a casa dos centímetros, ainda era prematuro para apresentar os micros receptores GNSS como uma boa forma de levantamentos geodésicos e topográficos, pois a inconsistência dos dados lidos ainda seria um fator a ser mais estudado. De qualquer forma, o posicionamento pode ser viabilizando para fins de mapeamento em linhas de base curtas.

Tierra et al. (2015), apresentaram uma implementação da técnica NTRIP para o posicionamento em tempo real no posicionamento GNSS em um dispositivo móvel. As bases para fazer a aplicação das correções na obtenção das posições e melhorar o posicionamento do móvel, foi realizada pelo acesso aos dados do GNSS, em um navegador móvel com Android e

no Mobile Mapper 10, o uso de NTRIP para fazer as correções diferenciais por meio do IP, e a internet como meio de comunicação. Os resultados mostraram que o erro médio posicionamento do receptor móvel, após as correções pode chegar até 2,3 m em uma Tablet com Android e 1,6 m com o Mobile Mapper 10, com um período de 5 minutos de rastreamento. As limitações que afetam as observações devem-se a distância entre o receptor e a estação de referência, sendo que para o estudo, os melhores resultados foram obtidos com até 30 km de distância entre estas. Observou-se ainda que para melhores resultados somente dados GNSS devem ser utilizados, porque ao usar o cálculo da posição com os recursos das redes e antenas das operadoras de telefonia celular ou outro método, como a triangulação de coordenadas utilizada pelo aplicativo Google Maps, apesar de um resultado mais rápido (tempo de latência menor), a solução de uma posição com um erro maior pode ocorrer, passando de 5 para 30 m.

As aplicações da técnica RTK/NTRIP tem sido avaliadas para levantamentos os mais diversos. No entanto não foi encontrado, na literatura abordada, referência ao uso desta na determinação da vulnerabilidade física em áreas de risco de deslizamento, uma das abordagens usadas neste trabalho de tese.

## **5.2 - GNSS APLICADO A DESLIZAMENTOS**

O uso das Ciências Geodésicas e suas tecnologias aplicadas à Geotecnia remonta os primórdios dessas ciências, haja visto que o conhecimento sobre a forma de objetos (feições do terreno e estruturas), a posição espacial e como estes se movimentam sempre foi, senão objeto de estudo, base para o planejamento de suas atividades. O desenvolvimento de tecnologias modernas e métodos de aquisição de dados espaciais, contribuem no sentido de obtenção de mais dados e informações sobre o objeto a ser estudado, com qualidade superior às informações legadas, observadas o correto procedimento de aquisição: a qualidade de dados é intrínseca, não somente aos objetivos, mas aos atendimentos aos requisitos de aquisição.

No que tange as atividades voltadas para o mapeamento geotécnico e gerenciamento de risco, a aquisição de dados espaciais a partir de imagens de sensores remotos corresponde ao maior número de aplicações. Fato justificado pela relativa facilidade no acesso às imagens no que concerne à disponibilidade, ao custo mais reduzido se comparado com dados espaciais oriundos da Fotogrametria; ao desenvolvimento de softwares, que além de processamento de imagens, gera produtos com integração dados de outras fontes. A gama de aplicações somente

é restringida pelo objetivo, que irá definir a precisão e escala de apresentação dos dados espaciais.

No âmbito de maior detalhamento de uma área ou região a ser mapeado, a aquisição de dados espaciais proposta é aquela realizada com o uso de técnicas mais precisas, como a Fotogrametria, a Geodésia ou a Topografia e mais recentemente, a tecnologia de aerolevanteamento LIDAR (acrônimo para a tecnologia Light Detection and Ranging). A aquisição de dados por Fotogrametria e a tecnologia LIDAR, são ainda relativamente caras. Apesar da automatização de processos nos levantamentos fotogramétricos, o prazo para disponibilização do produto final ainda é alto; em se tratando de mapeamento em cidades, cuja dinâmica de urbanização é crescente, um mapeamento por fotogrametria torna-se obsoleto em um período de tempo relativamente curto.

Tradicionalmente a Geodésia e a Topografia possuem um papel de tecnologia de apoio aos mapeamentos, tão importantes quanto o próprio, pois além de georreferenciar, qualifica-os quanto à precisão. O desenvolvimento das tecnologias de posicionamento espacial no que tange aos receptores GNSS e as estações totais robotizadas, causaram uma grande revolução na área de levantamentos, ora isoladas, ora integradas, na medida que diminuí custos operacionais e traz maior precisão relativa, não diminuindo, no entanto, o entendimento do processo que o profissional tem ou deve ter quanto ao uso dessas tecnologias. No futuro próximo, o laser scanner terrestre poderá substituir as estações totais robotizadas, com mesma precisão e custos relativos.

No contexto da Geotecnia, tecnologias para o monitoramento de deslizamento tem sido utilizada ao longo do tempo. Malet et al. (2002), enfatizam que em duas décadas houve um progresso técnico muito relevante nos métodos, técnicas e modo de operação em que pese o monitoramento de áreas suscetíveis à deslizamentos. Tais técnicas são escolhidas de acordo com a intensidade dos fenômenos considerados (quedas de bloco, fluxo de detritos, escorregamentos) e da precisão do método, sendo em geral integradas com documentos cartográficos existentes da área de estudo. Na Tab. 5.5, é apresentado uma visão geral dos principais métodos para monitoramento de deslizamentos de massa, sua aplicação, limite de utilização e acurácia típica para o método. Malet et al. (2002), avaliaram que a utilização do posicionamento pelo GPS, então sistema operacional à época do monitoramento de uma área suscetível à deslizamento, no sul da França, denominado de escorregamento Super-Sauze, mostrou-se muito eficiente, considerando a possibilidade de medição contínua, durante um período de tempo longo e simultâneo em vários pontos de fluxo de massa, se comparado à utilização de outros equipamentos de medição. Foi possível quantificar o movimento

tridimensional do fluxo, avaliando o comportamento destes, mesmo em movimentos lentos (5 mm / dia). Outra vantagem observada foi de que não havia necessidade de intervisibilidade entre os pontos medidos e da possibilidade de envio de dados por meio de um dispositivo comunicação para um centro de processamento de dados, tornando-os disponíveis quase em tempo real.

Tabela 5.5: Descrições e características dos principais métodos de monitoramento de deslocamentos superficiais e sua precisão (Fonte: Adaptado de Malet et al., 2002).

MÉTODO	USO	RESULTADO	ALCANCE	ACURÁCIA
Micrômetro de nível	Deslocamento angular	$\Delta a$	0,1 rad	$4 \times 10^{-4}$ rad
Fissurômetros	Movimento diferencial	$\Delta d$	< 20 mm	$\pm 0,1$ mm
Nível de vernier	Abertura de pequenas fissuras	$\Delta d$	< 200 mm	$\pm 0,5$ mm
Extensômetro de bases curtas	Abertura fissuras	$\Delta d$	25-450 mm	$\pm 0,1$ mm
Régua de Invar	Deslocamento de alvos em movimento	$\Delta d$	Mais de 40 m	$\pm 0,1$ mm
Fios extensores	Deslocamento de alvos em movimento	$\Delta d$	Mais de 100 m	$\pm 0,5$ mm
Nível	Variação de altitude	$\Delta H$	Variável	20 mm
Distanciômetro eletrônico	Deslocamento de alvos em movimento	$\Delta d$	1 - 10 Km	7 mm $\pm$ 1-5 ppm
Estações Geodésicas	Deslocamento de alvos em movimento	$\Delta X, \Delta Y, \Delta H$	1 - 10 Km	3 mm $\pm$ 1-5 ppm
GPS	Deslocamento de alvos em movimento	$\Delta X, \Delta Y, \Delta H$	Linhas de base < 20 km	1 - 2 mm
Fotogrametria Terrestre	Deslocamento de alvos em movimento	$\Delta X, \Delta Y, \Delta H$	< 200 m	40 mm
Fotogrametria Aérea	Modelo Digital de Elevação Comparação	$\Delta X, \Delta Y, \Delta H$	Altura do voo < 500m	100 mm
Radar Interferométrico INSAR <sup>a</sup>	Deslocamento de alvos em movimento	$\Delta X, \Delta Y, \Delta H$	Variável	3 - 5 mm
DORIS <sup>b</sup>	Deslocamento de alvos em movimento	$\Delta X, \Delta Y, \Delta H$	Variável	2 mm

<sup>a</sup> Radar de Abertura Sintética.

<sup>b</sup> Determinação da Órbita e Rádio Posicionamento por Satélite.

Gili et al. (2000), em análise do uso do GPS em monitoramento de deslizamentos, concluíram que em contraste com o posicionamento GPS pelo método estático, cujo tempo de rastreamento é função do tamanho da linha de base, a técnica RTK, que demanda somente poucos minutos ou segundos de rastreamento, proporciona resultados adequados, com vantagens de serem obtidos sob quaisquer condições climáticas e qualquer horário do dia. Em um monitoramento durante um período de 26 meses, de um deslizamento Vallcebre, em Barcelona - Espanha, utilizando a técnica RTK, foram obtidos resultados de 16 mm e 24 mm de erro médio quadrático (RMS) nos deslocamentos horizontal e vertical respectivamente. O deslocamento observado de

massa foi da ordem 100 a 800 mm / ano, variando conforme os períodos de seca e chuva. Seguindo a mesma linha de análise, Calcaterra et al. (2012), utilizaram uma rede com 16 pontos do GPS, sendo 6 estações permanentes, para monitorar deslizamentos profundos no sul da Itália, comparando a medição com inclinômetros fixos. Os resultados experimentais mostraram que os deslocamentos de superfície avaliadas pelas estações de GPS, em 3 anos, foram consistentes com os deslocamentos de superfície avaliadas pelos inclinômetros. Esta associação, de diferentes instrumentos, permite o monitoramento contínuo quando, por um motivo qualquer, um dos instrumentos está fora de uso, sendo útil em estudos de fatores que desencadeiam deslizamentos, detecção de possíveis acelerações e consequente aumento do número de ameaças em uma área.

Garrido et al. (2013), apresentaram uma metodologia específica para monitoramento de dunas e cálculo de perfis de elevação, multitemporais, com a utilização do posicionamento GPS em rede, usando técnica RTK (NRTK), em uma área no sudoeste da Espanha. Em um período de 6 meses, foram investigados a morfologia de dunas e as mudanças associadas, devido à erosão e acréscimo de material. A disponibilidade de uma rede GPS ativa na região de estudo permitiu monitorar a duna, capturando sua evolução para o período em epígrafe. Os resultados obtidos mostraram um equilíbrio entre os valores de erosão e deposição de areia da duna. A técnica apresentou melhorias significativas em comparação com outras técnicas para o monitoramento pequenas áreas, como melhor repetibilidade, precisão, confiabilidade, entre outros aspectos avaliados, demonstrando que o uso do GPS é uma alternativa às técnicas clássicas, com resultados confiáveis.

Xiao e He (2013), utilizaram o posicionamento GPS em tempo real (RTK), para monitoramento de uma área com histórico de deslizamentos, destinada ao reassentamento de pessoas devido à construção da hidroelétrica de Pubugou, no sudoeste da China. Foram utilizadas 29 estações de monitoramento contínuo e mais 90 estações periódicas, com distribuição cuidadosamente projetado com base em investigação de campo antes da implementação, privilegiando as áreas de maior número de construções. Foi utilizado o conceito de posicionamento GPS multiantenas, de modo a reduzir o investimento em hardware; considerando-se a distância entre as estações de monitoramento, foram escolhidas 10 estações de monitoramento contínuo para a ligação com dois controladores multiantena. Objetivando a comparação com outros métodos, também foram coletados dados de deformação usando-se o sistema de inclinômetros digital (RST MEMS), periodicamente, em estações de monitoramento GPS. A comparação entre os deslocamentos avaliados entre os dois métodos, como mostrado na Fig. 5.8, mostrou consistência, mesmo com diferentes magnitudes; o RMS obtidos para s

componentes horizontal e vertical foram de 2 e 4 mm. Concluiu-se que o GPS poderia ser um complemento confiável às técnicas tradicionais e poderia ser utilizado naquele tipo de monitoramento.

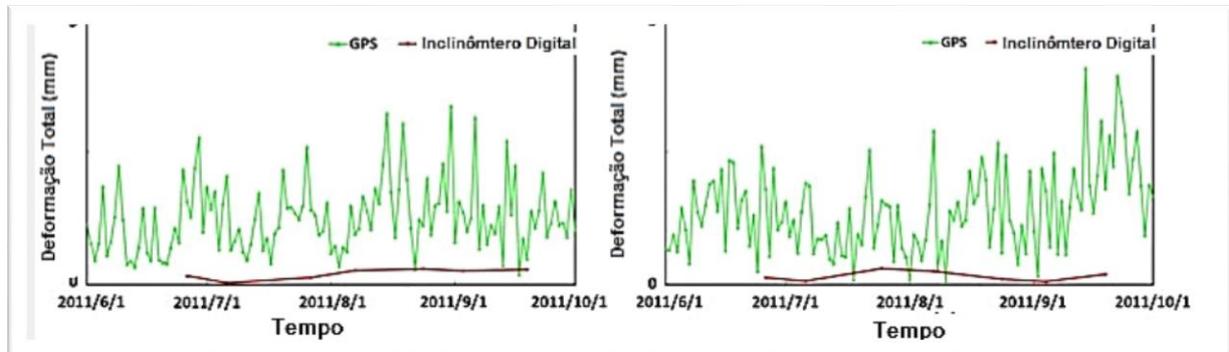


Figura 5.8: Comparação entre os resultados do GPS e o Inclinômetro Digital.  
(Fonte: Xiao e He, 2013).

Benoit et al. (2015), concluíram que uma técnica de monitoramento de deformação da superfície única, integrando todos esses recursos ainda estaria faltando, considerando que a análise de risco de deslizamento, exige um acompanhamento contínuo dos deslocamentos com frequência relativamente alta em pontos da superfície e geomorfologicamente relevantes; considerando que também exige um monitoramento da localização das estruturas expostas, evolução posicional e estrutural ao longo do tempo; considerando que os métodos de posicionamento geodésicos (GNSS, Taqueometria), permitem observações temporais de frequências muito alta e precisas, enquanto que os métodos de sensoriamento remoto (InSAR, Fotogrametria Terrestre, Aérea e por Satélite, LIDAR), permitem observações espacialmente distribuídos de alta resolução espacial. Dessa forma desenvolveu o sistema denominado *Geocube*, preconizado para que, relativamente, houvesse baixo custo, flexibilidade, fácil instalação e uso de receptor GPS com tecnologia sem fio. Outrossim, houvesse a possibilidade de integração de sensores adicionais ao sistema, no monitoramento de outras propriedades inerentes aos deslizamentos de terra (microsismicidade, ondas sísmicas) ou fatores desencadeantes (meteorologia, hidrologia inclinação). O sistema foi projetado em 3 módulos, que consistiam em 3 placas eletrônicas, a saber, uma com o módulo GPS, de 1 frequência, com antena, permitindo o posicionamento e o registro das observações, por outros sensores acoplados, no mesmo sistema de tempo GPS; um módulo de rádio de baixo consumo, para comunicação entre os nós do *Geocube* e um módulo de gestão, utilizada para armazenamento/gravação dos dados e gerenciamento dos sensores. Além destes três módulos

principais, sensores ambientais (meteorológicos, solo, sondas de humidade, poro pressão de fluidos e sismógrafos), poderiam ser acoplados. Algumas condicionantes para aplicação do sistema foram determinadas após testes, sendo estabelecido que, para obtenção de precisão de 2 a 5 mm na componente horizontal e 2 a 10 mm, na componente vertical, em um monitoramento de deslizamento, seria necessário observar: o comprimento das linhas de base, deveriam ser curtas, de até 5 km; as diferenças de altitude, no máximo 300m; as taxas de deslocamento de superfície, em média de 0,005 m a 5 m por dia; e a instalação dos nós em estruturas estáveis e rígidas.

O desempenho do sistema Geocube foi avaliado em condições de monitoramento de campo real, em um período de 40 dias, no ano de 2012, no deslizamento Super-Sauze, nos Alpes Franceses (Fig. 5. 9a). Foi documentado a evolução espacial e temporal do deslizamento, correlacionados à precipitação de eventos. Para a sessão de 40 dias, os registros do deslocamento apresentaram um desvio padrão de, respectivamente, 2 mm e 5 mm para as componentes horizontais e verticais. Segundo Benoit et al. (2015), a repetibilidade dos deslocamentos (Fig. 5.9b), foi semelhante à obtida nas mesmas condições de receptores GPS de dupla frequência o que confirma a relevância da estratégia de posicionamento adotado, ou seja, com base em uma rede local de receptores GPS de baixo custo e única de frequência.

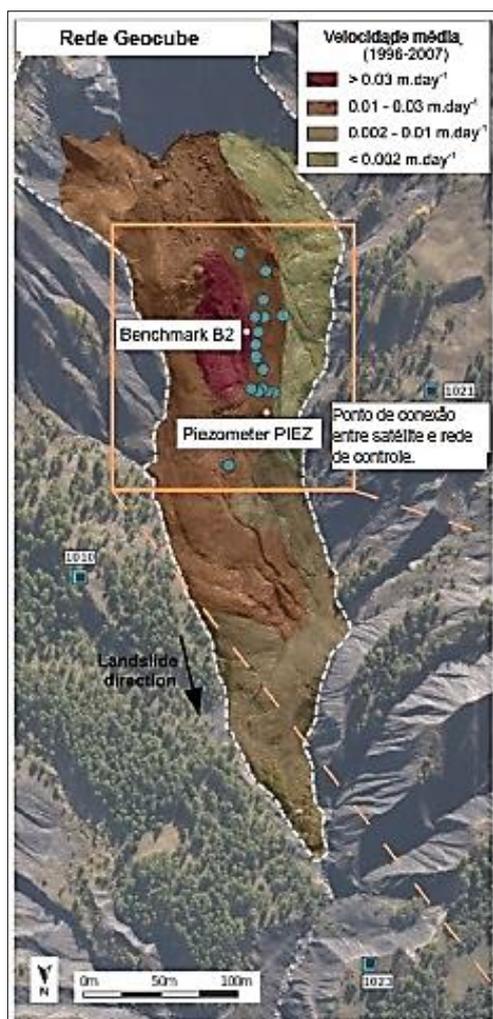


Figura 5.9a: Localização dos nós Geocube instalados para a campanha de monitorização; a rede foi instalada na parte superior do deslizamento de terra onde as taxas de deslocamento são os mais elevados (Benoit et al., 2015).

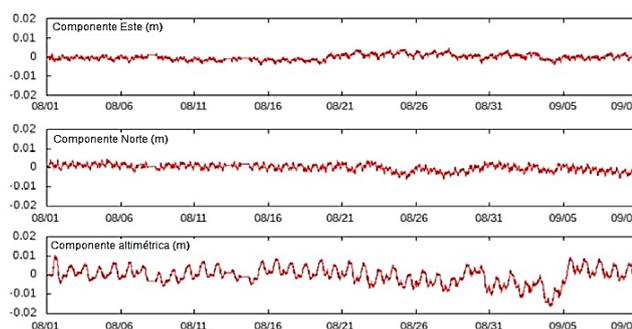


Figura 5.9b: Para uma linha de base GPS, as componentes horizontal e vertical mostram estabilidade a longo prazo, com oscilações diárias (Benoit et al., 2015).

Pereira e Silva (2012), conduziram um estudo em uma área de risco natural, a partir de uma abordagem metodológica relacionada com o monitoramento da superfície de uma encosta em processo de deslizamento de terra, no município de Camaragibe, Pernambuco (Fig 5.10).

Uma estrutura geodésica foi implantada com a finalidade de monitorar a encosta, através da detecção de deslocamentos de pontos, o qual realiza uma comparação de dois conjuntos de coordenadas e desníveis oriundos dos dados ajustados de diferentes técnicas de levantamento, tais como: método polar, nivelamento geométrico e rastreamento estático GPS. A análise geodésica espaço-temporal dos procedimentos demonstrou a movimentação representada pelos parâmetros de orientação e velocidade de blocos em deslizamento.

O estudo mostrou que é perfeitamente viável e justificável a adoção da metodologia para a detecção de deslocamentos superficiais em encostas, como sendo um meio com garantias metrológicas, capaz de gerar resultados absolutos com alta precisão e confiabilidade. Em análise aos experimentos realizados com a estação total, nível digital e receptor GPS, Pereira e

Silva (2012), verificaram a compatibilidade dos resultados obtidos em cada procedimento adotado, validando assim, os valores encontrados para os parâmetros de orientação e velocidade, discretizadores da movimentação de blocos na superfície da encosta estudada, a exemplo dos parâmetros de deslocamento horizontal resultante, velocidade de deslocamento planimétrico e velocidade de deslocamento altimétrico, respectivamente:  $dh=24,88\text{mm}$ ;  $VP=3,55\text{ mm/mês}$ ;  $VA=1,27\text{ mm/mês}$ , do ponto A5 (Fig. 5.11). Estes parâmetros estão relacionados diretamente a diversos fatores influentes no mecanismo do deslizamento.

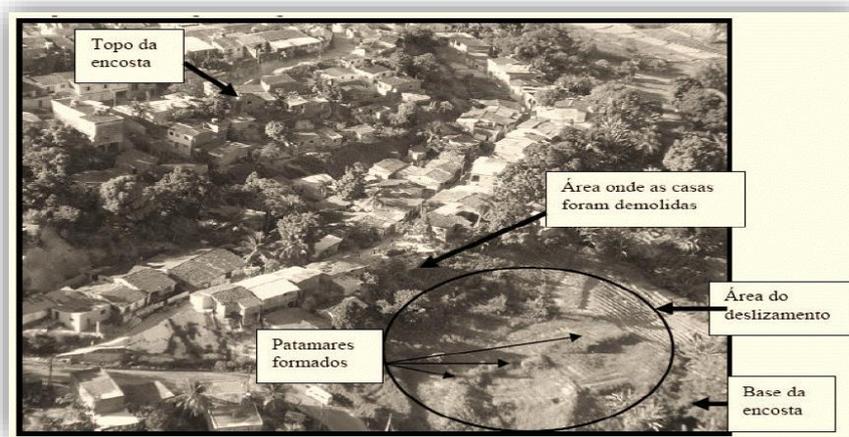


Figura 5.10: Vista aérea da encosta estudada, Camaragibe, Pernambuco (Fonte: Silva et al, 2006, citado em Pereira e Silva, 2012).

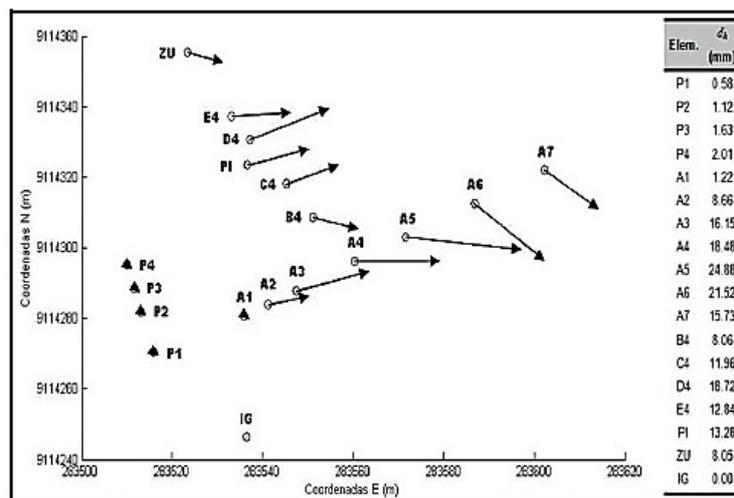


Figura 5.11: Vetores de deslocamento na área de estudo (Fonte: Pereira e Silva, 2012).

Paese et al. (2014), utilizaram a tecnologia de posicionamento GNSS para iniciar o monitoramento de um deslizamento de terra, com predominância de argila e areias arcossianas, em um bairro na cidade de Curitiba – Paraná (Fig. 5.12). Para tal foi montada uma estrutura

geodésica, sendo armazenando os dados brutos para o pós-processamento, utilizada para determinação da altimetria. Foi realizada uma análise mostrando que para área de estudo, as diferenças de altitudes elipsoidais e altitudes ortométricas com erros inferiores a 7 mm devem ser compatibilizadas ao mesmo referencial altimétrico.



Figura 5.12: Estrutura geodésica de monitoramento de área de estudo no Bairro de Guabirutuba, Curitiba, PR (Fonte: Paese et al., 2014).

Bayrak et al. (2015), apresentaram uma alternativa de baixo custo para análise de deformação monitoramento de deslizamentos de terra, usando dados coletados da rede ativa de pontos GNSS, denominada TUSAGA-Aktif, da Turquia, com 147 estações (Fig. 5.13). Usando a técnica de RTK em rede, foram determinados os campos de velocidade de em uma área de estudo na região oriental do Mar Negro na Turquia.



Figura 5.13: Localização das estações de referência da rede ativa GNSS TUSAGA-Aktif, da Turquia e local da área do estudo (Fonte: Bayrak et al., 2015).

Foram estabelecidos trinta e cinco (35) pontos para a determinação 3D. As velocidades determinadas, foram usadas para gerar os campos de velocidade da área de deslizamento de terra por três épocas, utilizando Sistema de Informação Geográfica (SIG). Os resultados obtidos indicaram que quase todos os pontos monitorados mostraram movimentos significativos, com diferentes magnitudes de velocidades. Foram também determinados os rumos do movimento dos 35 pontos monitorados. Os resultados mostram que as tendências dominantes dos movimentos de deslizamento de terra na área de estudo estão nas direções noroeste e nordeste. Estes resultados estão de acordo com os resultados anteriores obtidos na mesma área de estudo cerca de dez anos atrás.

Algumas das tecnologias elencadas na Tab. 5.5, notadamente as utilizadas no âmbito da Geodésia e Topografia também são utilizadas em outros tipos de aplicações na Geotecnia, como por exemplo na cartografia geotécnica. O GNSS tem sido utilizado em diversos tipos de aplicação, sendo uma tecnologia bastante disseminada na área, notadamente quanto à rapidez, custo e precisão na determinação de pontos.

## **6 - MATERIAIS E MÉTODOS**

### **6.1 - DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

Como área de estudo desta pesquisa, foi escolhida a cidade do Recife, no estado de Pernambuco, Brasil, situada no contexto nacional conforme Fig. 6.1, considerando que historicamente possui ocorrências de deslizamentos em encostas, de um modo geral deflagrados pelas chuvas, em áreas cujas ocupações habitacionais se deram de forma irregular, desordenada e em que não foram observadas, pelos moradores, um padrão de segurança mínimo tanto de corte, quanto de manutenção das encostas. Outrossim, a existência de uma estação da RBMC-IP na cidade permitiu um suporte mais adequado para análise de dados levantados, considerando tanto a distância da linha de base à área objeto do levantamento, quanto a recepção de sinais, via internet, facilitada pela extensa rede de estações rádio base das operadoras de telefonia na região.

O município do Recife foi um dos precursores no Brasil, na implantação de uma base cartográfica em escala cadastral em meio digital, tal qual o projeto UNIBASE – Unificação de Bases Cadastrais da Região Metropolitana do Recife - RMR, no ano de 1984, cuja premissa foi de unificar as bases cartográficas da RMR. Tal iniciativa permitiu a realização de projetos e ações governamentais no âmbito da RMR e dos municípios que a compõem. Em que pese a atualização da UNIBASE, considerando tratar-se de uma parceria entre os municípios da RMR e concessionárias de serviços (águas, energia, telefonia e transporte urbano), no contexto administrativo destes, a última ocorreu no ano 2001, perfazendo um total de 436 plantas topográficas cadastrais (Carvalho, 2003). Em 2007, a Prefeitura do Recife – PCR, contratou o mapeamento de toda extensão territorial, com 220 km<sup>2</sup>, através de processo fotogramétrico com cobertura aérea na escala 1:6.000, ortofotocartas e restituição digital na escala 1:1.000, que contemplou níveis de hidrografia, sistema viário e principais edificações, atualizando a então base cartográfica.

Objetivando a atualização desse mapeamento e com vistas a subsidiar ações de prevenção de deslizamentos em encostas, baseado nas evidências de mudanças no uso e ocupação do solo da cidade, somado a necessidade de maior e melhor atuação nas áreas de risco, a Prefeitura da Cidade do Recife – PCR, contratou no ano de 2012 uma nova cobertura

aérea utilizando o sistema de Perfilamento a Laser Aerotransportado na aquisição de dados da superfície do terreno e de elementos que se encontram acima deste, de tal forma a obter informações tridimensionais das edificações nas áreas de morro com uma precisão proporcional à do processamento de dados GNSS, produtos esses que não tinham sido contemplados na cobertura aerofotogramétrica anterior (Silva Junior & Silva, 2014).

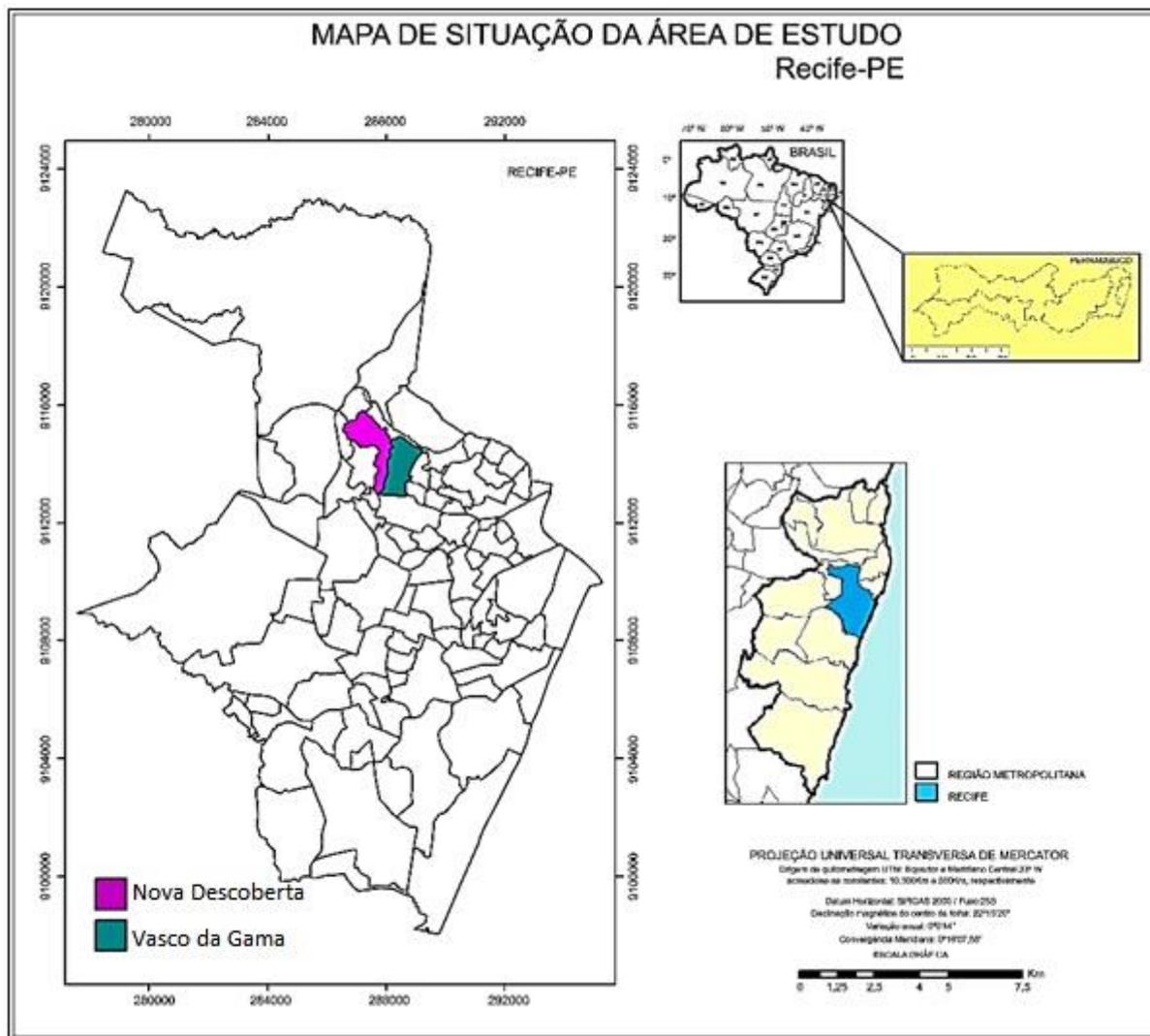


Figura 6.1: Localização da área de estudo – RPA 3 - Regional Noroeste da cidade do Recife, bairros de Nova Descoberta e Vasco da Gama (Fonte: Compilado de IBGE, 2010).

Para utilização da técnica de posicionamento RTK-NTRIP, faz-se necessária a utilização de receptores GNSS/GPS, dotados de dispositivo de recepção de correções via rede de telefonia celular. O Departamento de Engenharia Cartográfica, da UFPE, possui esse tipo de receptor e o disponibilizou para realização dos testes, juntamente com a suíte de aplicativos necessários ao processamento, análise e transformação dos dados coletados nas áreas de teste.

Considerando que a pesquisa não abrangeu a provisão e o suporte aos custos adicionais necessários à viabilização dos testes, a logística empregada para a realização dos levantamentos foi a de menor custo e mais conveniente possível, considerando os aspectos segurança e adequação da topografia aos propósitos do estudo. Para tal, foram fundamentais o apoio do Laboratório de Geodésia – LAGEO, do Departamento de Engenharia Cartográfica da UFPE, na disponibilização dos equipamentos e instalações, bem como da Unidade Estadual do IBGE em Pernambuco, na disponibilização de veículos para deslocamento na área de estudo.

## **6.2 - INFORMAÇÕES SOBRE DESLIZAMENTO NA ÁREA DE ESTUDO**

O município do Recife é o núcleo da região metropolitana, com uma população estimada no ano de 2013, segundo IBGE, de 1,53 milhões de habitantes, ou seja, 41% de toda população da RMR. A área do município estende-se por 218,5 Km<sup>2</sup>, sendo composta 67,43% de morros, 23,26% de planícies, 9,31% aquáticas e 5,58% de Zonas Especiais de Preservação Ambiental – ZEPA (PCR, 2016). A cidade é dividida em seis Regiões Político-Administrativas (RPA's), definidas para formulação, execução e avaliação permanente das políticas e do planejamento governamentais, que reúnem 94 bairros, conforme Fig. 6.2. A área de estudo está localizada na RPA3 (Fig. 6.3), composta por 29 bairros, dentre os quais os bairros adjacentes de Nova Descoberta e Vasco da Gama, ambos com registros recorrentes de áreas sujeitas à deslizamentos. Nestes bairros, foram selecionados 6 (seis) áreas com registros de ocorrência disponibilizados pela Secretaria de Defesa Civil (SEDEC) – da cidade Recife, para fins do levantamento.

De acordo com Gomes et al. (2012), os deslizamentos do tipo translacionais ou planares (Fig. 2.9), são os que ocorrem com maior incidência na zona norte do município do Recife, em geral, durante ou imediatamente após chuvas fortes, concentradas no período de abril a julho. Outrossim, a infiltração de águas servidas, o descarte de lixo nas encostas, causando sobrepeso, contribuem para deflagrar o processo de deslizamentos naquelas áreas.

O bairro de Nova Descoberta, possui uma área territorial de 180 km<sup>2</sup> e segundo o Censo 2010 do IBGE, a população residente era de 34.212 habitantes, topografia acentuada e densidade demográfica de 189,91 habitantes por hectare. O bairro de Vasco da Gama, por sua vez, possui uma área territorial de 160 km<sup>2</sup> e segundo o Censo 2010 (IBGE), a população

residente era de 31.025 habitantes, topografia acentuada e densidade demográfica de 193,38 habitantes por hectare (Fig. 6.4).

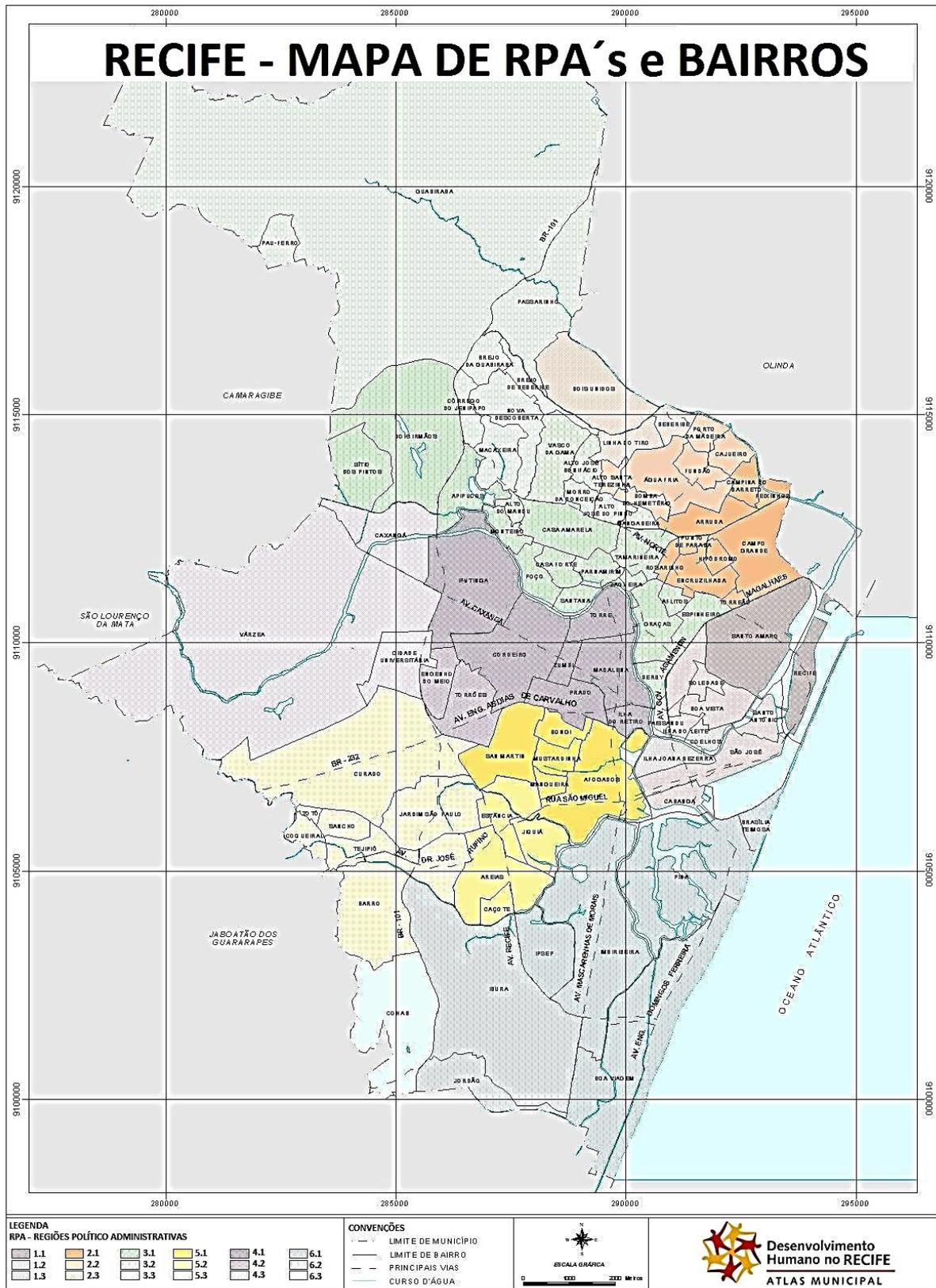


Figura 6.2: Regiões Político-Administrativas – RPA's e Bairros do município de Recife (Fonte: Atlas de Desenvolvimento Humano no Recife, 2005).

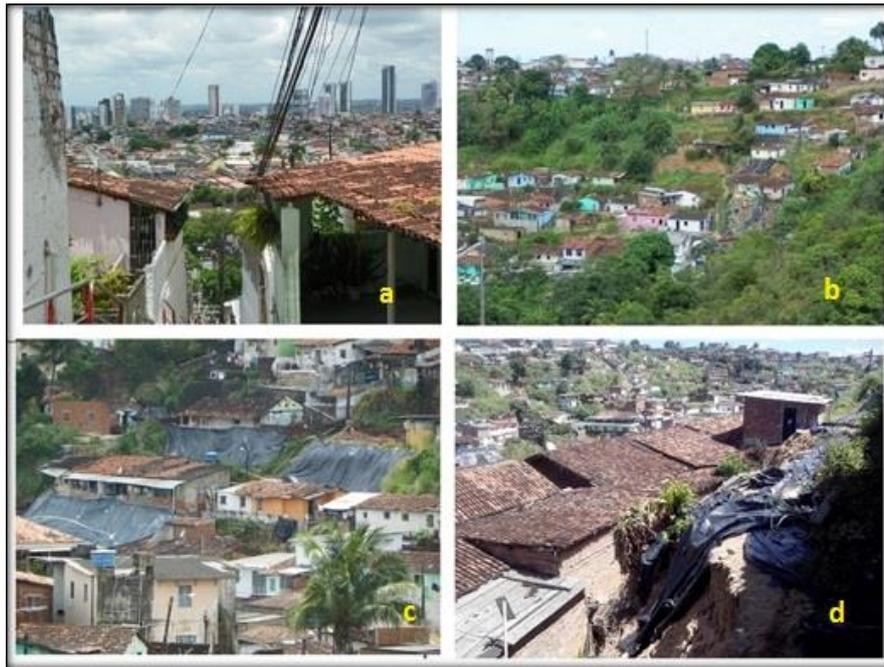


Figura 6.3: Panorâmica da RPA 3 – a) vista do morro para planície; b) tipo de ocupação nas encostas; c) encostas susceptíveis à deslizamentos, cobertas por lonas; d) aspecto de encostas em processo de deslizamento, coberta com lona (Fonte: A autora, 2013).

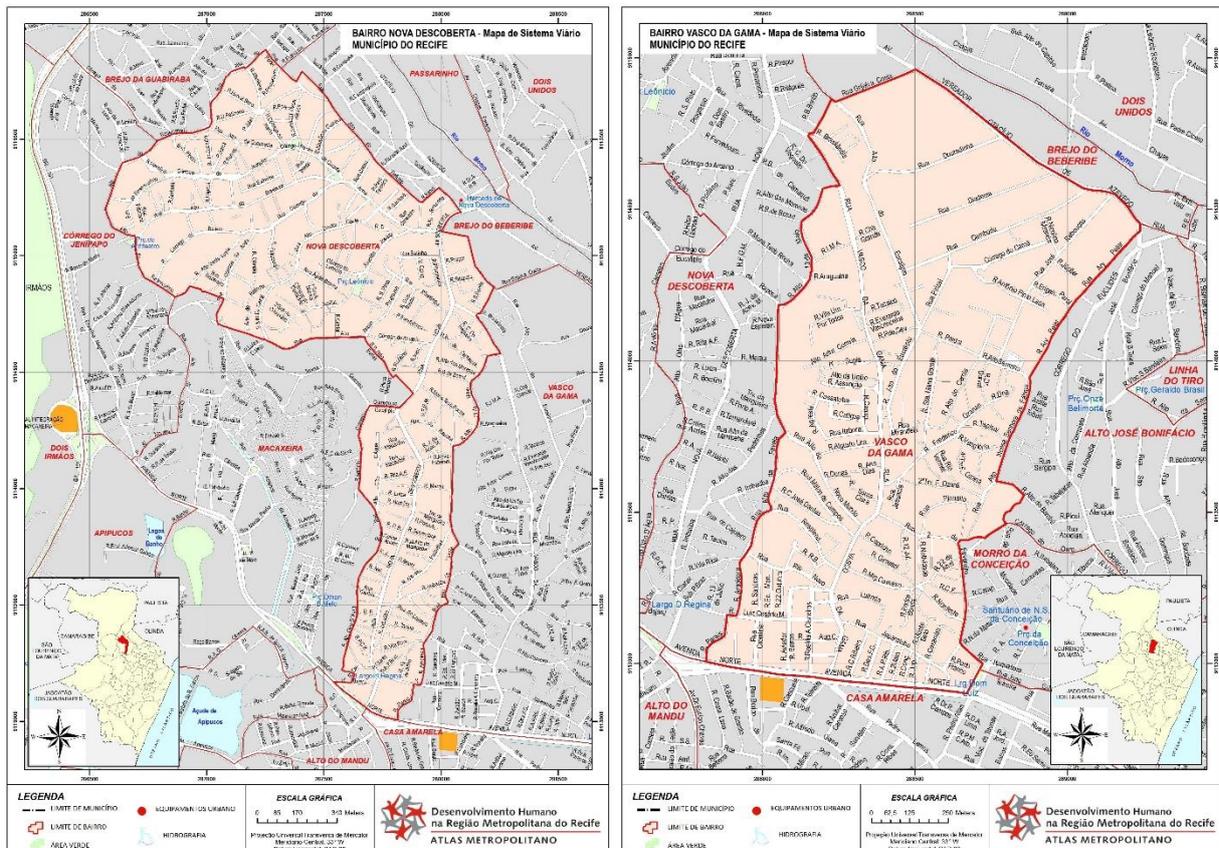


Figura 6.4: Bairros de Nova Descoberta e Vasco da Gama, RPA 3, município do Recife – PE. (Fonte: CONDEPE/FIDEM et al., 2013).

As ocupações nas encostas da RMR áreas já eram identificadas desde meados da década de 1960, quando projetos de construção de habitações populares foram implantados nos topos dos morros (conjuntos habitacionais); a população mais carente ocupou as encostas adjacentes àqueles conjuntos, ignorando os riscos a que estavam expostos. O adensamento populacional que viria nos anos seguintes, decorrentes não só da ausência do poder de polícia do estado, mas em especial do movimento migratório do campo para a cidade, entre outros fatores (Alheiros, 1998). No ano de 2006, a cidade do Recife contava com 59% dos seus domicílios nessas áreas. Essa sistemática de ocupação das encostas levou ao surgimento de ocorrências de deslizamentos, por vezes com vítimas fatais. No ano de 1996, uma chuva extrema de 139,4mm/12 horas, provocou deslizamentos de encostas em quase todos os morros da RMR, registrando-se um total de 62 mortes. No Alto da Brasileira, RPA 3 do Recife, 16 pessoas morreram e cerca de 1000 pessoas ficaram desabrigadas (Lima, 2002 citado em Bandeira, 2010), conforme pode ser visualizado na Fig. 6.5.

A magnitude da tragédia ocorrida em 1996, levou o poder público, representados pela Assembleia Legislativa Estadual de Pernambuco, a inclusão do tema “Morros e Encostas”, na pauta de discussão dos problemas comuns da RMR, como “uma questão de direito à vida” e, por conseguinte, dos problemas decorrentes da falta de infraestrutura e investimentos nas áreas de morros. A partir do ano de 1998 o Conselho de Desenvolvimento da Região Metropolitana do Recife – CONDERM, através da Resolução nº 36, indicou os morros e encostas como ação prioritária metropolitana, tendo como recomendação básica (CONDEPE/FIDEM):

- i) Buscar uma solução articulada e progressiva para se contrapor à prática das ações emergenciais e pontuais, através de uma mobilização sistemática e integrada com órgãos públicos e moradores, em uma visão preventiva e de estruturação desses espaços.
- ii) A realização de estudos sobre o estado da arte da ocupação dos morros, que refletisse o conhecimento disponível na região e em outras áreas com problemas semelhantes, a ser aplicado no planejamento estratégico da RMR, bem como servir de subsídios para as comissões de defesa civil.

Dessa Resolução, várias iniciativas passaram a ser adotadas, inclusive o de implantação do Programa Viva o Morro, precursor em estudos e ações, cujo objetivo foi o de implantação de um programa de intervenções estruturadoras e gerenciamento ambiental das áreas de morros e encostas da RMR. Com a implantação desse Programa, o número de vítimas por deslizamento na RMR, caiu consideravelmente nos anos seguintes.

Posteriormente, no ano de 2001, conforme Bandeira (2010), a Prefeitura do Recife, por meio da defesa civil municipal, implantou o Programa Guarda-Chuva, baseados em 07 eixos norteadores, a saber:

- Defesa Civil Permanente
- Ação Descentralizada;
- Administração de Proximidade;
- Visão Sistêmica dos Espaços;
- Integração dos Órgãos do Sistema;
- Intervenção Continuada de Pequeno Porte;
- Participação Direta das Populações Afetadas.

A integração com diversos setores da administração é um dos pilares do Programa, à medida que atende as áreas e pessoas afetadas, como a Empresa de Urbanização do Recife – URB- Recife; Programa Parceria nos Morros, antecessor a este; Secretarias de Habitação, Administração, Saúde, Educação, Assistência Social, antiga Coordenadoria da Defesa Civil de Recife – CODECIR (atual SEDEC), entre outros. Assim como o Programa Viva o Morro, a implantação do Programa Guarda-Chuva também reduziu o número de óbitos nas ocorrências por deslizamento de encostas no município de Recife (Fig. 6.6).

Em 2009, o número de ocorrências relativas à instabilidade de encostas, no município de Recife atingiu patamares altos, num total de 827 registros, incorrendo em 6 óbitos. Destes, a regional nordeste apresentou o maior índice de ocorrências e, somado à regional sul, totalizaram mais de 60%, sendo estas áreas as mais susceptíveis aos processos de instabilidade de encostas, conforme mostra a Fig. 6.7 (Bandeira, 2010). De 2009 a 2012, o número de óbitos em decorrência de deslizamentos foi de 113, para o município do Recife (SEDEC, 2013).

Em 2013, a SEDEC recebeu até meados de agosto daquele ano, um total de 98 chamados para vistoria e monitoramento de áreas sujeitas à deslizamentos. Dessas, 69 ocorrências referiam-se à regional nordeste e 29 às demais regionais (Fig. 6.8), sem ocorrência de óbitos. Com base nas ocorrências deste ano de 2013, foram selecionadas localidades para realização de levantamento, com classificação de perigo, dados pela equipe de vistoria de acordo com o Plano Municipal de Redução de Riscos – PMRR do município.

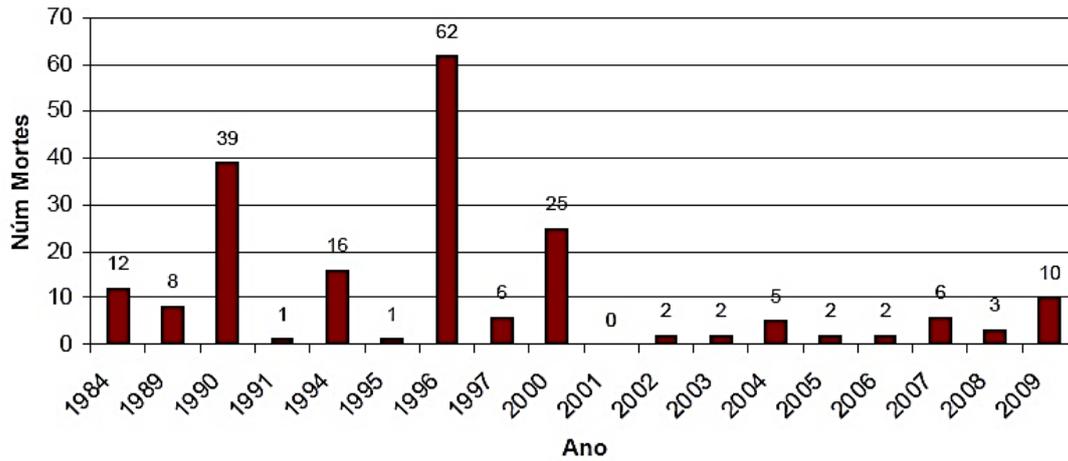


Figura 6.5: Histórico de óbitos devido à deslizamento na RMR e no município de Recife  
 Fonte: Alheiros (1998) & Bandeira (2003), citado em Bandeira (2010).

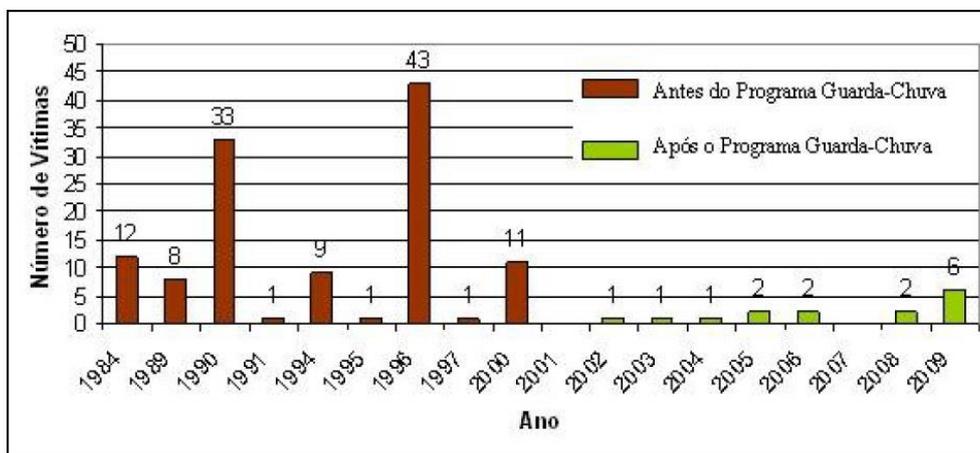


Figura 6.6: Comparativo de número de óbitos por deslizamentos em encostas na cidade do Recife, antes e após a implantação de programas de prevenção à desastres.  
 (Fonte: Bandeira, 2010).

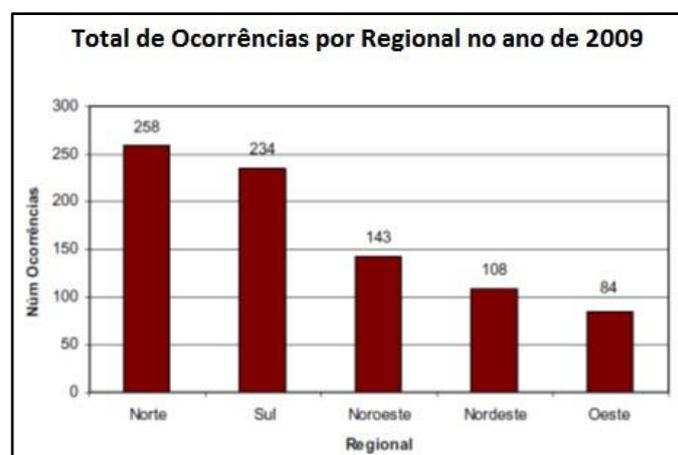


Figura 6.7: Total de ocorrências na cidade do Recife por Regional no ano de 2009  
 (Bandeira, 2010).

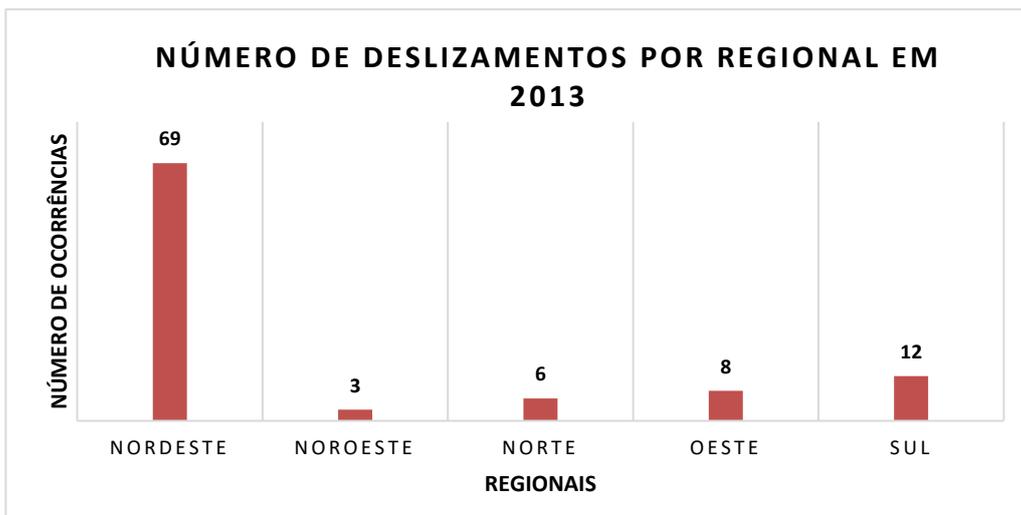


Figura 6.8: Número de ocorrências de deslizamento na cidade de Recife. (Fonte: SEDEC, 2013).

Para o ano de 2015, até o mês de agosto, conforme dados do SEDEC (2015), foram registradas 411 ocorrências para regional nordeste, segunda área em registro de ocorrências no município, correspondendo a 16% do total de ocorrências em todo o município. Relativas ao deslizamento de barreiras naquela regional, foram 110 ocorrências, 6 imóveis com danos ou em risco (perigo) e 265 árvores em risco de queda (Fig. 6.9).

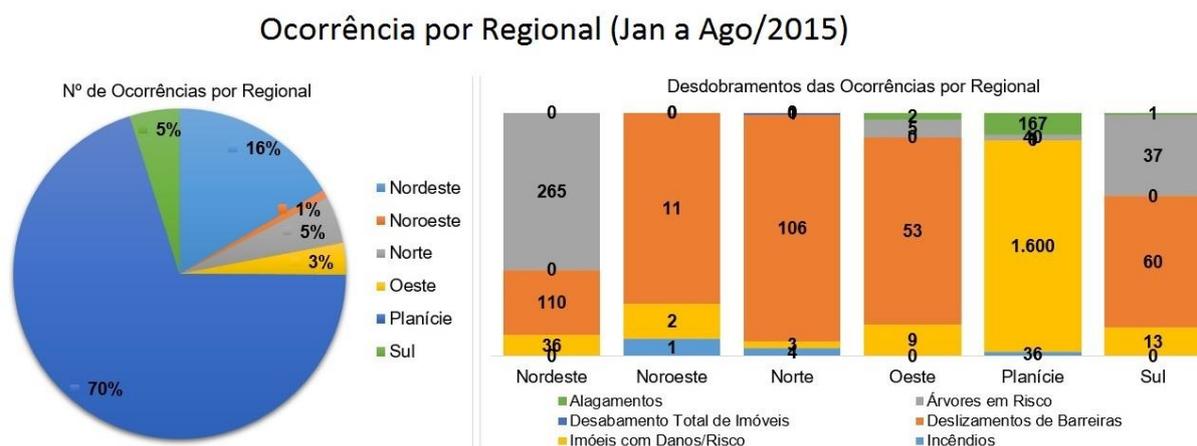


Figura 6.9: Número de ocorrências registrados pela Secretaria de Defesa Civil do Recife – SEDEC, até agosto de 2015, (Fonte: SEDEC, 2015).

Do total de vistorias realizadas para regional nordeste, até o mês de agosto, a colocação de lonas como proteção das encostas, é um paliativo com significativo uso, tendo em alguns

casos sido 100% superior a colocação de lonas, do que o número de ocorrências registradas (Fig. 6.10a e 6.10b).

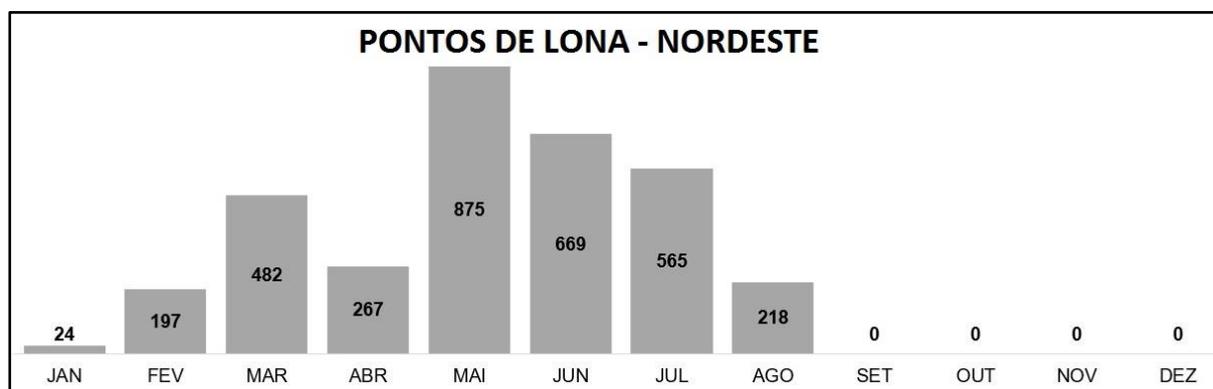


Figura 6.10a: Número de colocação de lonas pela Secretaria de Defesa Civil do Recife – SEDEC, até agosto de 2015, na regional nordeste. (Fonte: SEDEC, 2015).



Figura 6.10b: Número de vistorias realizadas na regional nordeste pela Secretaria de Defesa Civil do Recife – SEDEC, até agosto de 2015 (Fonte: SEDEC, 2015).

Com base nas ocorrências também foram registradas o quantitativo do grau de risco, ou de graus de susceptibilidade dos deslizamentos. Para regional nordeste e no período de janeiro a agosto de 2015, foram identificados 7996 pontos de perigo de deslizamento ou risco. Destes as maiores ocorrências encontraram-se na faixa entre o grau R1 com 1270; grau R2, com 2806; grau R3 com 3877 ocorrências. O grau R4, com 45 ocorrências foi detectado em sua maior intensidade no mês de janeiro, provavelmente devido a ocorrência uma chuva intensa (Fig. 6.11).

No mês de abril de 2016, fortes chuvas atingiram a cidade do Recife e apesar das medidas de prevenção exercidas pela SEDEC junto aos residentes em encostas e próximos à

estas, o deslizamento de barreiras ainda faz vítimas. No mês em que a tragédia do Córrego do Boleiro, situado na RPA 3, fez 20 anos, foi registrada a primeira morte provocada pelas chuvas no Recife, vítima de um deslizamento de barreira no Córrego do Euclides, no Alto José Bonifácio, também na Zona Norte do Recife (Fig. 6.12). Conforme noticiado na imprensa online (G1/Globo, 2016), choveu o equivalente a 280 milímetros na área do Grande Recife (composta pelos municípios limítrofes: Recife, Olinda, Jaboatão, Camaragibe e São Lourenço da Mata), o equivalente a quase todo o mês de abril, que tem média histórica de 320 milímetros. A Defesa Civil realizou, nesse período, 534 vistorias, uma média de quase nove ações por hora. Recebeu chamados para 403 visitas de monitoramento das áreas de risco. Em 36 horas, colocou 57 mil metros quadrados de lonas de proteção em 263 pontos da cidade. Na noite de sábado (16/04/2016), o alerta de chuvas foi ampliado, por meio de mensagens de texto enviadas para mais de 13 mil pessoas cadastradas em áreas de morro e locais sujeitos a alagamentos.

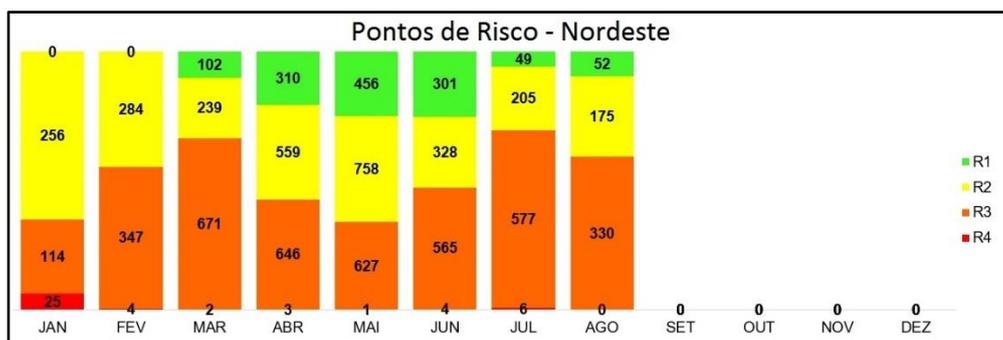


Figura 6.11: Número de vistorias realizadas na regional nordeste pela Secretaria de Defesa Civil do Recife – SEDEC, até agosto de 2015 (Fonte: SEDEC, 2015).



Figura 6.12: Deslizamento de barreira no Córrego do Euclides, no Alto José Bonifácio, Zona norte da cidade do Recife, com 1 vítima fatal, em 17/04/2016. (Fonte: Reprodução vídeo reportagem TV Globo, 2016).

### 6.3 - SUSCEPTIBILIDADE AO RISCO NA ÁREA DE ESTUDO

Instituído pela Ação de Apoio à Prevenção de Riscos em Assentamentos Precários no âmbito do Programa de Urbanização, Regularização e Integração de Assentamentos Precários do Ministério das Cidades, como um instrumento de planejamento para o diagnóstico do risco e a proposição de medidas estruturais para a sua redução, considerando a estimativa de custos, os critérios de priorização e a compatibilização com outros programas nas três esferas de governo: federal, estadual e municipal o Plano Municipal de Redução de Risco – PMRR é parte de uma política pública para redução de risco que inclui o fortalecimento institucional das administrações municipais, por meio de programas de capacitação em escala nacional e suporte financeiro, à sua execução e à elaboração de projetos de engenharia para as intervenções nos setores de risco, classificados como prioritários de acordo com o grau de susceptibilidade ao risco de deslizamento constante na Tab. 6.1 (Ministério das Cidades, 2006).

A PCR, nesse contexto, elaborou, através de consultores especialistas, um documento com os critérios para produção do mapeamento de risco em assentamentos precários e afins, onde foram definidos os tipos de risco, que basicamente para o município era o de escorregamento e inundações. Nos escorregamentos incluíam-se os escorregamentos propriamente ditos (em encostas naturais, em taludes de corte, em aterros, em depósitos de lixo ou entulho, etc.), os processos erosivos, as quedas e rolamentos de blocos de rocha, as corridas de massas, os movimentos de depósitos coluvionares, entre outros. As inundações compreendiam aquelas localizadas junto a córregos, generalizadas, devidas a efeitos de marés, entre outros.

Para cada tipo de ameaça (deslizamento ou inundação), foi realizada a delimitação dos setores sujeitos aos efeitos do processo gerador. A representação espacial para os processos de deslizamento está distribuída conforme a Fig. 6.13, para o município do Recife. Sendo cada setor de risco caracterizado pelo tipo de relevo (encosta, baixada de córregos, planície costeira, outros), a forma de ocupação presente (favela, loteamento, alagado, outros) e o processo gerador do perigo; por exemplo, no caso de escorregamentos, deve ser especificado o tipo de processo predominante, como erosão, escorregamento estrito senso, queda de blocos de rocha, entre outros. Na Fig. 6.14, detalhe dos setores do PMRR e localização dos levantamentos.

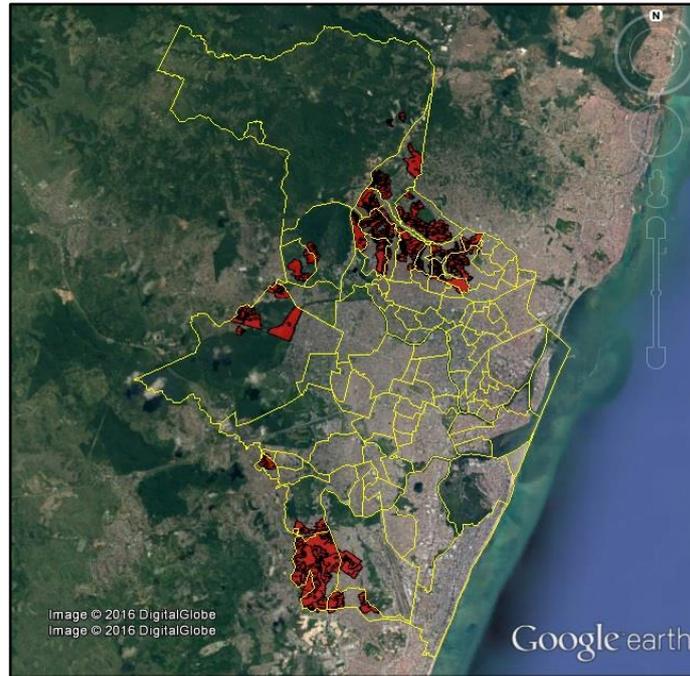


Figura 6.13: Espacialização dos setores de risco de deslizamento em Recife, proposto pelo PMRR. Fonte: PMRR, 2006, Base Imagem Digital Globe 2016 - Google Earth.

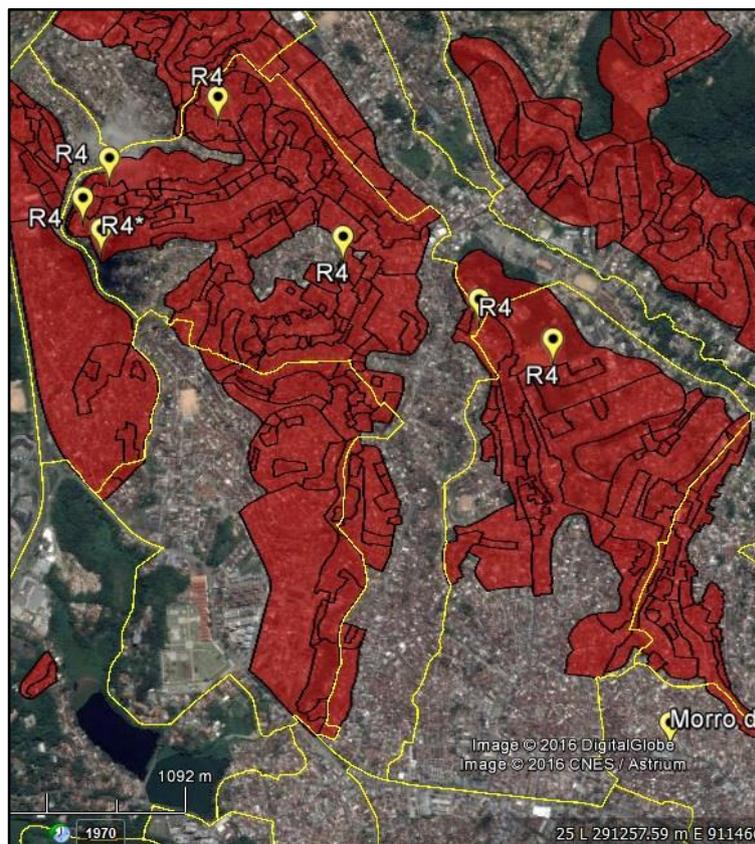


Figura 6.14: Detalhe dos limites dos setores susceptíveis ao risco de deslizamentos nos bairros de Nova Descoberta e Vasco da Gama, do PMRR (2006), limites de bairros pontos seleccionados para execução dos levantamentos. Fonte: Imagem Digital Globe 2016 - Google Earth.

Tabela 6.1: Critérios para definição do grau de probabilidade de ocorrência de processos destrutivos do tipo deslizamentos (escorregamentos) em encostas ocupadas e desbarrancamento (solapamento) de margens de córregos, no PMRR – PCR (Modificado do PMRR, 2006).

<b>GRAU DE PROBABILIDADE</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
<b>R1 - Baixo</b>	Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de baixa potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos. Não se observa (m) evidência (s) de instabilidade. Não há indícios de desenvolvimento de processos de instabilização de encostas e de margens de drenagens. É a condição menos crítica. Mantidas as condições existentes, não se espera a ocorrência de eventos destrutivos no período de 1 ano
<b>R2 - Médio</b>	Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de média potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos. Presença de alguma (s) evidência (s) de instabilidade (encostas e margens de drenagens), porém incipiente (s). Processo de instabilização em estágio inicial de desenvolvimento. Mantidas as condições existentes, é reduzida a possibilidade de ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de 1 ano.
<b>R3 Alto</b>	Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos. Observa-se a presença de significativa (s) evidência (s) de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, etc.). Processo de instabilização em pleno desenvolvimento, ainda sendo possível monitorar a evolução do processo. Mantidas as condições existentes, é perfeitamente possível a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de 1 ano.
<b>R4 Muito Alto</b>	Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de muito alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos. As evidências de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, trincas em moradias ou em muros de contenção, árvores ou postes inclinados, cicatrizes de escorregamento, feições erosivas, proximidade da moradia em relação à margem de córregos, etc.) são expressivas e estão presentes em grande número ou magnitude. Processo de instabilização em avançado estágio de desenvolvimento. É a condição mais crítica, sendo impossível monitorar a evolução do processo, dado seu elevado estágio de desenvolvimento. Mantidas as condições existentes, é muito provável a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de 1 ano.

No que concerne à avaliação do nível de probabilidade de ocorrência da ameaça, o documento propôs um método de análise de susceptibilidade ao risco de deslizamento, de caráter qualitativo, em que a experiência dos técnicos encarregados da análise deveria ser utilizada para estimativa da probabilidade de ocorrência dos eventos destrutivos e das suas consequências potenciais. Ou seja, uma avaliação subjetiva e expressa em termos literais (por exemplo: muito alta, alta, média ou baixa). Nessas análises deveriam ser consideradas pelo período de um ano, tendo em vista englobar ao menos uma estação chuvosa no município. No

caso de processos destrutivos associados a setores de encosta (escorregamentos, erosão, quedas de blocos de rocha, etc.

Em resposta à ocorrência de desastres o Governo Federal criou o Programa Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres (Plano Pluri Anual 2012-2015), cujo o objetivo era o de operar a gestão do risco por meio de 4 eixos temáticos: Mapeamento; Prevenção; Monitoramento e Alerta; e Resposta. Para tal missão, conforme Sampaio et al. (2013), incumbiu o Serviço Geológico do Brasil – CRPM, de atuar na produção do conhecimento geológico-geotécnico em municípios com risco muito alto ou alto, para processos de ruptura em encostas, enchentes e inundações. Uma das metas foi setorização de riscos, que consiste na identificação e delimitação de áreas urbanas, em escala variável de 1:1000 a 1:2000, com àquela classificação. Num segundo instante a elaboração de Cartas Municipais de Susceptibilidade a Movimentos de Massa e Inundações, na escala de 1:25000. Posteriormente o desenvolvimento e implementação do Sistema de Cadastro de Deslizamentos e Inundações - SCDI e, por conseguinte, a capacitação de técnicos municipais em gestão de riscos.

As informações levantadas pela setorização de riscos têm por objetivo disponibilizar ao CEMADEN – Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais, informações que subsidiem ações de alerta a ocorrências de desastres, bem como ao Centro Nacional de Gerenciamento de Risco e Desastres – CENAD/Secretaria Nacional de Defesa Civil – SEDEC, do Ministério da Integração Nacional.

A carta de suscetibilidade a movimento de massa e inundações objetiva disponibilizar aos gestores municipais, estaduais e federais, informações para o planejamento adequado da expansão urbana, indicando às áreas inaptas e as adequadas à urbanização. É produzida a partir de dados cartográficos de sensores remotos, dados pretéritos das áreas, dados de campo obtidos por profissionais afetos à temática. O produto consiste em um polígono (s) envolvente à área de estudo, tipologia do processo e todas as informações para entendimentos das condicionantes. São estimados o quantitativo de imóveis e pessoas afetadas ou passíveis de serem afetadas; Intervenções estruturais e não estruturais, também são indicadas nessa etapa (Fig. 6.15).



Figura 6.15: Exemplo de uma prancha de setorização de risco geológico, elaborado pelo CPRM (Fonte: CPRM, 2016).

O SCDI visa elaborar um banco de dados dos eventos ocorridos, tabulando os dados históricos para contribuir no conhecimento dos processos geológicos e na elaboração de programas e projetos para a gestão dos riscos geológicos dos municípios. Os cursos de capacitação de técnicos municipais na gestão de riscos, transmitir conhecimentos relativos aos tipos e classificação dos processos geológicos geotécnicos e práticas de gestão aos técnicos municipais e/ou defesa civil, visando à conscientização dos moradores das áreas de risco, bem como minimizar os danos resultantes dos processos de movimentos de massa e inundações. Em todo país foram setorizados 1148 municípios, e no estado de Pernambuco, 73 municípios, incluindo movimentos de massa, enchentes, inundações e processos erosivos (Fig. 6.16).

Nesse contexto a CPRM identificou que para a região incluindo a área de estudo desta pesquisa, os processos de rupturas em encostas estão diretamente associados aos hábitos construtivos de ocupação das encostas, em terrenos como nos sedimentos areníticos terciários do Grupo Barreiras. Notadamente o adensamento populacional em áreas de declividade elevada, associada aos cortes e aterros e a falta de infraestrutura urbana condicionam o estabelecimento de deslizamentos planares em cortes e aterros. Ocorrem também, mas de forma mais restrita rupturas circulares, sendo condicionadas pelo perfil de intemperismo mais profundo e por estruturas geológicas como falhas, fraturas e outras discontinuidades que atuam

como condutos hidrogeológicos. A Setorização de Risco para o município de Recife, no contexto do PMRR (2015), foi publicada no ano de 2015, com setores identificados como de risco muito alto e alto (Fig 6.17a e 6.17b). Até o fechamento desta pesquisa os produtos decorrentes da setorização de risco, tais como a Prancha de Setorização de Risco Geológico e respectivo relatório, ainda não havia sido disponibilizada.

A Carta de Susceptibilidade a Movimento Gravitacionais de Massa e Inundação do município de Recife, foi elaborada na escala padrão do programa de 1:25000, com base em inventários de deslizamento e da compilação das informações de hipsometria, declividade, relevo, média de precipitações anuais e mensais (Fig. 6.18a, e 6.18b), permitindo a hierarquização da susceptibilidade em alta, média e baixa (Fig. 6.19).

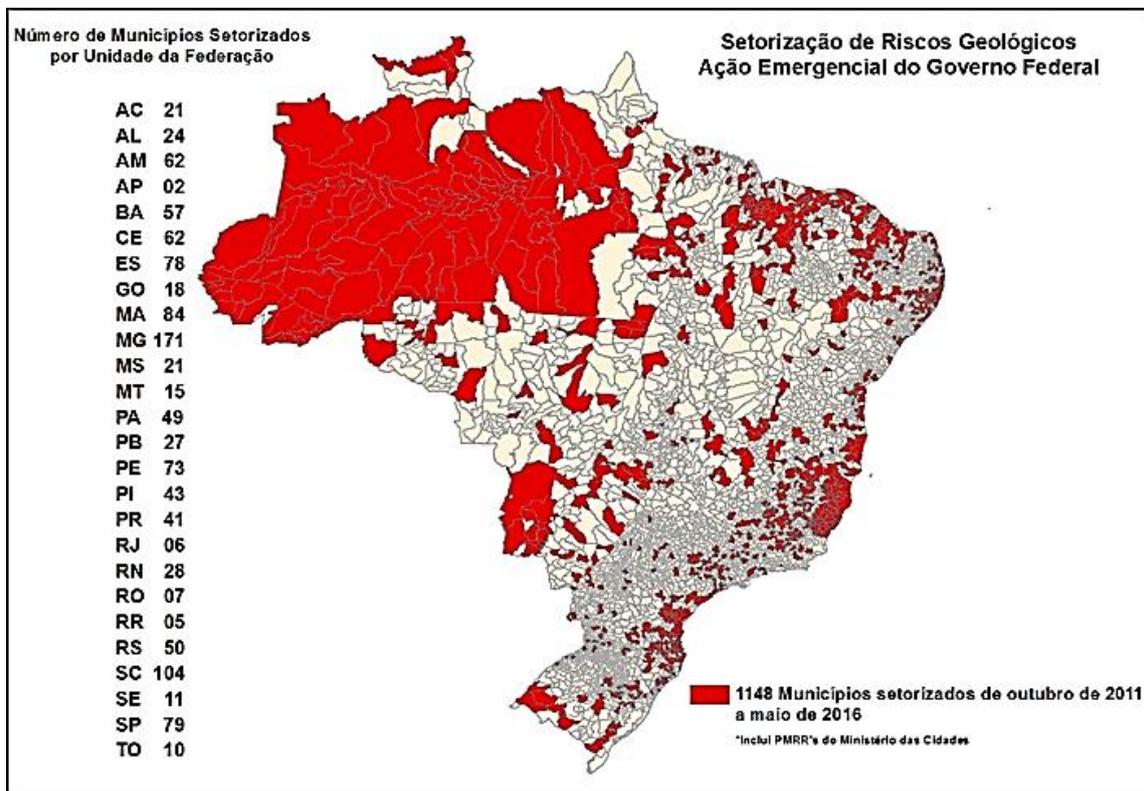


Figura 6.16: Setorização de Riscos Geológicos: Movimentos gravitacionais de massa, inundações, enchentes e processos erosivos. (Fonte: CPRM, 2016).

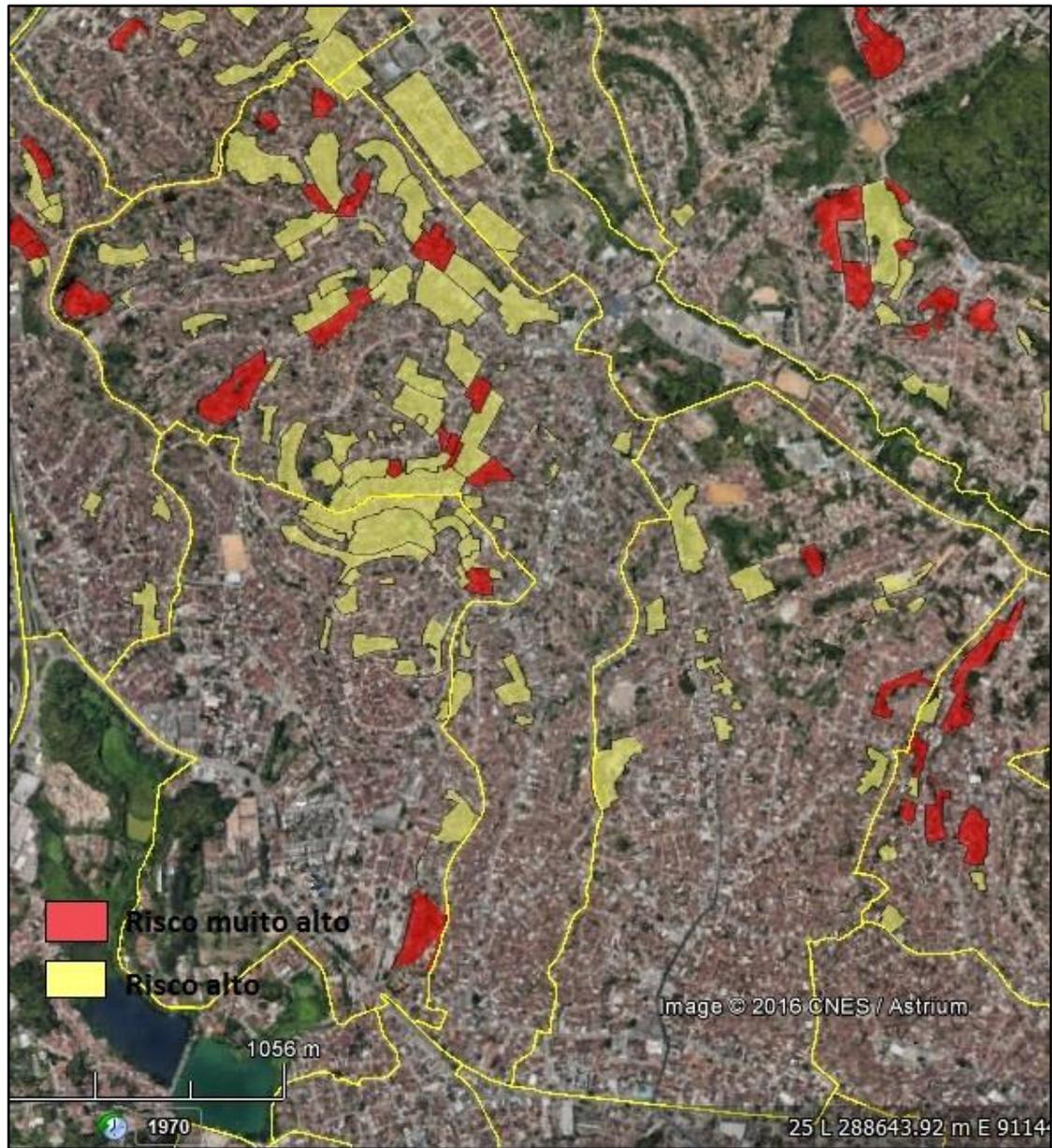


Figura 6.17a: Detalhe dos limites dos setores susceptíveis ao risco de deslizamentos nos bairros de Nova Descoberta e Vasco da Gama, do PMRR (2015), constate da Setorização de Riscos Geológicos: Movimentos gravitacionais de massa, inundações, enchentes e processos erosivos da CPRM. Fonte: CPRM, 2016.



Figura 6.17b: Detalhe da setorização de riscos geológicos do PMRR 2015. (Fonte: CPRM, 2016).

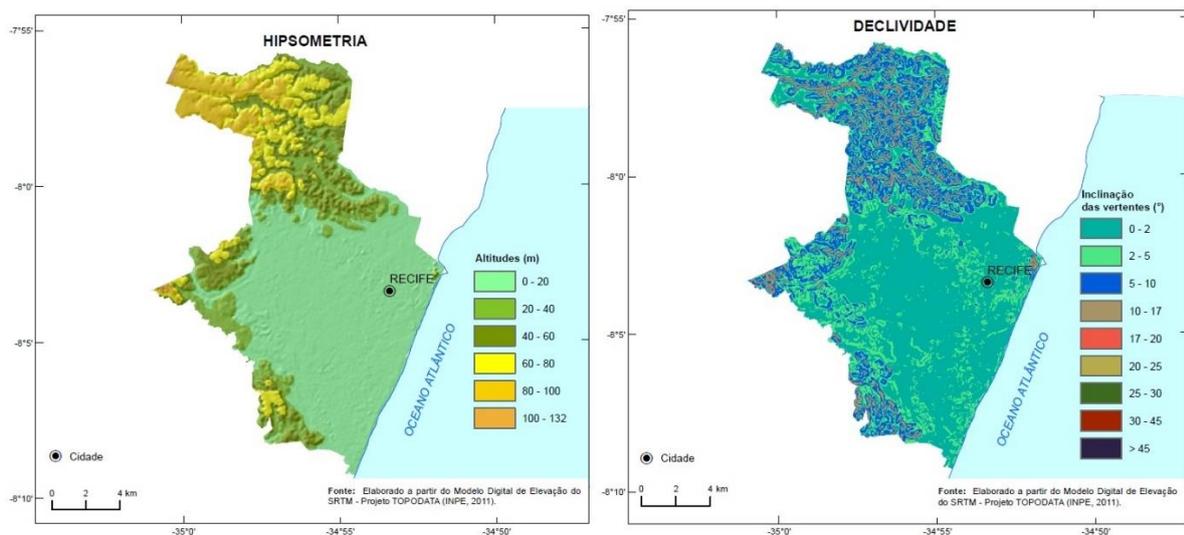


Figura 5.18a: Mapas de Hipsometria e de Declividade do município de Recife (Fonte: CPRM, 2016).

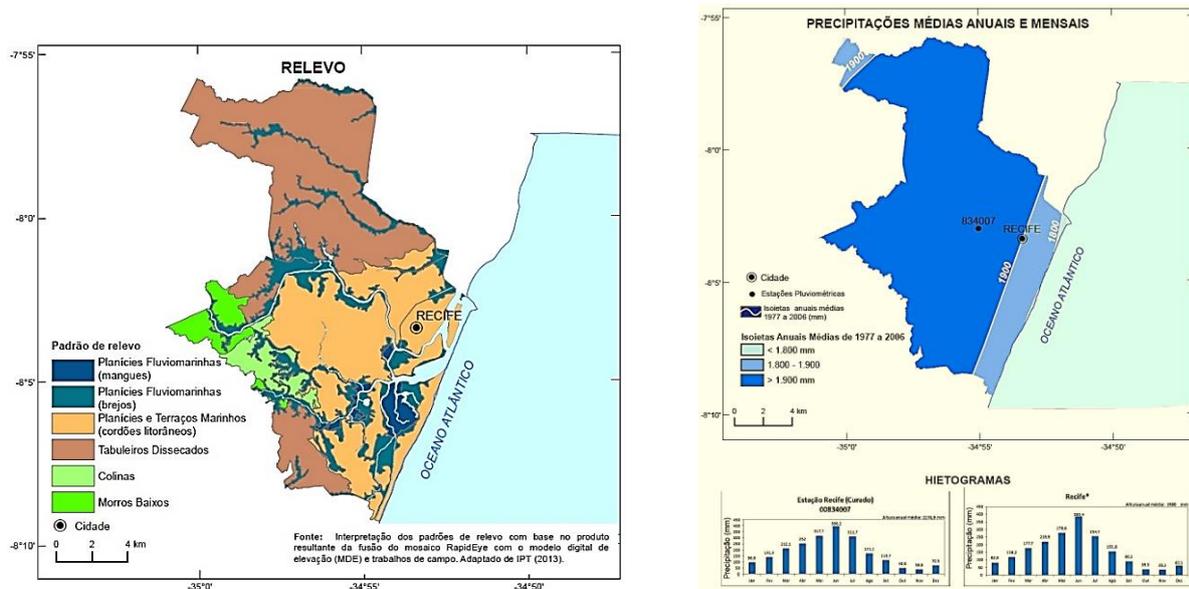


Figura 5.18b: Mapas de Relevo e Precipitações Médias Anuais e Mensais e Histogramas, do município de Recife. (Fonte: CPRM, 2016).

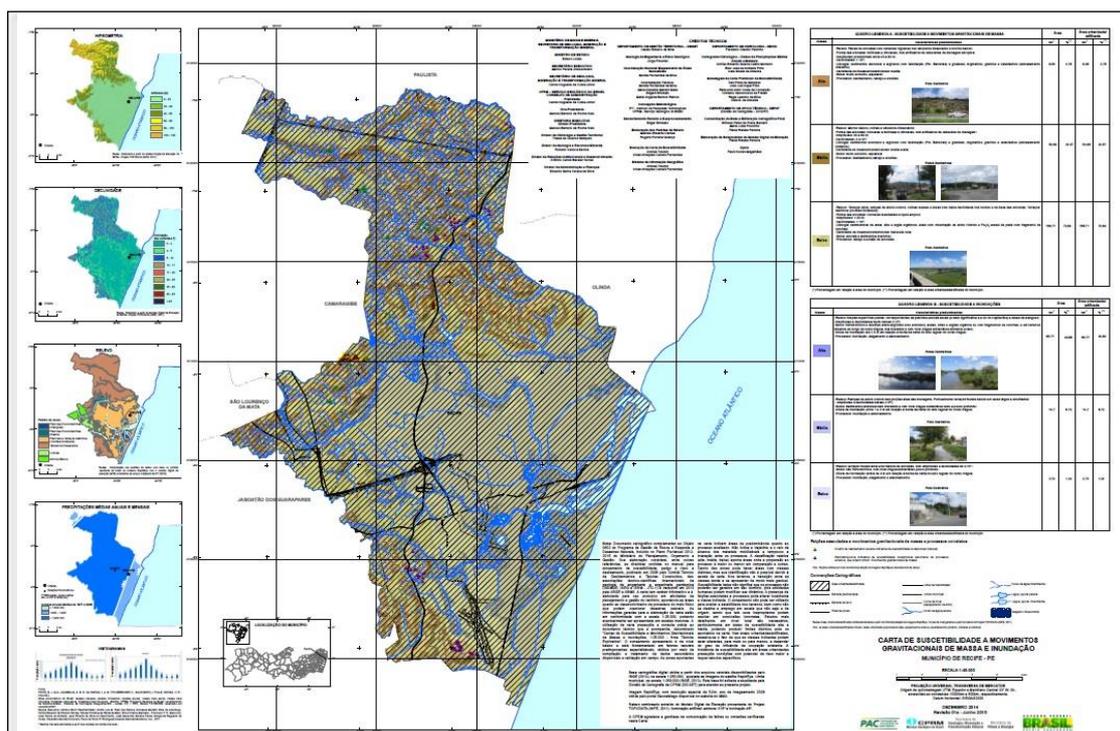


Figura 6.19: Carta de Susceptibilidade a Movimento Gravitacionais de Massa e Inundação do município de Recife (Fonte: CPRM, 2016).

Com base na Carta de Susceptibilidade a Movimento Gravitacionais de Massa e Inundação do município de Recife da CPRM, a área de estudo está dentro da classificação média e alta (Fig. 6.20).

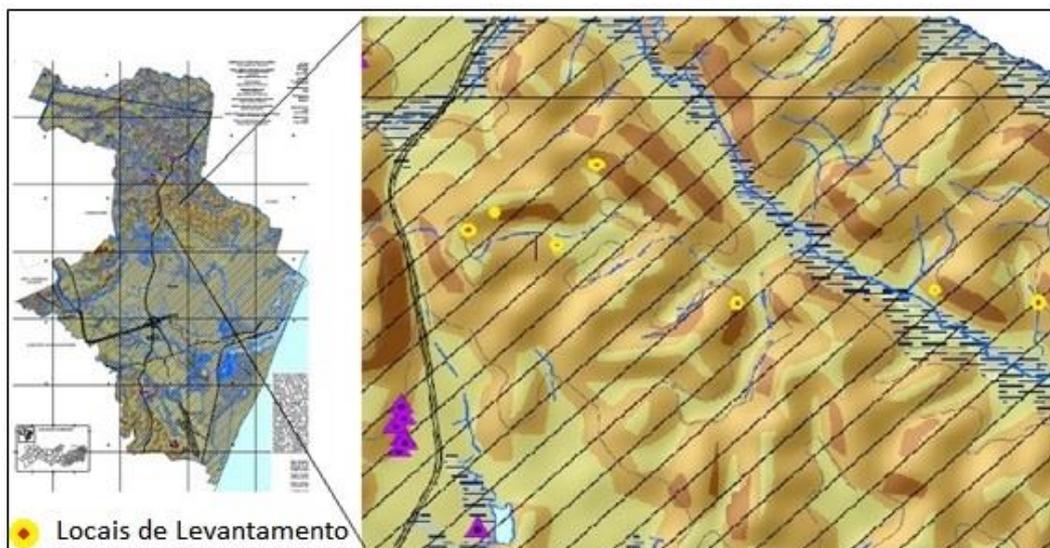


Figura 6.20: Locais de levantamento realizados e sua compatibilidade com a classificação da área Carta de Susceptibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações do município de Recife (Fonte: CPRM, 2016).

Integrando o PMRR (2006) com a setorização de risco elaborado pela CPRM, para o município de Recife (PMRR 2015), conforme apresentado na Fig. 6.21, observa-se que há compatibilidade entre as áreas delimitadas, notadamente quanto ao grau de susceptibilidade a riscos, mas com classificação divergente. Associados no PMRR (2006), o grau R4 é compatível com a classe muito alto, da setorização do CPRM (PMRR 2015). A setorização com classe alto, varia com o grau R2 e R3 do PMRR 2006 (Figura 6.22).

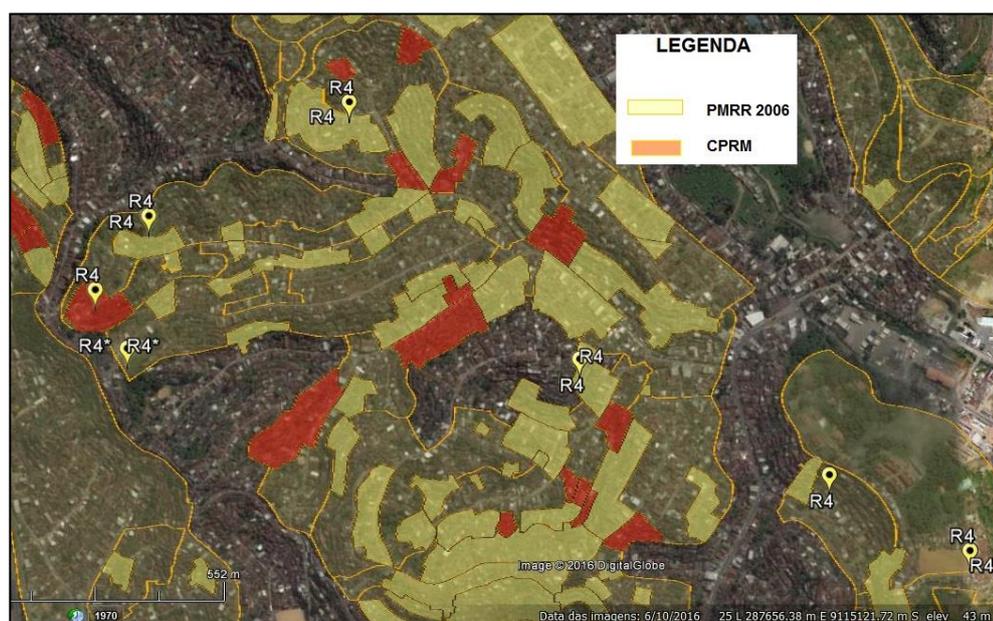


Figura 6.21: Sobreposição da setorização de risco elaborado pela CPRM, com os setores do PMRR, 2006 (Fonte: CPRM, 2016 & PMRR, 2006, Base Google Earth, 2016).

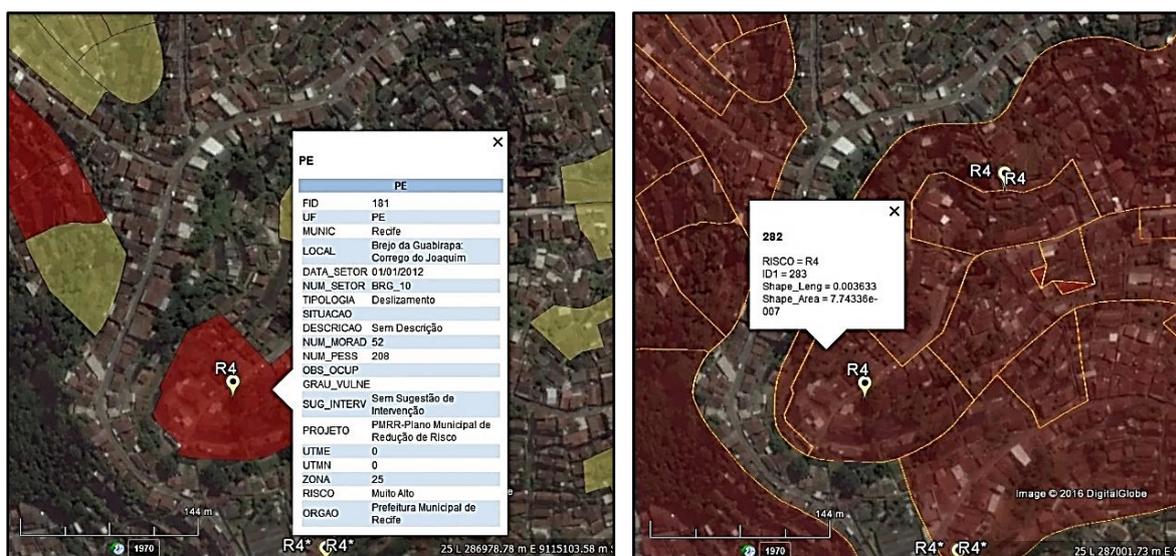


Figura 6.22: Classificação da susceptibilidade ao risco de deslizamento para um mesmo setor, considerando o PMRR 2006 e PMRR 2015 (Fonte: CPRM, 2016 & PMRR,2006, Base Imagem Digital Globe 2016 - Google Earth).

#### 6.4 - COBERTURA DE SINAL DE BANDA LARGA NA ÁREA DE ESTUDO

A execução de um levantamento GNSS com técnica RTK, via protocolo NTRIP, requer primordialmente a disponibilidade de uma conexão com as bandas GSM, WCDMA ou LTE, sem o qual não é possível utilizar a técnica. No Brasil a cobertura da telefonia celular varia, não somente de região para região, como de operadora para operadora. A verificação da cobertura de sinais é nesse contexto, um item básico e necessário no planejamento de um levantamento GNSS, com obtenção das correções da fase da portadora, em tempo real. Essa verificação deve ser realizada, por meio de uma consulta ao site do órgão regulador de telecomunicações ou em sites de busca por esse tipo de serviço, para identificar quais operadoras atuam no município de estudo e, por conseguinte, no site da operadora, identificar qual é a cobertura de estações rádio ativa (ERB's) para área de interesse. Essa atividade é relativamente simples. Com esta informação, a recepção das correções torna-se um item gerenciável à medida que a localização das ERB's tem papel fundamental para execução do levantamento pela técnica RTK-NTRIP.

Para o caso do município de Recife, foi identificado que possui cobertura de 5 (cinco) operadoras de banda larga: Claro, Nextel, Oi, TIM e Vivo. Juntas perfaziam um total de 790

antenas até o mês de julho de 2016 (Telebrasil, 2016), distribuídas no território do município, mas com quantitativos diverso para cada operadora, conforme Tab. 6.2 e Fig. 6.23. Para área de estudo, a cobertura de ERBs tem a distribuição conforme a Fig. 6.24, com aproximadamente 10 antenas.

Tabela 6.2: Quantitativo de ERB's distribuídas no município de Recife – PE, de acordo com prestadoras que operam na área, referência: julho 2016. (Fonte: Telebrasil, 2016).

<b>Prestadora</b>	<b>Antenas</b>	<b>Participação (%)</b>
<b>Claro</b>	139	17,59
<b>Nextel</b>	38	4,81
<b>Oi</b>	278	35,19
<b>TIM</b>	170	21,52
<b>Vivo</b>	165	20,89
<b>Total</b>	<b>790</b>	<b>100</b>

Considerando que a intensidade do sinal está relacionada com a distância da ERB até o ponto de captação do sinal, no caso a antena do receptor GNSS, faz necessário que a quantidade de ERBs da mesma prestadora de serviço seja considerada, tendo em vista que para atender um raio de 2km, é necessária uma antena de 20 metros e intensidade do sinal de 50 watts (Figura 6.25), (ACEL, 2016). Atualmente, devido a demanda de clientes, a quantidade de ERBs tem aumentado, principalmente em ambientes de grande fluxo, mas em áreas mais afastadas a quantidade de antenas ainda deixa a desejar (Figura 6.26 e 6.27). Dessa forma uma consulta, desta vez ao site da prestadora para verificar a real cobertura e o tipo de sinal disponibilizado, garante um melhor planejamento do levantamento.

Na área de estudo a cobertura 4G, da prestadora Claro, por exemplo, é mostrada como coberta por sinal, mas como a própria alerta, não garante a disponibilidade e a intensidade (Figura 6.28). A atividade de campo demonstrou que, para área do levantamento, as prestadoras Oi e Vivo foram as que se mantiveram estáveis quanto a recepção de sinais. A operadora TIM mostrou-se instável para área, sendo sugerido que a grande quantidade de usuários (fluxo de dados nas estações) e pacote de dados contratado, pode também ter influenciado na qualidade da recepção.

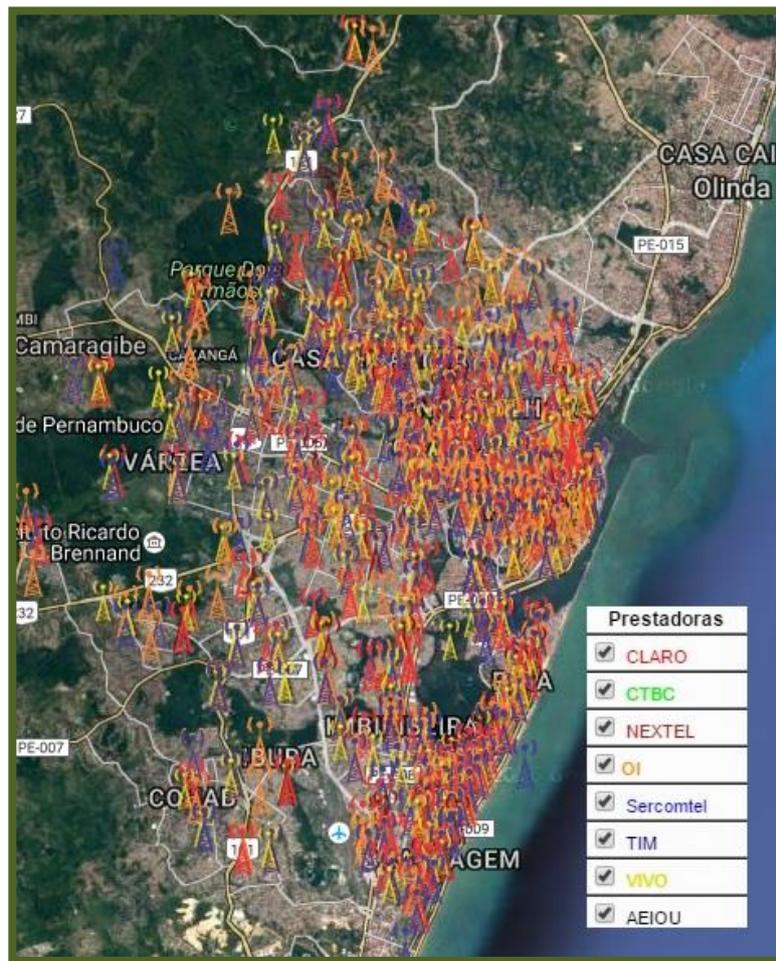


Figura 6.23: Distribuição espacial da cobertura ERB´s no município de Recife – PE. (Fonte: Telebrasil, 2016. Base Google Imagens).

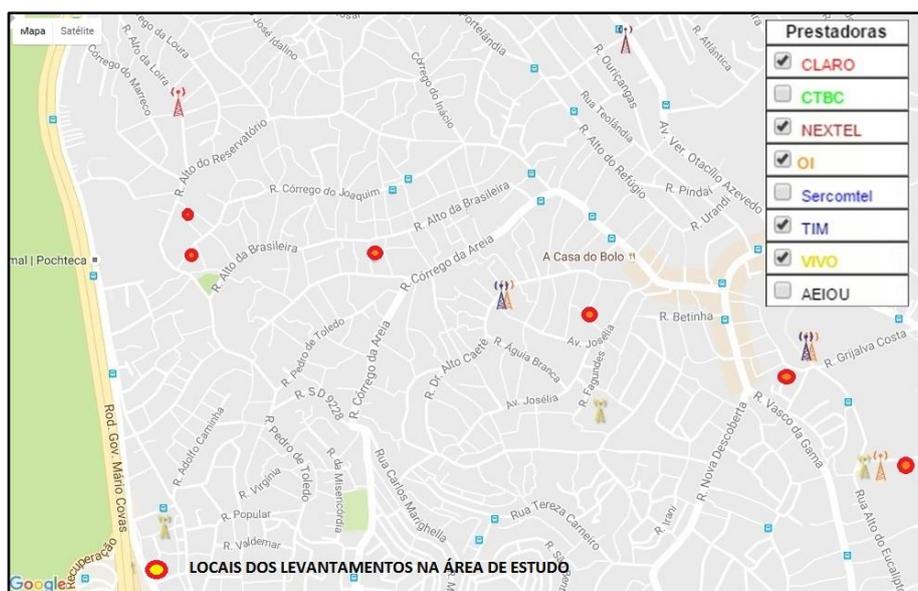


Figura 6.24: Distribuição espacial da ERBs na área de estudo. (Fonte: Telebrasil, 2016; Base: Google Maps, 2016).

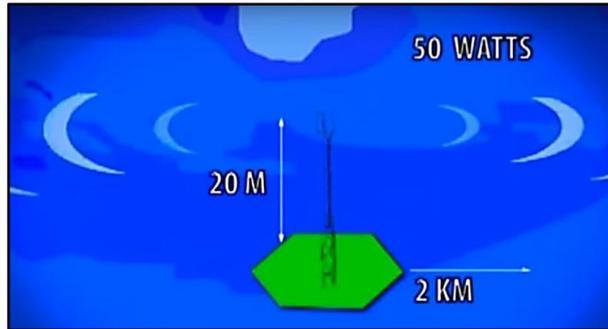


Figura 6.25: Exemplo da relação da altura de uma antena de uma ERB, intensidade do sinal e alcance deste (ACEL, 2016).

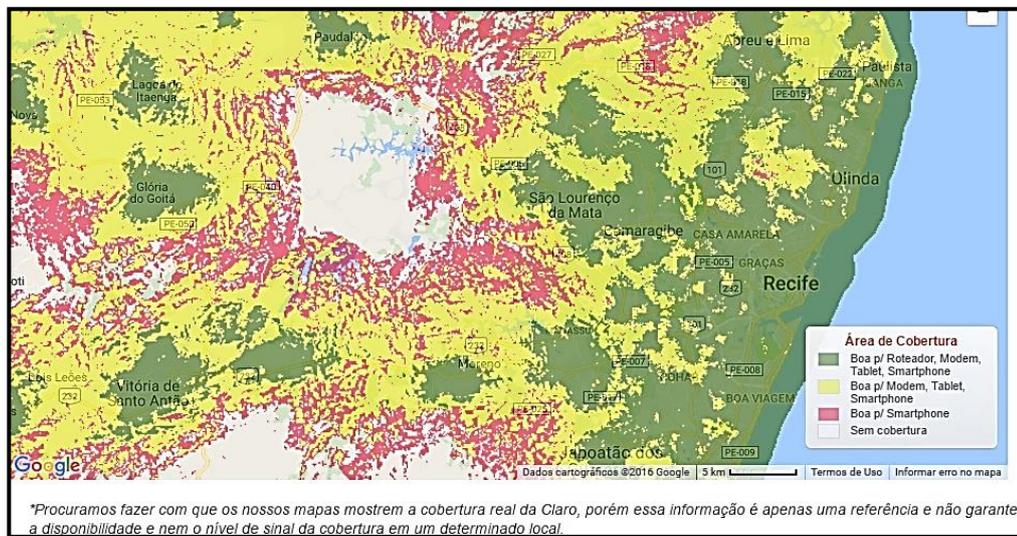


Figura 6.26: Cobertura de sinal 3G, da prestadora Claro, na região do município de Recife e entorno, observando áreas sem cobertura (Fonte: Claro, 2016).

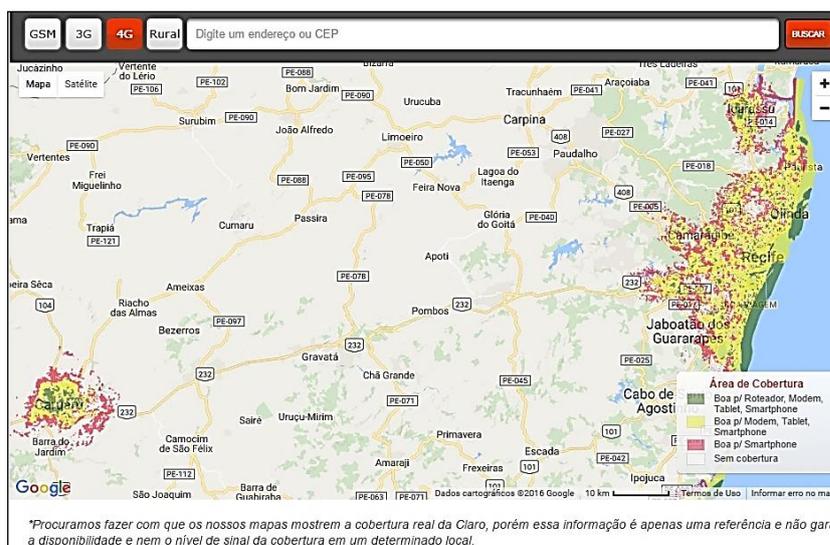


Figura 6.27: Cobertura de sinal 4G, da prestadora Claro, na região do município de Recife e parte do interior do Estado: cobertura concentrada nas áreas urbanizadas de cidades (Fonte: Claro, 2016).

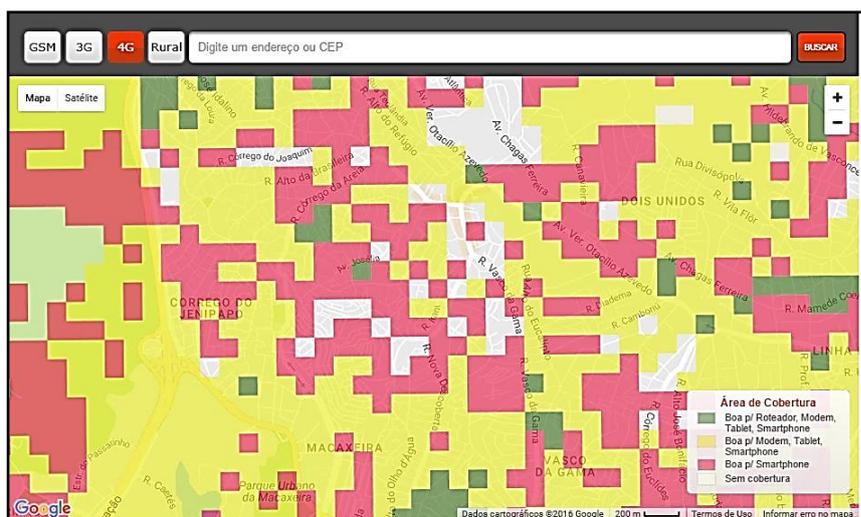


Figura 6.28: Cobertura de sinal 4G, da prestadora Claro, área de estudo (Fonte: Claro, 2016).

## 6.5 - DISPONIBILIDADE DE TRANSMISSÃO DE DADOS VIA NTRIP

O serviço da RBMC-IP, do IBGE, coloca à disposição dos usuários, para fins de planejamento de levantamento GNSS, a situação das suas estações de referência quanto ao funcionamento no site do órgão, onde constam as estações atualizadas, estações inoperantes, estações novas e estações desativadas, bem como consulta a disponibilidade de dados, para o caso de pós-processamento, no sítio:

[http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/rbmc\\_inf.php](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/rbmc_inf.php)

Acessando em qualquer navegador de Internet o endereço <http://186.228.51.52:2101>, é possível visualizar as informações sobre as estações no servidor "Caster" do IBGE. O acesso ao servidor do IBGE é gratuito, entretanto o usuário precisa preencher o cadastro e se registrar como usuário do serviço. Algumas restrições de acesso visando evitar congestionamento de tráfego no servidor, são a permissão de acesso somente a cinco estações por usuário e do no máximo 1000 acessos simultâneos ao serviço. Outro canal para acompanhamento do status é pela rede social Twiter (twitter.com), bastando para tal que o usuário se cadastre ou tenha cadastro na referida rede e que siga o usuário RBMC-IBGE (@RBMC\_IBGE). O usuário receberá automaticamente notificações sobre as ocorrências nas estações: atualização de descritivo e substituição de receptor, status, entre outros, conforme exemplo na Fig. 6.29. Dessa

forma, a verificação do status da estação faz parte do bom planejamento, além de recomendável para evitar imprevistos em campo.



Figura 6.29: Exemplo de mensagens enviadas para o canal da rede social Twitter (twitter.com), notificações sobre as ocorrências nas estações da RBMC no usuário : via@RBMC\_IBGE.

## 6.6 - LEVANTAMENTO GEODÉSICO NA ÁREA DE ESTUDOS

### 6.6.1 - EQUIPAMENTOS

Objetivando efetuar o levantamento de forma a permitir um controle do processo, foi realizada uma reunião com os envolvidos na atividade de campo, ocasião em que foi apresentado os equipamentos que seriam utilizados: GNSS, Estação Total, suíte de acessórios para as operações de campo, conforme Fig. 6.30 e suíte de softwares.

O equipamento GNSS utilizado foi o HIPER V, marca TOPCON, capaz de rastrear as frequências GPS e GLONASS, L1 e L2 além de sinais SBAS, WAAS, EGNOS e MSAS; de receber as correções em tempo real, tanto as enviadas via rádio frequência UHF e Spread Spectrum, quanto as enviadas pela rede de micro-ondas baseada no sistema celular como acessório opcional. O equipamento possui acurácia de posicionamento horizontal de 10mm + 1ppm e 15mm+1ppm quando utilizado no modo RTK, podendo rastrear até 226 canais utilizando a tecnologia de rastreamento universal.

A Estação Total utilizada foi a NORTH serie NXR, precisão com prisma: (2mm+2ppm\*D), precisão sem prisma: (5mm+2ppm\*D) e leitura angular fina de 1" e acurácia de 2".

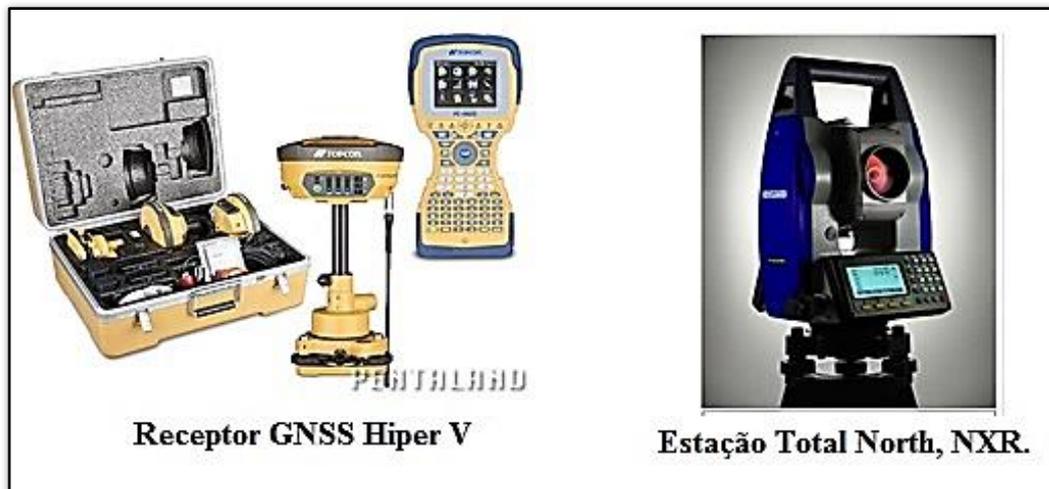


Figura 6.30: Receptor GNSS Hiper V – Topcon e Estação Total North, NXR.

Para processamento dos dados, foram utilizados os softwares:

- a) MAGNET Tools, aplicação de software de processamento de dados habilitado para nuvem que permite aos usuários gerar coordenadas finais a partir de dados coletados a partir do MAGNET Field, MAGNET Field Site, TopSURV, Pocket 3D files, bem como estações totais Topcon e Sokkia, níveis, GPS e arquivos de dados brutos.
- b) MAGNET Office em seu núcleo, fornece opções de processamento e de ajustes personalizáveis para dados coletados com hardware de sistemas de estações totais ópticas e GNSS.
- c) AstGeotop Versões 2012 e 2013 - Software de pós-processamento com módulos astronomia, geodésia e topografia (Garnés, 2016).

Objetivando um melhor desempenho no levantamento foram realizados testes com os equipamentos. Inicialmente no campus da UFPE, aproveitando a oportunidade para proporcionar aos envolvidos, melhor conhecimento sobre a operação do material técnico e dirimir quaisquer dúvidas, tanto em relação aos equipamentos quanto aos softwares (Fig. 6.31a). Nesta etapa, enfrentou-se o primeiro revés, decorrente da falta de acesso à rede RBMC-IP, devido a problemas no arquivo de senhas do Serviço. Durante os testes foi necessário utilizar

a correção disponibilizada pelo IGS, ao invés da correção disponibilizada pelo IBGE. Esse entrave revelou-se um fator limitador naquele momento, mas foi solucionado com novo cadastro no Serviço RBMC-IP. Foram ocupados dois pilares constantes da rede geodésica da UFPE, com coordenadas conhecidas, para execução de medições, observando-se as configurações necessárias e operação do receptor (Fig. 6.31b). Os resultados não foram objeto de análise naquele momento.

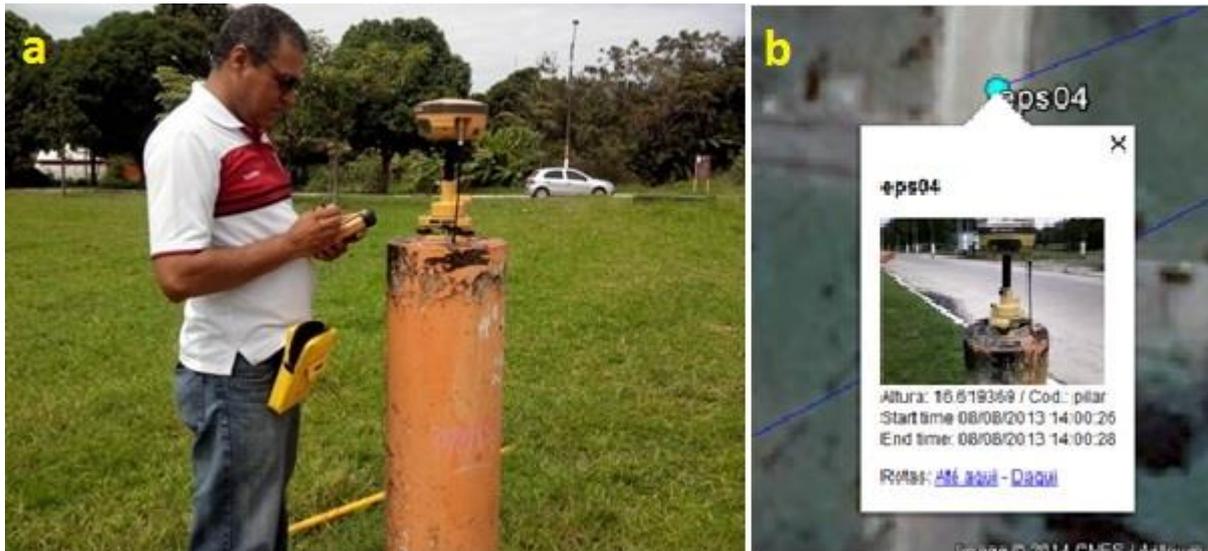


Figura 6.31a: a) teste receptor GNSS Hiper V, Topcon em pilar da rede geodésica da UFPE e b) detalhe de funcionalidade de registro fotográfico antena, pela coletora do receptor.

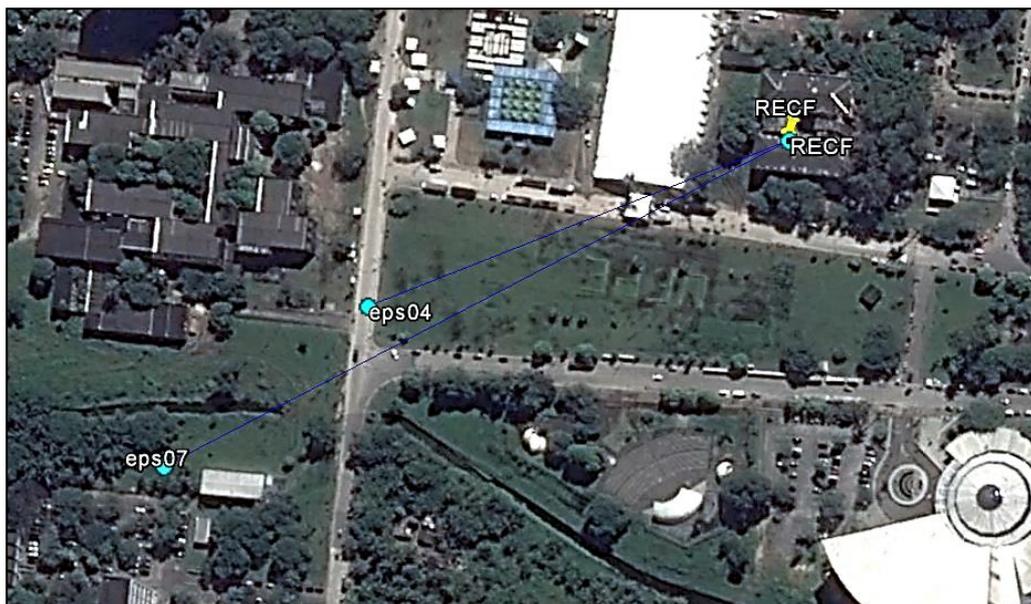


Figura 6.31b: Disposição de duas estações ocupadas nos testes, no campus UFPE estação RECF/RBMC-IP, pertencente ao SGB.

Mais testes foram realizados com o equipamento, sendo este no contexto do Projeto de Regularização Fundiária para a Secretaria do Patrimônio da União, em área denominada Córrego da Batalha – Jaboatão dos Guararapes – PE, em curso pelo Departamento de Engenharia Cartográfica – UFPE, no intuito de aproveitar massa de dados já produzida. Apesar da indisponibilidade da estação RECF de transmissão de correções na data do levantamento, foi realizado levantamento usando a técnica RTK via UHF, o que aprimorou a operação do conjunto do receptor: coletora e antena (Fig 6.32).



Figura 6.32: Levantamento RTK no Córrego da Batalha Jaboatão dos Guararapes – PE. Projeto de Regularização Fundiária – UFPE.: a) instalação de estação base b) pontos de quinas de lotes obtidos pela técnica RTK e c) vista aérea da área de teste. (Fonte: O Autor, 2013; Imagens Google Earth, 2016).

## 6.6.2 - LEVANTAMENTO NA ÁREA DE ESTUDO

Os levantamentos na área de estudo desta pesquisa ocorreram em três épocas, sendo objeto destes, localidades escolhidas a partir de ocorrências registradas pela SEDEC, no contexto de áreas de risco definidas no Plano Municipal de Redução de Risco – PMRR 2006, da PCR. Foram escolhidas áreas que haviam sido objeto de vistoria da defesa civil e estavam classificadas com grau R4 de susceptibilidade deslizamento, conforme Fig. 6.33, 6.34 e 6.35.

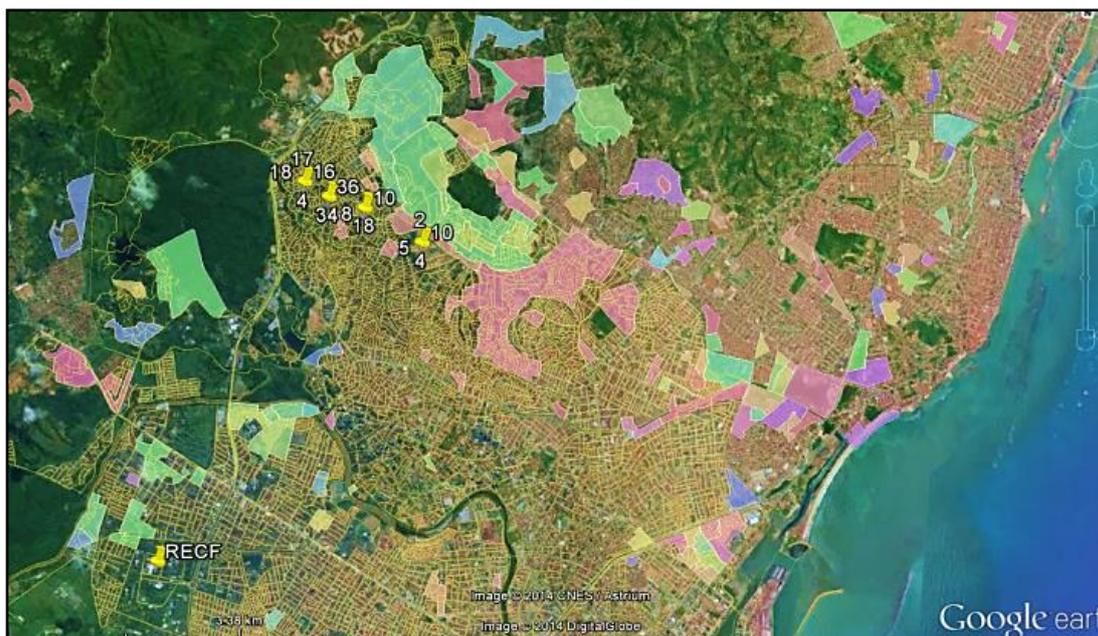


Figura 6.33: Localização dos pontos seleccionados para teste no contexto dos Setores Censitários de Aglomerados Subnormais do Censo 2010 (IBGE). Base Google Earth, 2014.



Figura 6.34: Localização dos pontos seleccionados para teste no contexto do PMRR 2006 e dos Setores Censitários de Aglomerados Subnormais do Censo 2010 (IBGE). Base Google Earth, 2014.

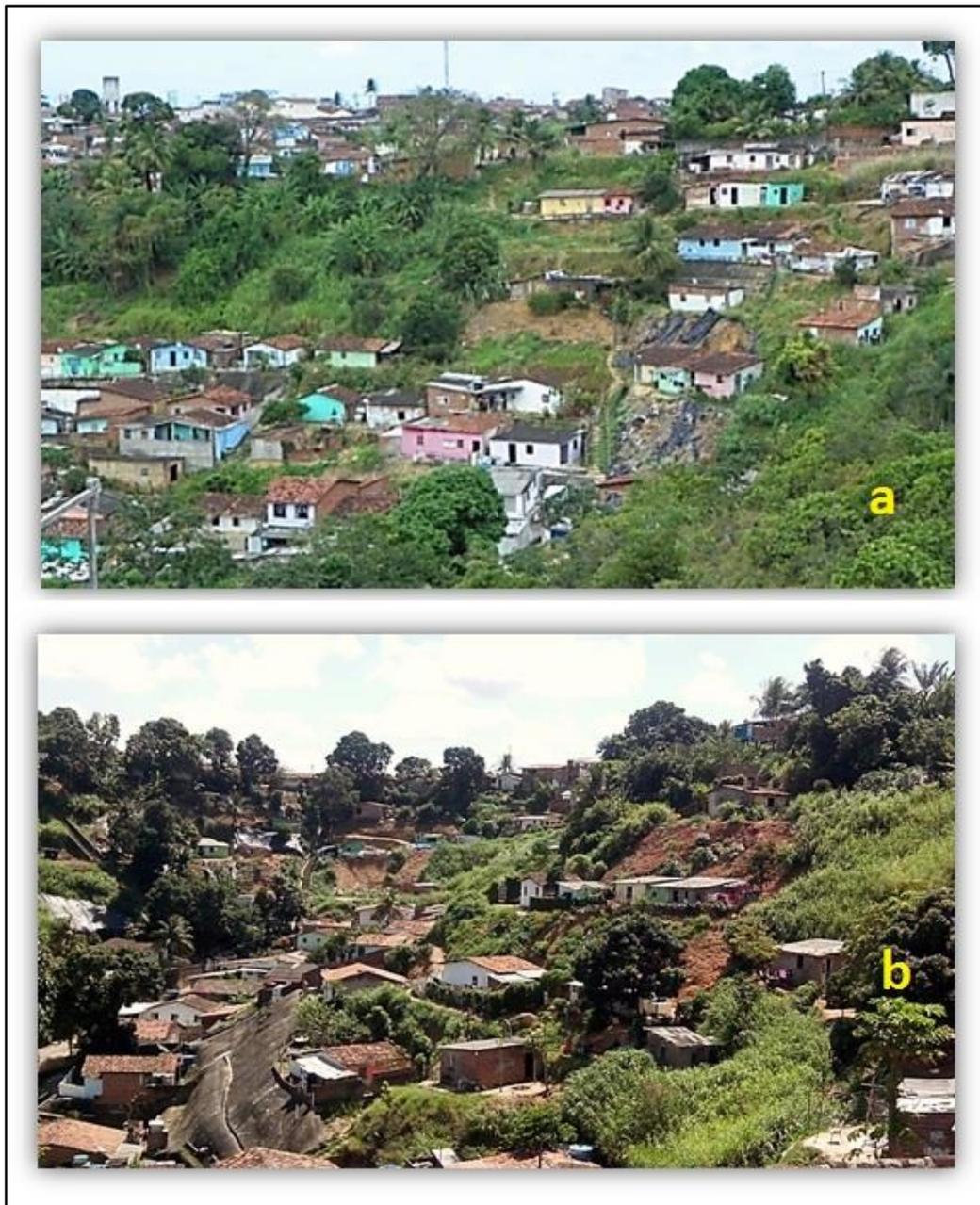


Figura 6.35: Aspecto visual da topografia, tipo de estruturas e encostas impermeabilizadas, cobertas com lonas ou sem cobertura da área de estudo a) bairro do Vasco da Gama e b) bairro de Nova Descoberta – Recife – PE (Fotos: A autora, 2013).

É consabido que a união do receptor GNSS combinado com estação total é o conjunto que se traduz em confiabilidade, versatilidade e produtividade, na topografia industrial e de estradas. Tanto é que as indústrias do GNSS já disponibilizam, de longa data, equipamentos que trazem unidos em um único volume, o receptor GNSS e a Estação Total, capaz de determinar sua posição precisa enquanto realiza levantamentos: irradiamentos, locações, determinação de seções transversais, levantamentos de volume e superfície, entre outras operações, totalmente integradas.

Nos testes de campo realizados, a estação total foi utilizada como um complemento e densificação dos pontos determinados pelo GNSS. Permite-se dessa forma, modelar com melhor precisão a superfície da massa decorrente do deslizamento, podendo se obter, inclusive o volume daquelas.

O primeiro levantamento foi conduzido no dia 02/10/2013, em 4 localidades no bairro de Nova Descoberta e Vasco da Gama, zona norte da cidade do Recife – PE, conforme Tab. 6.3. O critério para seleção foi de que grau de susceptibilidade a deslizamento fosse R4, bem como estivessem relativamente equidistantes. O procedimento adotado para todas as localidades, foi o de reconhecimento da área, identificação do tipo de movimento de massa e ocorrência pretérita, configuração do receptor com inserção e dados, conexão com estação de referência, seguida do levantamento propriamente dito, que consistiu em medir pontos, tanto nas estruturas vulneráveis, quanto nas ameaças identificadas.

Tabela 6.3: Localidade selecionadas para realização do levantamento RTK-NTRIP, a partir da Tabela de Deslizamentos 2013, Defesa Civil da Prefeitura do Recife.

REGIONAL	DATA DA SOLICITAÇÃO	OCORRÊNCIA REGISTRADA	TIPO DE SOLICITAÇÃO	RPA	ENDEREÇO	BAIRRO	LOCALIDADE	GRAU DE RISCO
Noroeste	04/07/2013	Deslizamento	Vistoria	3	2º TRAV. DA RUA DORADINHA,65	Vasco da Gama	ALTO DO EUCALIPTO	R4
Nordeste	29/07/2013	Deslizamento	Monitoramento	3	RUA BAIANÓPOLIS, Nº 66	NOVA DESCOBERTA	CÓRREGO DO JOAQUIM	R4
Nordeste	01/08/2013	Deslizamento	Monitoramento	3	3ª TRAVESSA DAMOLÂNDIA, Nº 29	NOVA DESCOBERTA	CÓRREGO DA AREIA	R4
Nordeste	12/08/2013	Deslizamento	Monitoramento	3	RUA ARABELA, Nº 83	NOVA DESCOBERTA	ALTO DA BRASILEIRA	R4

A primeira localidade a ser levantada foi a 2ª Travessa Doradinha, na altura do número 65, localizada no setor censitário. Área com encosta em processo de deslizamento, com vegetação baixa, esgoto jogado na encosta, que originalmente estava classificada como grau R2 pelo PMRR 2006, mas que com vistoria realizada em 2013 pela SEDEC, alçou o grau R4 de susceptibilidade a risco de deslizamento. Foram levantados 21 pontos, sendo 6 relativos à estrutura e 15 a ameaça (Fig. 6.36), no modo RTK-NTRIP, com um tempo de ocupação médio de 2 segundos, por ponto.



Figura 6.36: Pontos do levantamento RTK-NTRIP (a), aspecto de encosta em processo de deslizamento (b), na localidade da 2ª Travessa Doradinha – Córrego do Eucalipto - Vasco da Gama – Recife, em 02/10/2013 (Imagem tridimensional Google Earth, 2016).

Além do levantamento GNSS, foi elaborado croqui, com informações sobre tipo das estruturas, estado de conservação, número de famílias, entre outros, relevantes para o cálculo da vulnerabilidade e em conformidade com as variáveis do modelo de Li et al (2010) e modelo de Li et al. Modificado por Moraes (2015), (Fig. 6.37).

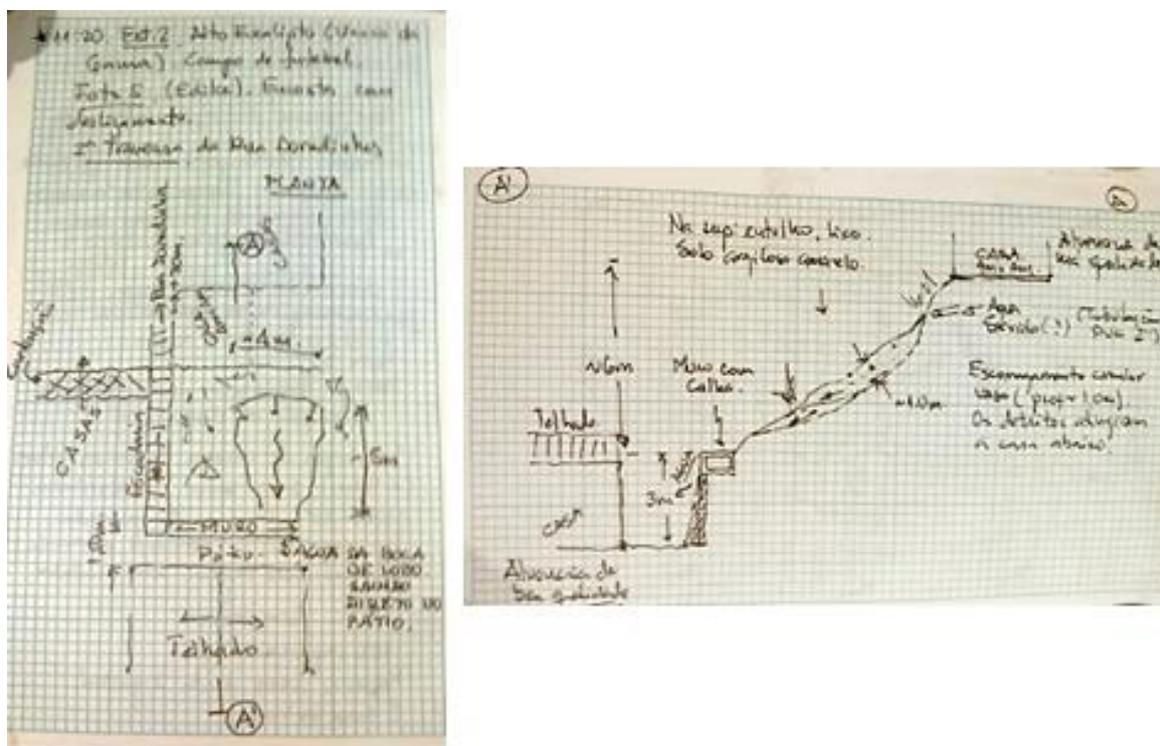


Figura 6.37: Croqui de imóvel vulnerável a deslizamento na localidade da 2ª Travessa Doradinha, – Córrego do Eucalipto - Vasco da Gama, elaborado por Hernán Carvajal.

Após concluso foi realizado o segundo levantamento na 3ª Travessa Damolândia, altura do número 29, conforme mostra a Fig. 6.38. A ocorrência registrada na SEDEC, era de monitoramento da área, tendo em vista deslizamento já ocorridos e residências muito próximas à encosta instável. O grau de susceptibilidade classificado como R4, para deslizamento. Foram medidos 59 pontos, sendo 15 pontos relativos à estrutura e 44 a ameaça. Bem como coletadas informações sobre estrutura e croqui (Fig. 6.39 e 6.40).



Figura 6.38: Pontos do levantamento RTK-NTRIP, na localidade da 3ª Travessa Damolândia – Córrego da Areia – Nova Descoberta – Recife, em 02/10/2013 (Imagem tridimensional Google Earth, 2016).

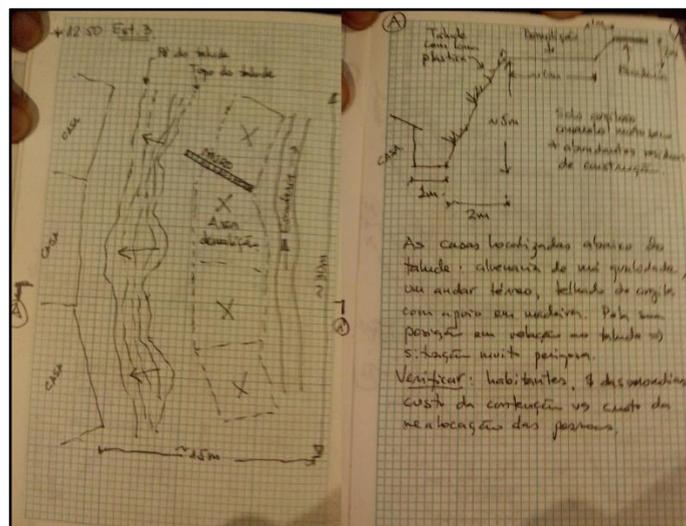


Figura 6.39: Croqui de imóvel vulnerável a deslizamento de encosta na localidade da 3ª Travessa Damolândia – Córrego da Areia – Nova Descoberta – Recife, elaborado por Hernán Carvajal.



Figura 6.40: Aspectos da estrutura e encosta, objetos do levantamento RTK-NTRIP, na localidade da 3ª travessa Damolândia – Nova Descoberta – Córrego da Areia Recife, em 02/10/2013. (Foto: A autora).

O levantamento seguinte foi conduzido no endereço Rua Arabela, número 83, Alto da Brasileira – Nova Descoberta – Recife – PE. Tal qual a ocorrência anterior na lista da SEDEC, o chamado ocorreu em função do monitoramento de encosta com histórico de deslizamento, com pelo menos 4 famílias/residências vulneráveis em área susceptível à deslizamento, inclusive com ameaça tanto na parte posterior do imóvel (fundos), quanto na anterior (frente). Foram levantados 41 pontos no total e coletadas informações estruturais, bem como croqui da área (Fig. 6.41).

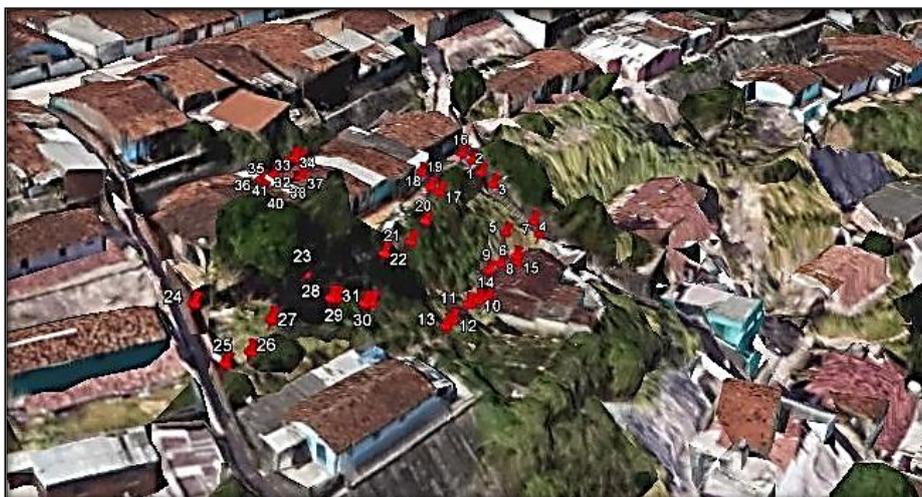


Figura 6.41: Pontos do levantamento RTK-NTRIP, na localidade da Rua Arabela, num 38 Alto da Brasileira – Nova Descoberta – Recife, em 02/10/2013 (Imagem tridimensional Google Earth, 2016).

O levantamento seguinte ocorreu no endereço Rua Baianópolis, 66, Córrego do Joaquim, Nova Descoberta, local onde havia encostas em 3 linhas de imóveis, como evidência de instabilidade: trincas no terreno, poste inclinado, deslizamento de pequena intensidade, mas com impacto em imóvel na linha inferior. Foram levantados na ocasião 30 pontos com técnica RTK-NTRIP conforme mostrado na Fig. 6.42.



Figura 6.42: Aspecto da área de estudo, objeto do levantamento RTK-NTRIP, na localidade da Rua Baianópolis, Córrego do Joaquim – Nova Descoberta – Recife, em 02/10/2013 (Foto: A autora).

Em data posterior, 22 de janeiro de 2014, foi realizado na mesma área, um levantamento com Estação Total, objetivando a análise de integração destas tecnologias. Foi estabelecido uma estação base, referenciada à estação RECF-RBMC-IP, também com posicionamento RTK-NTRIP. Desta forma foram determinados: pontos de controle com a mesma técnica que posteriormente utilizados como apoio/controlado à Estação Total. Das estações, foram medidos pontos nas encostas e nas estruturas vulneráveis. Foram estabelecidas três estações, 6 pontos de controle e 58 pontos irradiados para os pontos objeto do levantamento, conforme mostrado na Fig 6.43. Bem como foram coletadas informações acerca da estrutura dos imóveis e produzido croqui para subsidio ao levantamento (Fig. 6.44).



Figura 6.43: Pontos do levantamento RTK-NTRIP e Estação Total, na localidade da Rua Baianópolis, Córrego do Joaquim – Nova Descoberta – Recife, em 22 de janeiro de 2014 (Fonte: Imagem Google Earth, 2016).

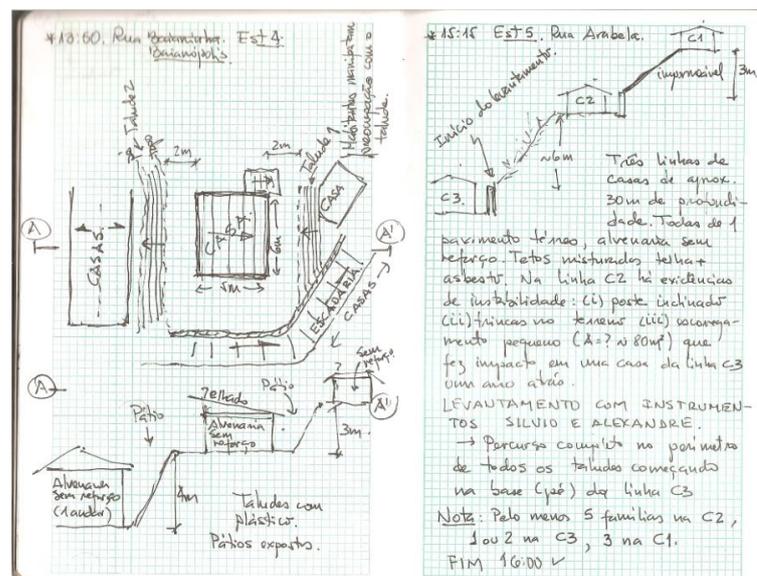


Figura 6.44 Croqui de imóvel vulnerável a deslizamento de encosta na localidade da Rua Baianópolis, Córrego do Joaquim – Nova Descoberta – Recife, em 22 de janeiro de 2014, elaborado por Hernán Carvajal.

No intuito de corroborar o uso da técnica RTK-NTRIP, como uma solução factível para aplicações geotécnicas, notadamente no auxílio à determinação da vulnerabilidade física (de estruturas) em áreas susceptíveis à deslizamentos, foi realizado o levantamento em mais duas áreas, em 18 de julho de 2014 pertencentes aos mesmos bairros, mas escolhidas de forma aleatória, somente com a componente visual, nas localidades constantes da Tab. 6.4.

Tabela 6.4: Localidade selecionadas de forma aleatória para realização do levantamento RTK-NTRIP e Estação Total em julho de 2014.

REGIONAL	RPA	ENDEREÇO	BAIRRO	LOCALIDADE	*GRAU DE RISCO
Noroeste	3	Rua Bemposta	Vasco da Gama	ALTO DO EUCALIPTO	R4
Nordeste	3	Subida para o Alto do Reservatório	NOVA DESCOBERTA	CÓRREGO DO JOAQUIM	R4

\*Posteriormente verificado no PMRR 2006 e CPRM, 2013 (PMRR 2015).

O levantamento conduzido na localidade da Rua Bemposta, Alto do Eucalipto, Vasco da Gama, mostrado na Fig. 6.45, foi realizado com a técnica RTK-NTRIP e Estação Total em paralelo, a partir do estabelecimento de uma estação base, para o levantamento topográfico, tendo como referência a estação RECF da RBMC. Foram levantados um total de 46 pontos com o posicionamento NTRIP e 29 pontos com estação total, além dos pontos de controle, entre ameaça e estruturas vulneráveis (Fig. 6.46). A área possui histórico de deslizamento, cobertura de lona na encosta objeto do levantamento e estruturas precárias quanto à manutenção e ao tipo, conforme PMRR 2006 e CPRM (PMRR 2015), classificada como grau R4, de susceptibilidade a deslizamento.



Figura 6.45: Aspectos do levantamento com Estação Total e RTK-NTRIP, na Rua Bemposta, Alto do Eucalipto – Vasco da Gama, em 18 de julho de 2014 (Foto: Sergio Melo - IBGE).

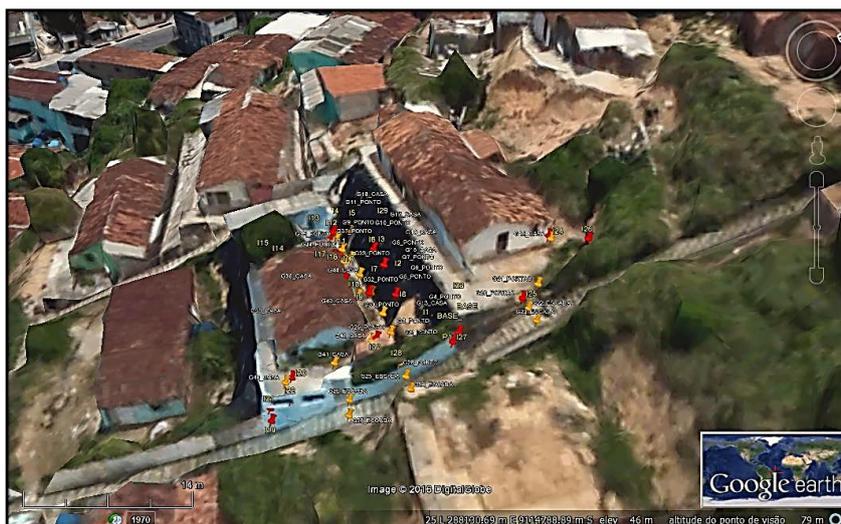


Figura 6.46: Pontos do levantamento RTK-NTRIP e Estação Total, na Rua Bemposta, Alto do Eucalipto – Vasco da Gama, em 18 de julho de 2014. (Fonte: Imagem Google Earth, 2016).

O levantamento seguinte, na mesma data, foi conduzido no endereço: Subida para o Alto do Reservatório, na localidade Córrego do Joaquim, Nova Descoberta. A área apresenta, conforme PMRR 2006 e CPRM, grau R4 de susceptibilidade a deslizamento. Encostas muito íngremes, em processo de deslizamento, coberta por lonas. Imóveis com estrutura pobre e manutenção precária, além de árvores com troco inclinado e muito próximas aos imóveis. Ocorrência de deslizamento com óbito na área, em deslizamentos pretéritos (Fig. 6.47).



Figura 6.47 Aspecto da área de estudo, objeto do levantamento GNSS e Topográfico, na Subida para o Alto do Reservatório - Córrego do Joaquim - Nova Descoberta, com predominância de encostas cobertas com lonas (Foto: Sergio Melo).

O levantamento RTK-NTRIP, foi realizado concomitante ao levantamento topográfico e tal qual o anterior, estabeleceu-se uma base de referência para o levantamento topográfico, pontos de controle e duas estações. Foram levantados com o GNSS, 81 pontos, entre encostas e estruturas vulneráveis. De modo complementar, foram medidos mais 41 pontos com estação total, computando 122 pontos. Etapas das medições, como estabelecimento de estação base para levantamento topográfico, levantamento das estruturas e das encostas são apresentados na Fig. 6.48.



Figura 6.48: Aspectos do levantamento GNSS, RTK-NTRIP e Topográfico, na Subida para o Alto do Reservatório - Córrego do Joaquim - Nova Descoberta. Levantamento com estação total ('a' e 'c') e levantamento GNSS de estruturas (e) e de ameaças ('b', 'd' e 'f').  
(Foto: Sergio Melo).

Os levantamentos de campo foram concluídos com êxito. Os dados obtidos com o posicionamento RTK-NTRIP foram transferidos (exportados) para o ambiente do software de processamento GNSS, o Magnet Tools, do mesmo fabricante. De modo simples foi possível visualizar, trabalhar e exportar as informações do levantamento. As coordenadas dos pontos, o desvio padrão horizontal e vertical, nome, data e tempo de observação, além de outras informações são apresentados. Os resultados obtidos para base de referência, apoio e controle dos levantamentos topográficos, foram transferidos para o sistema AstGeoTop (versão 2012 e

2013), para processamento dos dados topográficos e posteriormente integrados ao conjunto de dados GNSS, complementado a massa de dados das áreas levantadas.

Objetivando uma avaliação da qualidade posicional obtida nos levantamentos GNSS pela técnica RTK-NTRIP, foi realizado o pós-processamento dos arquivos de observáveis, no módulo de processamento do Magnet Office, referenciados às efemérides transmitidas da estação RECF e às efemérides precisas do IGS para datas dos posicionamentos.

## 7 - RESULTADOS E ANÁLISE

### 7.1 - RESULTADO E ANÁLISE DOS LEVANTAMENTO GNSS E TOPOGRÁFICO

Os levantamentos conduzidos em setores do PMRR 2006, susceptíveis ao risco de deslizamento, tiveram resultados satisfatórios e demonstraram que a viabilidade do posicionamento GNSS com a técnica de posicionamento RTK-NTRIP, está em consonância com necessidade da informação para ações de prevenção, para o objeto do estudo.

O quantitativo de área levantada e a massa de dados obtida é um bom indicador de utilização da técnica para o fim a que se propõe, não obstante a utilização de outras técnicas de posicionamento e tecnologias de informação.

Para o levantamento na localidade da 2ª Travessa Doradinha – Alto do Eucalipto – Vasco da Gama, com grau de susceptibilidade a risco de deslizamento R4, foram obtidos 21 pontos, no posicionamento com técnica RTK-NTRIP (Tab. 1, Anexo). Com um tempo de ocupação em cada ponto de 2 segundos, com uma linha de base de 6 km, foi obtida solução fixa, e a média do desvio padrão ( $\sigma$ ) foi da ordem de 0,007m na componente horizontal (Fig. 7.1) e 0,009 m na componente vertical (Fig. 7.2). O ponto 10 apresentou desvio padrão fora da média em ambas componentes, decorrente de alguma interferência na recepção do sinal, mas que não afetou de forma significativa o resultado.

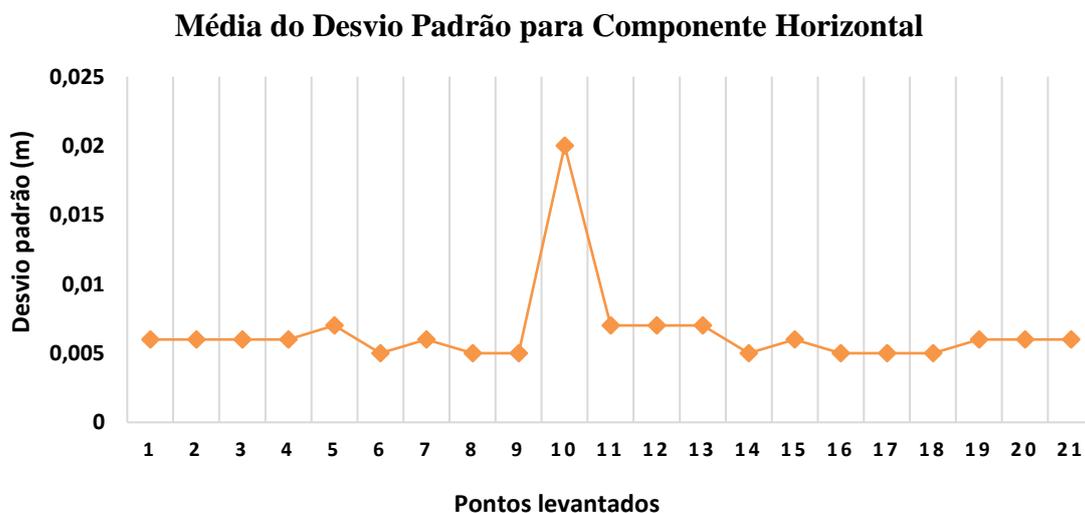


Figura 7.1: Desvio padrão da componente horizontal (planimétrica).  
2ª Travessa Doradinha – Alto do Eucalipto – Vasco da Gama. Recife – PE.

### Média do Desvio Padrão para Componente Vertical

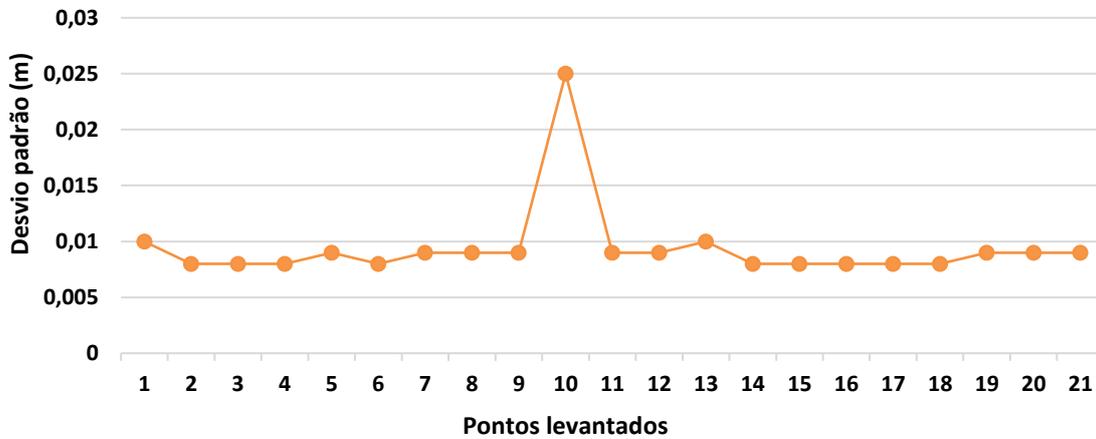


Figura 7.2: Desvio padrão da componente vertical (altitude) na 2ª Travessa Doradinha – Alto do Eucalipto – Vasco da Gama. Recife – PE.

Para o levantamento na localidade da 3ª Travessa Damolândia – Córrego da Areia – Nova Descoberta, com grau de susceptibilidade a risco de deslizamento R4, foram obtidos 59 pontos, no posicionamento com técnica RTK-NTRIP (Tab. 2, Anexo). Foi obtida solução fixa, e desvio padrão ( $\sigma$ ) foi da ordem de 0,007m na componente horizontal (Fig. 7.3) e 0,011 m na componente vertical (Fig. 7.4), sendo o tempo médio de fixação de 2 segundo e linha de base de 6 km.

### Média do Desvio Padrão para Componente Horizontal

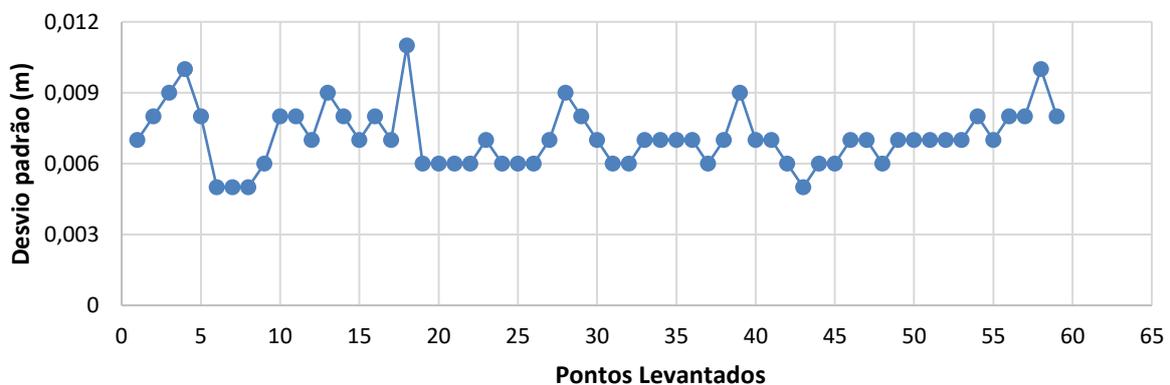


Figura 7.3: Desvio padrão da componente horizontal (planimétrica), na 3ª Travessa Damolândia – Córrego da Areia – Nova Descoberta. Recife – PE.

### Média do Desvio Padrão para Componente Vertical

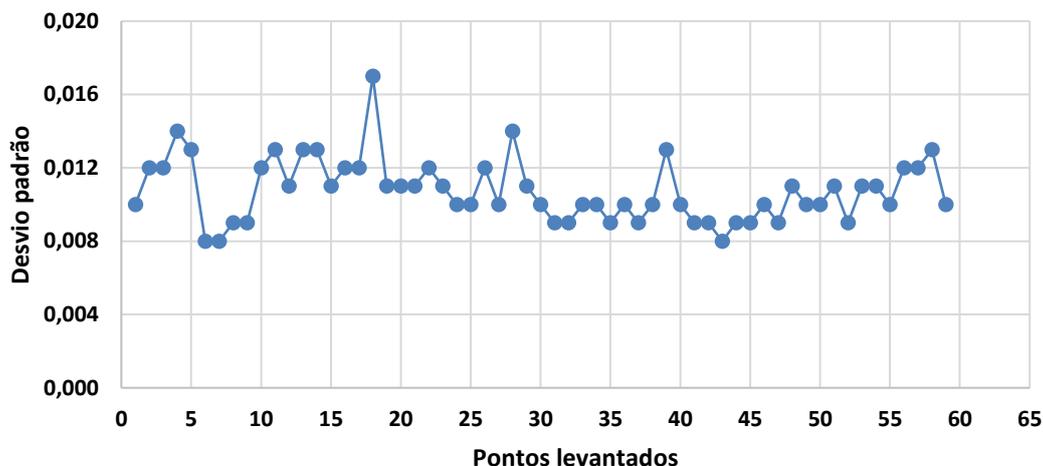


Figura 7.4: Desvio padrão da componente vertical (altitude), na 3ª Travessa Damolândia – Córrego da Areia – Nova Descoberta. Recife – PE.

Para o levantamento na localidade da Rua Arabela, Alto da Brasileira – Nova Descoberta, com grau de susceptibilidade a risco de deslizamento R4, foram obtidos, no posicionamento com técnica RTK-NTRIP, 41 pontos medidos (Tab. 3, Anexo). Foi obtida solução fixa, e a média do desvio padrão ( $\sigma$ ) foi da ordem de 0,017 m na componente horizontal (Fig. 7.5) e 0,036 m na componente vertical (Fig. 7.6). Observou-se que tanto na componente horizontal, quanto vertical, o ponto 19 extrapolou a média dos valores do desvio padrão, devido à sua proximidade à estrutura construída ou um obstáculo. Mas que não afetou o resultado geral obtido.

### Média do Desvio Padrão para Componente Horizontal

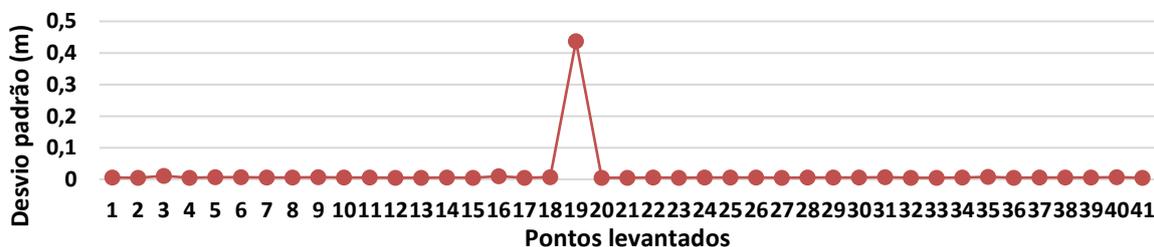


Figura 7.5: Desvio padrão da componente horizontal (planimétrica), na Rua Arabela – Alto da Brasileira – Nova Descoberta. Recife – PE.

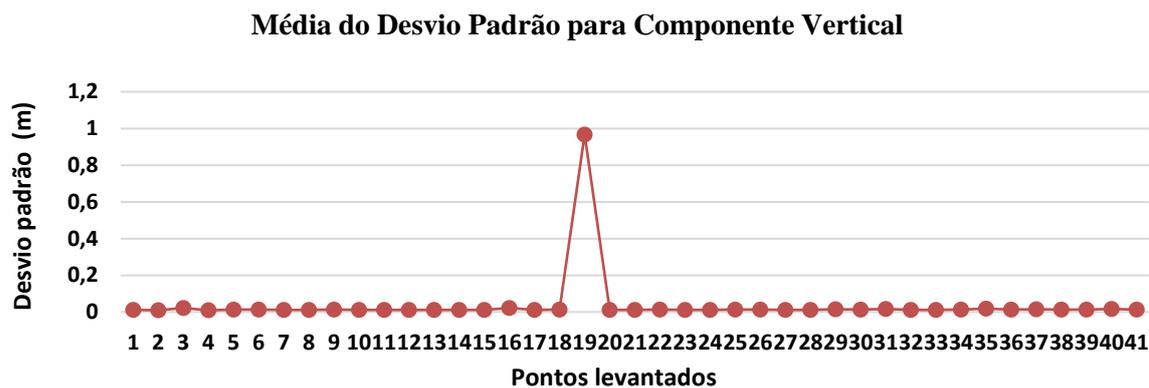


Figura 7.6: Desvio padrão da componente vertical (altitude), na Rua Arabela – Alto da Brasileira – Nova Descoberta. Recife – PE.

Para o levantamento na localidade da Rua Baianópolis – Córrego do Joaquim - Nova Descoberta, com grau de susceptibilidade a risco de deslizamento R4, foram obtidos, no posicionamento GNSS, 41 pontos (Tab. 4, Anexo). Foi obtida solução fixa, e a média do desvio padrão ( $\sigma$ ) foi da ordem de 0,026 m na componente horizontal (Fig. 7.7) e 0,049 m na componente vertical (Fig. 7.8). Os pontos 15 e 16, do levantamento extrapolaram a média devido a alguma interferência aérea no sinal, provavelmente árvore de grande porte existente próxima àqueles, obstruindo a recepção do sinal de satélite.



Figura 7.7: Desvio padrão da componente horizontal (planimétrica), na Rua Baianópolis – Córrego do Joaquim - Nova Descoberta. Recife – PE.



Figura 7.8: Desvio padrão da componente vertical (altitude), na Rua Baianópolis – Córrego do Joaquim - Nova Descoberta. Recife – PE.

O levantamento topográfico nesta área demandou a determinação de pontos de detalhe, não acessíveis com o receptor GNSS, por tratar-se de pontos sobre o plano das encostas, complementando o conjunto de dados. Foram levantados 14 pontos de detalhe na primeira encosta, além dos pontos de controle e estabelecimento de novas estações (Tab. 5, Anexo).

Na segunda encosta, também foram levantados 14 pontos, além dos auxiliares (Tab. 6, Anexo). Para terceira encosta foram medidos 29 pontos, mais auxiliares (Tab. 7, Anexo), não sendo possível o desvio padrão desses, considerando tratar-se de poligonais abertas, apoiadas em pontos determinados por GNSS, não há como determinar a sua precisão, estando condicionada à precisão do equipamento, à metodologia utilizada e a própria precisão das coordenadas da estação base. Ou seja, o irradiamento na determinação de pontos, requer cuidados básicos de planejamento quanto ao sistema de referência e de projeção a serem utilizados, bem como a própria operação do equipamento, evitando por exemplo erros sistemáticos. Os resultados desse posicionamento, quando combinados com ortofotocartas, escala 1:000, do município, evidenciou compatibilidade para aquela escala, tanto no posicionamento RTK- NTRIP, quanto à integração de posicionamento RTK e Estação Total (Fig. 7.9).



Figura 7.9: Detalhe de pontos limites dos deslizamentos obtidos do levantamento topográfico, representados em Ortofocartas Planialtimétrica 1:1000 (Base: Carta Cadastral número 816500, PCR. 2008).

Os resultados obtidos no levantamento GNSS, na Rua Bemposta. Alto do Eucalipto, bairro do Vasco da Gama, com grau de susceptibilidade a risco de deslizamento R4, no posicionamento com técnica RTK-NTRIP, para 46 pontos medidos (Tab. 8, Anexo). Foi obtida solução fixa, e a média do desvio padrão ( $\sigma$ ) foi da ordem de 0,006 m na componente horizontal (Fig. 7.10) e 0,012 m na componente vertical (Fig. 7.11). A média do tempo em cada ponto manteve-se na ordem de 2 segundos e linha de base de 6 km.

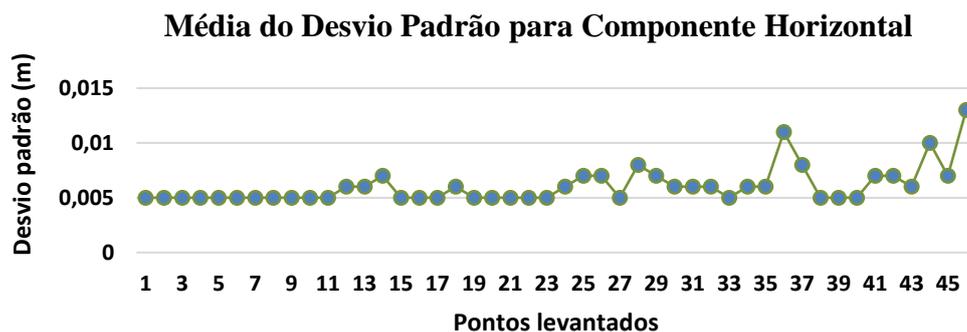


Figura 7.10: Desvio padrão da componente horizontal (planimétrica), na Rua Bemposta. Alto do Eucalipto, bairro do Vasco da Gama – Recife - PE.

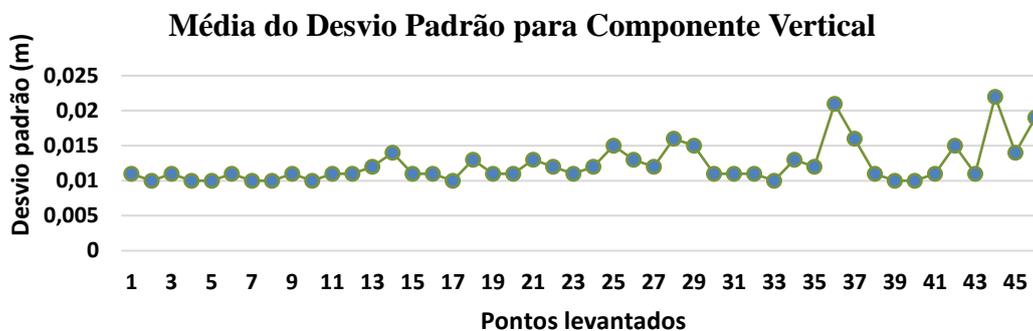


Figura 7.11: Desvio padrão da componente vertical(altimétrica). Rua Bemposta. Alto do Eucalipto, bairro do Vasco da Gama – Recife - PE.

O último levantamento da área de estudo pelo posicionamento GNSS, foi realizado na subida para o Alto do Reservatório, Córrego do Joaquim, bairro de Nova Descoberta, apresentando resultados para 81 pontos medidos (Tab. 9, Anexo). Foi obtida solução fixa, e a média do desvio padrão ( $\sigma$ ) foi da ordem de 0,008 m na componente horizontal (Fig. 7.12) e 0,017m na componente vertical (Fig. 7.13).

### Média do Desvio Padrão para Componente Horizontal

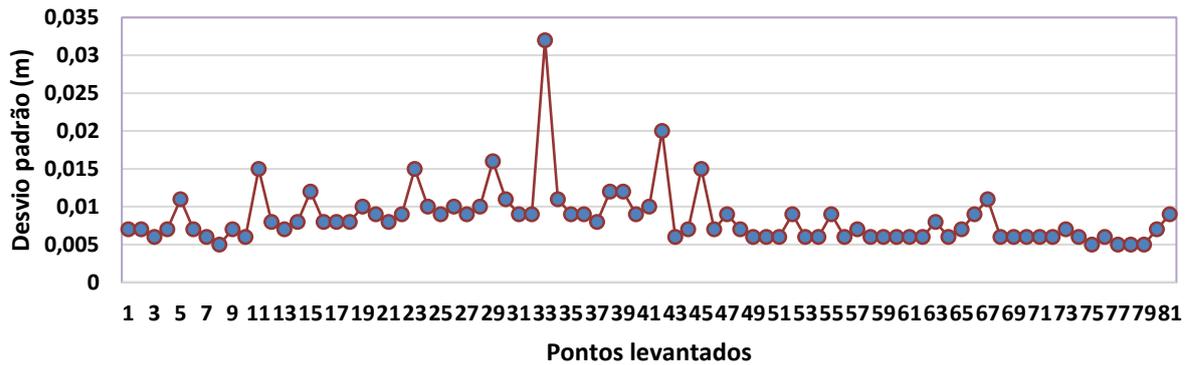


Figura 7.12: Desvio padrão da componente horizontal (planimétrica), no Alto do Reservatório, Córrego do Joaquim, bairro de Nova Descoberta – Recife - PE.

### Média do Desvio Padrão para Componente Vertical

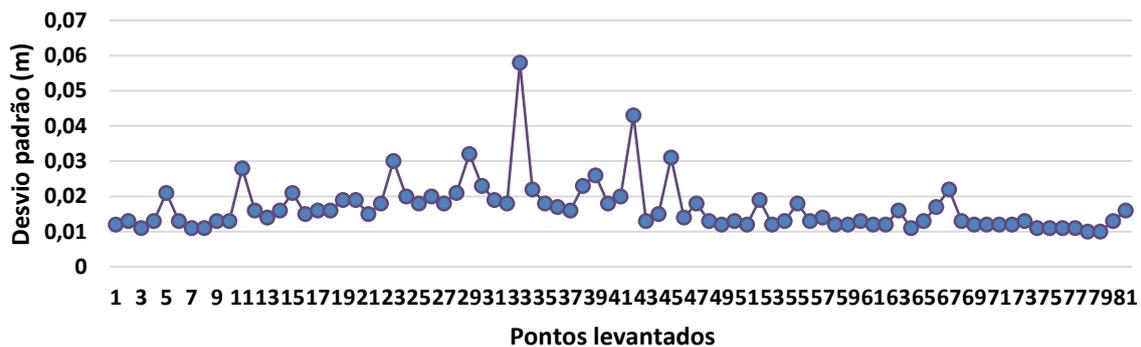


Figura 7.13: Desvio padrão da componente vertical (altimétrica), no Alto do Reservatório, Córrego do Joaquim, bairro de Nova Descoberta – Recife - PE.

O levantamento topográfico para estas áreas, tal como para anteriores, teve seu processamento executado no ambiente do Software AstGeotop (2013), sendo irradiados 30 pontos para Rua Bemposta e 41 pontos na subida para o Alto do Reservatório, em encostas e elementos estruturais dos imóveis (Tab. 10 e 11, Anexo). Os resultados desse posicionamento, quando combinados com ortofotocartas, escala 1:000, do município, evidenciou compatibilidade para aquela escala, tanto no posicionamento RTK- NTRIP, quanto na integração de posicionamento RTK e Estação Total (Fig. 7.14 e Fig. 7.15).



Figura 7.14: Pontos do levantamento topográfico na Rua Bemposta, sobre recorte de ortofotocarta, escala 1: 1000, do mapeamento do município do Recife.

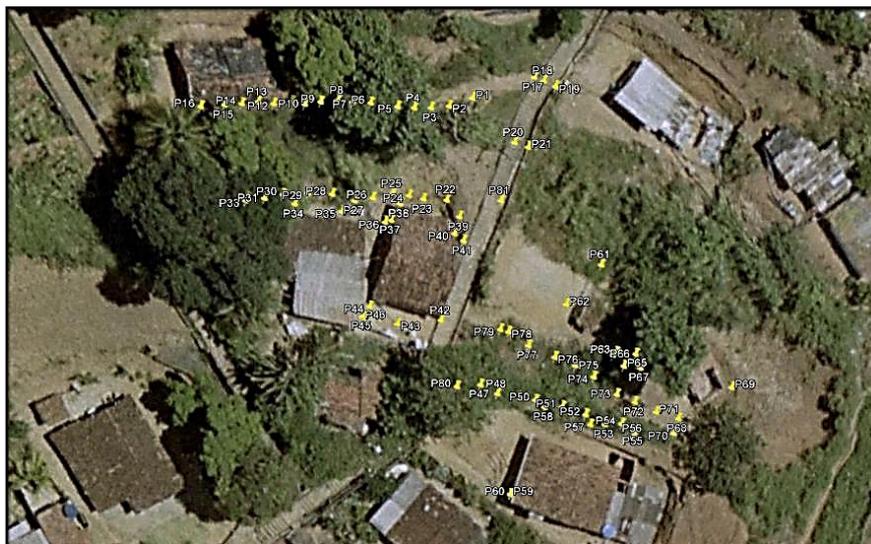


Figura 7.15: Pontos do levantamento topográfico, na Subida Alto do Reservatório, sobre recorte de ortofotocarta, escala 1: 1000, do mapeamento do município do Recife.

Conforme Costa et al. (2008), o ponto mais crítico para fixar a solução em levantamento RTK é a distância entre a estação de referência e o rover. O tempo decorrido desde que o receptor rover inicia o recebimento das correções até se chegar a solução fixa, é denominado de tempo de convergência. Para soluções RTK, o tempo de convergência varia de 1 a 12 minutos, podendo se obter a solução fixa, flutuante ou parcial, em alguns casos. O tempo de latência também é outro fator a ser analisado, neste tipo de técnica de posicionamento, que é o tempo decorrido entre a geração da correção na estação de referência e a sua aplicação no

receptor rover, incluído a passagem pelo Caster. Em média este tempo é de 1 a 2 segundos para estações de referência com Internet, como é o caso da RBMC-IP.

A distância entre a estação de referência RECF, constante da RBMC, para área de estudo (pontos rover) foi em média de 6 km e o tipo de solução fixa, em todos as áreas medidas. O desvio padrão ( $\sigma$ ) médio obtido, foi de 0,011m na componente horizontal e 0,022m na componente vertical, compatível dessa forma, com a precisão do método empregado.

## 7.2 - RESULTADOS E ANÁLISE DO POSICIONAMENTO GNSS PÓS-PROCESSADO

Objetivando analisar o resultado do posicionamento GNSS com a técnica RTK-NTRIP, realizou-se o pós-processamento das observações GNSS, relativo à estação RECF da RBMC. O programa utilizado foi o Magnet Office Tools (Topcon Positioning System, Inc -Versão 1.2 / 2011-2012), módulo de processamento. Foram utilizados os arquivos de observações dos levantamentos, o arquivo de observações da estação de referência para data do levantamento, corrigida a coordenada para constante no relatório da estação e o arquivo de observações GNSS, com efemérides precisas para data do levantamento. Para o cálculo do levantamento Topográfico foi utilizado o Softwares AstGeoTop 2013-2016.(Garnés, 2016) (Fig. 7.16 e 7.17).

As listas de resultados obtidos, para os mesmos pontos RTK-NTRIP, são apresentadas nas tabelas no Anexo: Pós-processamento. A precisão em termos de ( $\sigma$ ), são os constantes na Tab. 7.1.

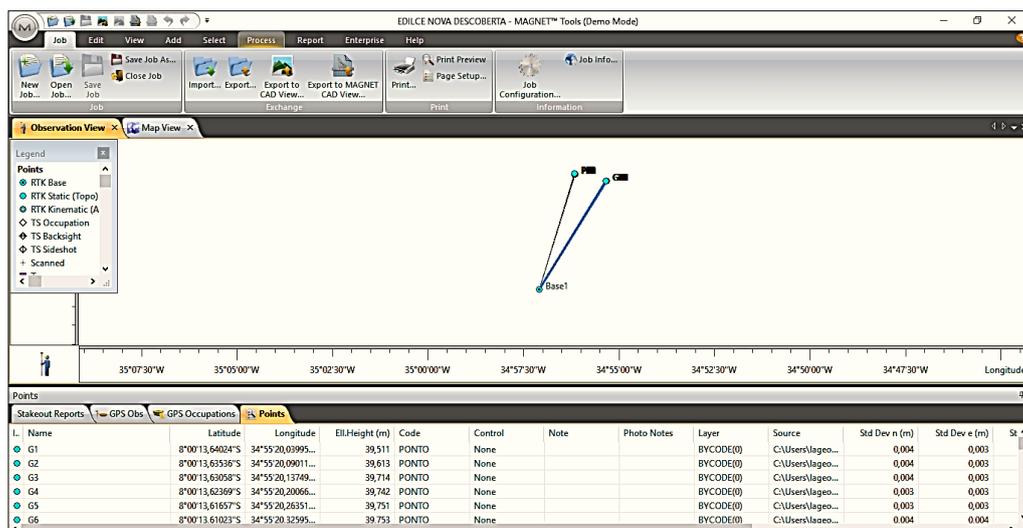


Figura 7.16: Ambiente de Processamento do Software Magnet Office Tools, Versão 1.2. Topcon Positioning System, Inc, 2011-2013.

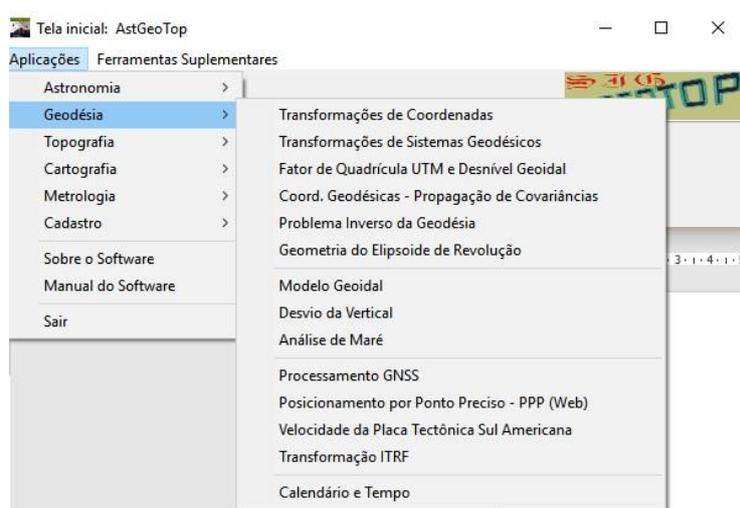


Figura 7.17: Ambiente de Processamento do Software AstGeoTop, 2013-2016. (Fonte: Garnés, 2016).

Os resultados para levantamento na localidade 2ª Travessa Doradinha – Alto do Eucalipto – Vasco da Gama (Tabela 12, Anexo), apresentaram ( $\sigma$ ) médio de 0,072 m, na componente horizontal e 0,055 na componente vertical, com solução de ambiguidade parcial e flutuante (Figura 7.18).

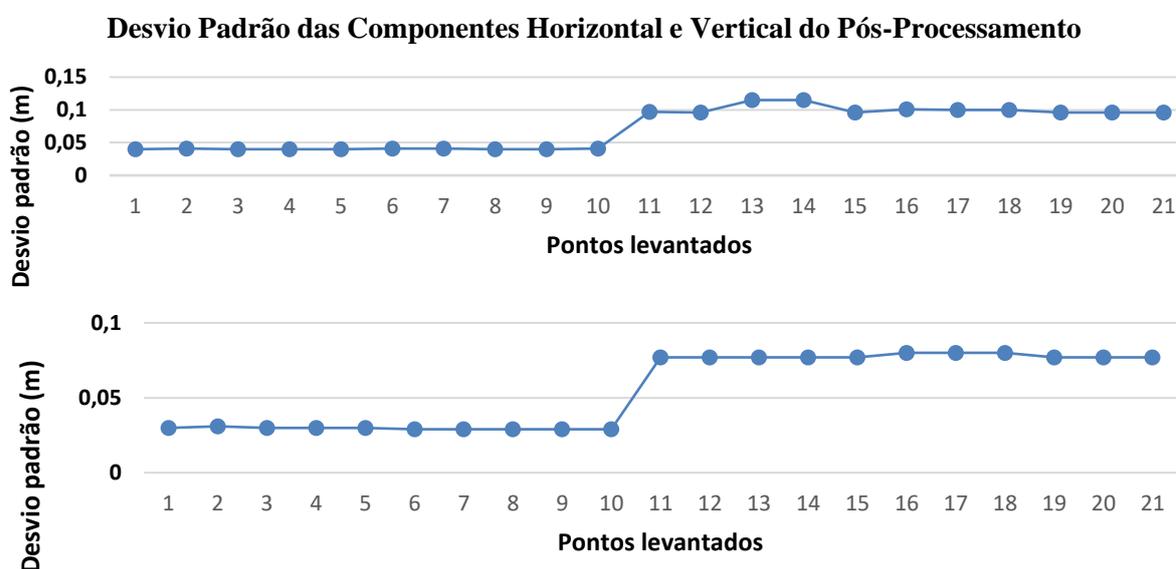


Figura 7.18: Desvio padrão da componente horizontal e vertical do pós-processamento do levantamento GNSS na 2ª Travessa Doradinha – Alto do Eucalipto – Vasco da Gama. Recife – PE.

O pós-processamento para o levantamento GNSS na 3ª Travessa Damolândia – Córrego da Areia – Nova Descoberta (Tabela 13, Anexo), apresentou  $\sigma$  médio de 0,046 m, na componente horizontal e 0,037 na componente vertical, com solução fixa para 16 pontos do montante levantado, as demais soluções foram do tipo parcial e flutuante (Figura 7.19).

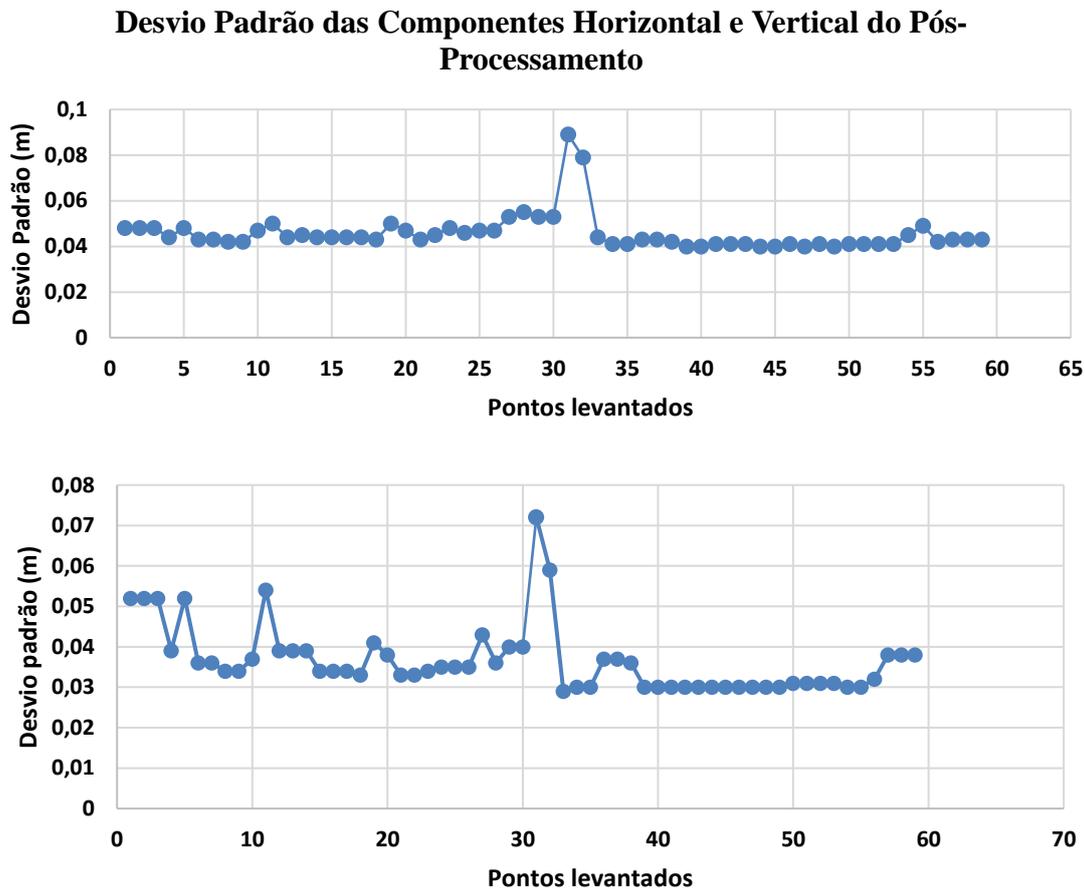


Figura 7.19: Desvio padrão da componente horizontal e vertical do pós-processamento do levantamento GNSS na 3ª Travessa Damolândia – Córrego da Areia – Nova Descoberta. Recife – PE.

Na localidade de Rua Arabela - Alto da Brasileira - Nova Descoberta, os resultados do pós-processamento (Tab. 14, Anexo), apresentou  $\sigma$  médio de 0,043 m, na componente horizontal e 0,032 na componente vertical, com solução fixa para 15 pontos com solução fixa e os demais com solução parcial e flutuante (Fig. 7.20).

### Desvio Padrão das Componentes Horizontal e Vertical do Pós-Processamento

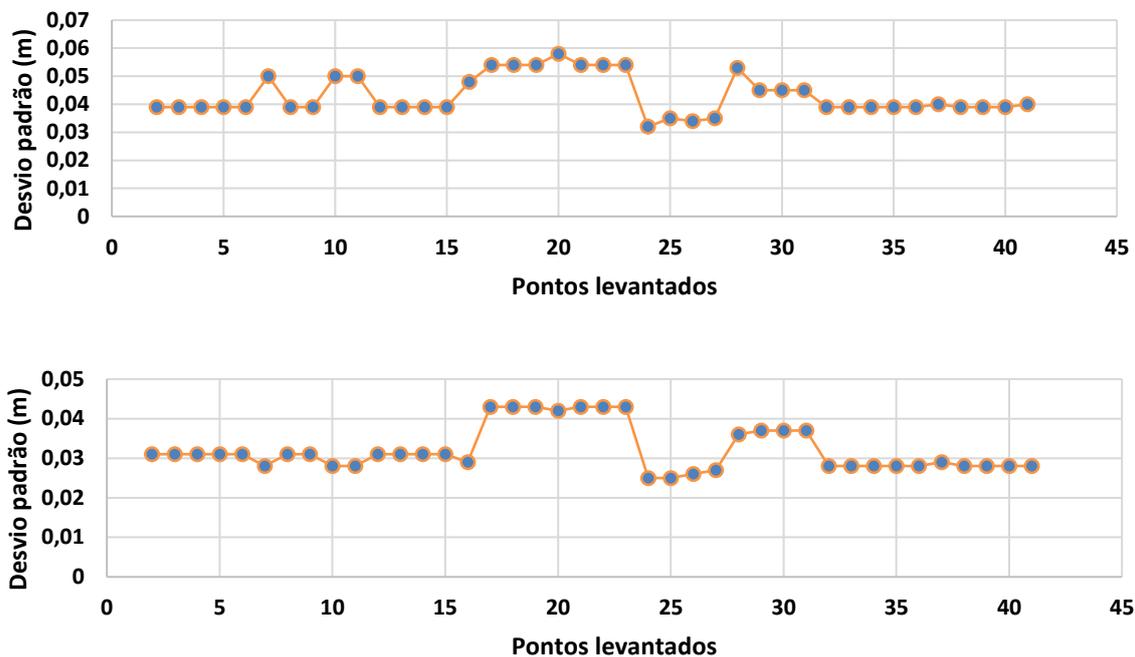


Figura 7.20: Desvio padrão da componente horizontal e vertical do pós-processamento do levantamento GNSS na Rua Arabela – Alto da Brasileira – Nova Descoberta. Recife – PE.

Na localidade de Rua Baianópolis – Córrego do Joaquim - Nova Descoberta, o pós-processamento apresentou resultados (Tab. 15, Anexo) de  $\sigma$  médio de 0,083 m, na componente horizontal e 0,059 na componente vertical, com solução parcial para todos os pontos pós-processado. Quase 50% dos pontos correspondentes no RTK-NTRIP não foram pós-processados (Fig. 7.21).

Para a Rua Bemposta. Alto do Eucalipto, bairro do Vasco da Gama, foram pós-processados 46 pontos com correspondentes RTK-NTRIP, os resultados (Tab. 16, Anexo), apresentaram  $\sigma$  médio de 0,040 m, na componente horizontal e 0,027 na componente vertical, com solução parcial para quase 70% dos pontos correspondentes no RTK-NTRIP, mais de 25% de solução fixa e menos de 2% flutuante (Fig. 7.22).

Com 81 pontos correspondentes ao levantamento RTK-NTRIP, os resultados apresentados (Tab. 17, Anexo), para localidade Alto do Reservatório, Córrego do Joaquim, bairro de Nova Descoberta, evidenciaram um  $\sigma$  de médio de 0,026 m, na componente horizontal e 0,036 na componente vertical. Com solução fixa para mais de 90% dos pontos e menos de 7% com solução fixa. (Fig. 7.23).

### Desvio Padrão das Componentes Horizontal e Vertical do Pós-Processamento

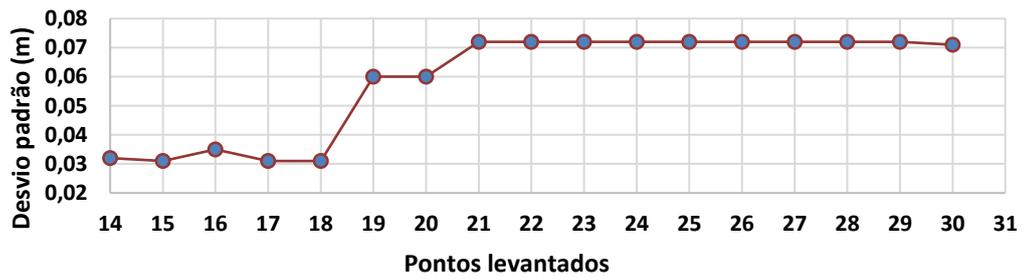
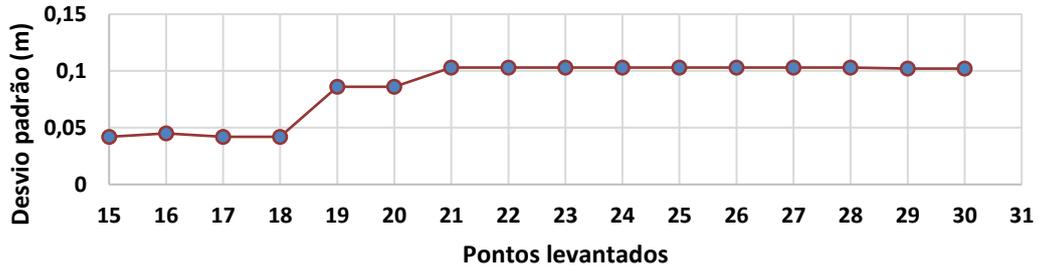


Figura 7.21: Desvio padrão da componente horizontal e vertical do pós-processamento do levantamento GNSS na Rua Baianópolis – Córrego do Joaquim - Nova Descoberta. Recife – PE.

### Desvio Padrão das Componentes Horizontal e Vertical do Pós-Processamento

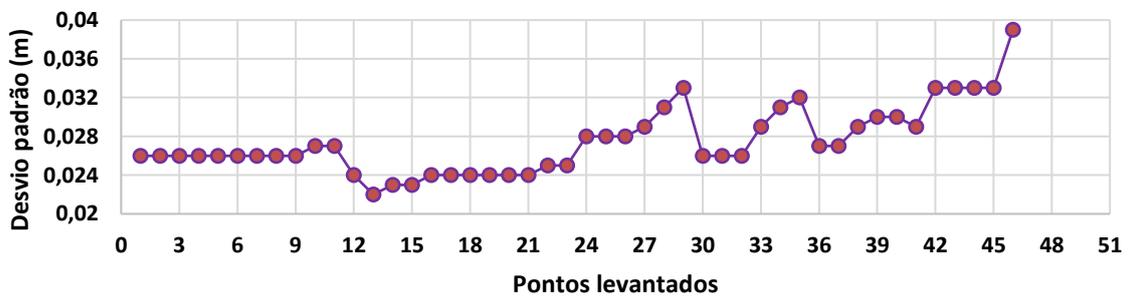
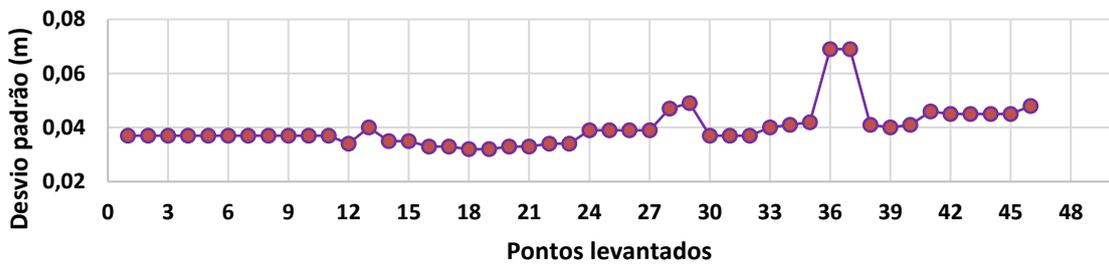


Figura 7.22: Desvio padrão da componente horizontal e vertical do pós-processamento do levantamento GNSS na Rua Bemposta. Alto do Eucalipto, bairro do Vasco da Gama – Recife - PE.

### Desvio Padrão das Componentes Horizontal e Vertical do Pós-Processamento

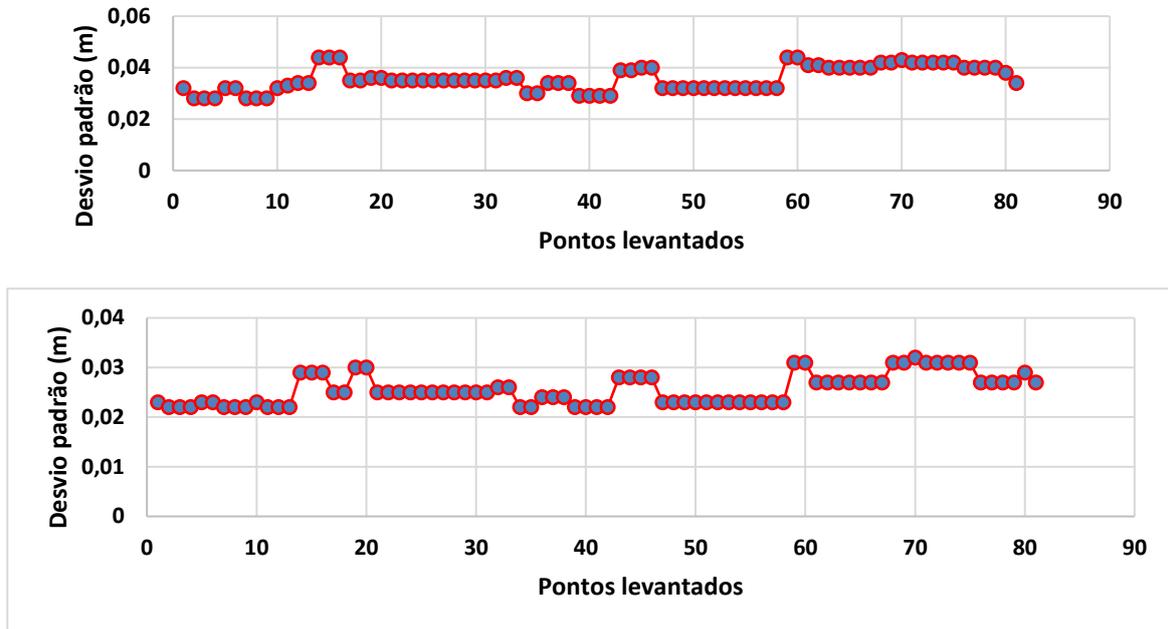


Figura 7.23: Desvio padrão da componente horizontal e vertical do pós-processamento do levantamento GNSS no Alto do Reservatório, Córrego do Joaquim, bairro de Nova Descoberta – Recife - PE.

Da análise dos resultados obtidos para o levantamento no modo RTK-NTRIP e o pós-processamento, observou-se uma maior consistência dos resultados obtidos com o RTK-NTRIP, com um  $\sigma$  máximo na componente horizontal de 0,026 m e componente vertical 0,049 m conforme Tab. 7.1, com solução fixa para todos. O Pós-processamento apresentou média para o  $\sigma$  máximo na componente horizontal de 0,083 m e componente vertical 0,059 m (Tab. 7.2), com solução variável. Via de regra, a solução pós-processada deveria apresentar um melhor resultado, tendo em vista usar no cálculo as efemérides precisas, cabendo uma an. De qualquer forma os resultados apresentados, ficaram no espectro da precisão esperada pelo método. As Tab. 6.22 a 6.22g, apresentam as discrepâncias entre as coordenadas levantada em tempo real e as processadas.

Tabela 7.1: Resultado da média da precisão do levantamento RTK-NTRIP

<b>LEVANTAMENTO GNSS RTK-NTRIP</b>				
<b>Localidade</b>	<b>Linha de Base</b>	<b>Média <math>\sigma</math> (m)</b>		<b>Solução</b>
		<b>Horizontal</b>	<b>Vertical</b>	
2ª Travessa Doradinha - Alto do Eucalipto -Vasco da Gama.	6 Km	0,007	0,009	Fixa
3ª Travessa Damolândia - Córrego da Areia - Nova Descoberta.	6 Km	0,007	0,011	Fixa
Rua Arabela, Alto da Brasileira – Nova Descoberta.	6 Km	0,017	0,036	Fixa
Rua Baianópolis - Córrego do Joaquim - Nova Descoberta.	6 Km	0,026	0,049	Fixa
Rua Bemposta - Alto do Eucalipto - Vasco da Gama.	6 Km	0,006	0,012	Fixa
Subida para o Alto do Reservatório - Córrego do Joaquim - Nova Descoberta.	6 Km	0,008	0,017	Fixa

Tabela 7.2: Resultado da média da precisão do levantamento Pós-processado

<b>LEVANTAMENTO GNSS PÓS-PROCESSADO</b>				
<b>Localidade</b>	<b>Linha de Base</b>	<b>Média <math>\sigma</math> (m)</b>		<b>Solução</b>
		<b>Horizontal</b>	<b>Vertical</b>	
2ª Travessa Doradinha - Alto do Eucalipto -Vasco da Gama.	6 Km	0,072	0,055	Variável
3ª Travessa Damolândia - Córrego da Areia - Nova Descoberta.	6 Km	0,046	0,037	Variável
Rua Arabela, Alto da Brasileira – Nova Descoberta.	6 Km	0,043	0,032	Variável
Rua Baianópolis - Córrego do Joaquim - Nova Descoberta.	6 Km	0,083	0,059	Variável
Rua Bemposta - Alto do Eucalipto - Vasco da Gama.	6 Km	0,04	0,027	Variável
Subida para o Alto do Reservatório - Córrego do Joaquim - Nova Descoberta.	6 Km	0,036	0,026	Variável

### 7.3 MODELAGEM DA VULNERABILIDADE

O cálculo da vulnerabilidade utilizando a posição espacial como um diferencial para sua determinação, parte do princípio de que de “se eu sei onde estou, eu sei que decisão poderei tomar”. No caso de um fenômeno natural ou antrópico, torna-se possível a tomada de decisão se o posicionamento espacial do fenômeno determinado, pode ser integrado ou relacionado à outros elementos, influenciando-os sob algum aspecto. Se for conhecida a localização do fenômeno e dos elementos que o envolvem, a tomada de decisão torna-se mais precisa.

Como enfatizado no Capítulo 3, a vulnerabilidade de elementos, quer sejam estáticos ou dinâmicos, dependem das variáveis envolvidas e em cada caso analisado. Invariavelmente e apesar de muitas vezes contemplar um mesmo tipo de fenômeno, há sutilezas que envolvem o ambiente, que devem ser consideradas, o que incorre em modelagens distintas.

O posicionamento espacial, de um fenômeno ou do resultado deste com relação ao elemento vulnerável, perpassa as sutilezas do ambiente modelado. Apesar de ser uma variável inerente aos elementos modelados, a relatividade posicional, proporciona um resultado que é comum a qualquer modelo.

O modelo proposto por Li et al. (2010), Eq. 3.2, que considera a vulnerabilidade física como função da intensidade do deslizamento e da resistência dos elementos expostos é tomado como referência para demonstração de que a posição espacial é uma variável preponderante nessa determinação que irá incorrer posteriormente no cálculo risco. Bem como o modelo de Guimarães Silva (2015), que analisou a relação entre os parâmetros geométricos da ameaça de deslizamentos e de estruturas impactadas por estes, a partir da altura do deslizamento (H), definida pela diferença entre a cota máxima e a cota mínima do deslizamento; da distância (d), que é a distância entre o centro de gravidade da estrutura e o ponto de partida da massa do deslizamento e Gradiente Modificado (Z) – relação entre a altura do deslizamento e a distância entre o ponto de partida da massa deslizante e a estrutura impactada, considerando a topografia como uma relação entre H e d ( $Z=H/d$ ), sendo o cálculo da vulnerabilidade realizado em função da Eq 3.19.

Tomando como referência os parâmetros constantes no modelo de Li et al. (2010), para o cálculo da resistência da estrutura e da intensidade, foi elaborado um formulário (Anexo B) com questões direcionadas aos residentes em áreas susceptíveis a movimentos gravitacionais de massa.

Nesse contexto, avaliou-se o resultado obtido a partir do modelo de Guimarães Silva (2015), com o dado da área teste condizente com a realidade encontrada naquelas áreas, com base em indicativos do PMRR (2006), CPRM (2013), PMRR 2015 e o Perfilamento a Laser do município. Outrossim a utilização da componente espacial irá aprimorar o valor da vulnerabilidade, agregando-lhe confiabilidade qualitativa.

#### **7.4 RESULTADOS APLICADOS À DETERMINAÇÃO DA VULNERABILIDADE**

Com os dados obtidos de observação em campo nas áreas de teste e os decorrentes do processamento, foi realizado o cálculo da vulnerabilidade usando o modelo proposto na Eq. 3.19.

Foi considerado que a profundidade da fundação para as edificações (Dofod), é de 60 centímetros, sendo este um padrão construtivo observado naquela área.

A velocidade média dos do deslizamento foi considerada como sendo  $C = 5$  m/s, por ser esse valor definido como de significância destrutiva, conforme Cruden&Varnes (1996).

A profundidade dos detritos (Dpt) foi estimada, para fins de cálculo, considerando a média de altura entre o topo da massa de deslizamento e o nível inferior (solo) das estruturas, bem como da altura da antena do receptor GNSS, no momento do levantamento.

O valor do fator de tipologia estrutural ( $\xi_{sty}$ ), bem como o fator de manutenção das estruturas ( $\xi_{smn}$ ) e o fator de resistência das estruturas ( $\xi_{sht}$ ), foram obtidos das tabelas 3.6, 3.7 e 3.8, considerando o tipo da estrutura, estado de manutenção e altura respectivamente.

O fator de profundidade da fundação ( $\xi_{sfd}$ ), o fator de profundidade detritos (Idpt), o fator de intensidade dinâmica (Idyn), o fator de deformação da estrutura (Idm), intensidade (I) e a resistência (R), foram todos calculados pelos respectivos modelos apresentados no item 3.2.1

A distância inclinada (d) entre um ponto na ameaça (massa deslizante) e um ponto na estrutura exposta foi obtida como sendo, a raiz da soma dos quadrados dos lados de um triângulo retângulo, formado pelas coordenadas da estrutura e da ameaça, considerando que o ponto da ameaça é sua projeção no plano da ameaça, obtidas pelo posicionamento GNSS no método RTK-NTRIP. A altura H, definida pela diferença entre a altitude máxima e a altitude

mínima da encosta, obtida pelo posicionamento GNSS no método RTK-NTRIP, entre a ameaça e a estrutura vulnerável (Fig. 7.24).



Figura 7.24: Disposição dos pontos da distância (d) e altitude (H), de pontos na encosta e na estrutura vulnerável.

O cálculo da vulnerabilidade, nesse contexto, foi realizado usando Guimarães Silva (2015), usando a Eq. 3.19.

A fim de verificar a consistência da importância das variáveis H e d, na estimativa da vulnerabilidade, ou o quanto estas influenciam na estimativa, foi utilizado o método Primeiro Momento Segunda Ordem (FOSM), para cálculo da vulnerabilidade. Foi determinado a média da vulnerabilidade, covariância, variância e desvio padrão das variáveis. Conforme Sandroni e Saião (1992), impôs-se um incremento de mais 10% nas variáveis aleatórias, nos parâmetros envolvidos no cálculo da variância do fator de segurança, nas análises determinísticas pelo método FOSM.

Os pontos selecionados para o cálculo foram determinados aos pares: ameaça e estrutura, nesta ordem, relativamente alinhados e determinados por posicionamento GNSS ou Topográfico. As coordenadas, de latitude (N) e longitude (E), desses pontos, foram objeto de determinação das diferenças de altitude H e distância inclinada d. Ou seja, dados os pontos na encosta (ameaça) e na estrutura conforme Fig. 7.24 e sejam  $(N_A, E_A, e h_A)$  e  $(N_B, E_B, e h_B)$ , o terno de coordenadas dos pontos A e B. A altitude será dado por

$$H = h_B - h_A. \quad (7.1)$$

A distância inclinada entre dois pontos de coordenadas será dada por  $d = d_{AB}$ , onde,

$$d_{AB} = \sqrt{(E_A - E_B)^2 + (N_A - N_B)^2} \quad (7.2)$$

A partir desses, são calculados o gradiente modificado, Z; o desvio de H e d com relação a média das variáveis onde:

$$d_H = H_i - \mu_H \quad (7.3)$$

$$d_d = d_i - \mu_d \quad (7.4)$$

A covariância de H e d, dada por:

$$COV_{Hd} = \sum (d_H \times d_d) / n \quad (7.5)$$

Onde, n é o número total da amostra. O desvio de H, dado por:

$$\Delta H = (d_H)^2 \quad (7.6)$$

A variância de H, dado por:

$$\sigma^2_H = \sum \Delta H / (n-1) \quad (7.8)$$

O desvio de d, dado por

$$\Delta d = (d_d)^2 \quad (7.9)$$

E variância de d, dado por

$$\sigma^2_d = \sum \Delta d / (n-1). \quad (7.10)$$

Para a determinação da resistência  $R$ , o cálculo foi realizado de acordo com os dados obtidos em campo para estruturas que foram objeto do levantamento GNSS, registradas em formulário do Apêndice B, com a Eq. 3.10, a exemplo de estruturas mostradas na Fig. 7.25



Figura 7.25: Coleta de informações, para determinação da resistência ( $R$ ) da estrutura vulnerável (Rua Bemposta, Alto do Eucalipto, bairro Vasco da Gama – Recife – PE (Foto: A autora, 04/07/2015).

Com os dados de campo processados, foi determinada o valor da função  $T$  que é a razão entre o gradiente modificado e a resistência das estruturas, dado pela Eq. 3.18. Por conseguinte, o valor da vulnerabilidade,  $V$ , de cada estrutura em mais de um ponto da mesma.

Os cálculos para estrutura localizada na 1ª Travessa Douradinha, S/N (12A), da localidade Alto do Eucalipto, no bairro Vasco da Gama, indicaram que, conforme Tab. 24 do Anexo, a estrutura exposta é muito vulnerável a um deslizamento, com um valor médio de 0,976. Os resultados obtidos para o gradiente modificado  $Z$ , demonstram a intrínseca relação entre as variáveis dependentes da posição dos objetos estudados (Fig. 7.26).

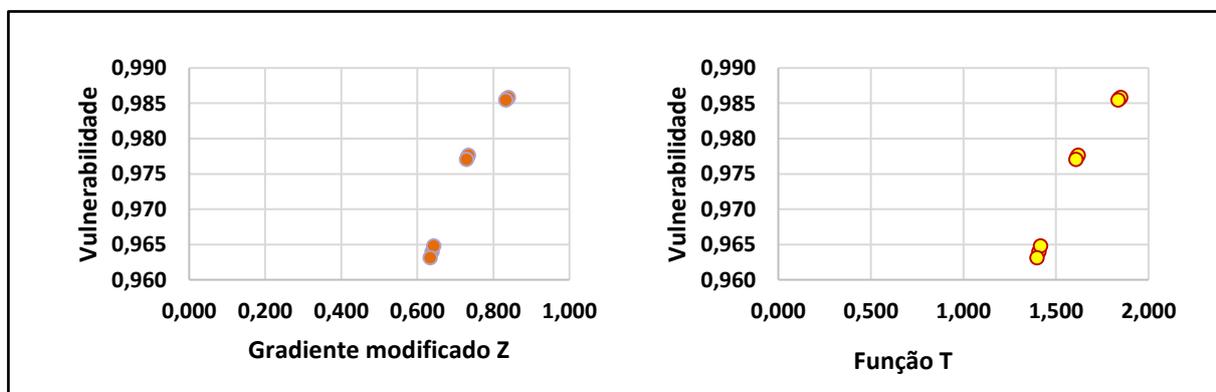


Figura 7.26: Relação do valor da vulnerabilidade da estrutura com o gradiente modificado  $Z$  e com a função  $T$ .

Considerando a resistência constante para todos os pontos analisados, a vulnerabilidade se mantém dependente das condicionantes geométricas posicionais.

Em que pese a influência das variáveis da diferença de altitude (H) e da distância entre a ameaça e a estrutura (d), aplicando o método FOSM, observou-se que a variável d, possui mais de 90 % de influência, em detrimento da variável H, com pouco mais de 6% da análise em questão (Tab. 25, Anexo).

Os cálculos para estrutura localizada na Rua Criciúma -Travessa Damolândia, Alto do Caeté, Nova Descoberta indicaram que, conforme Tab. 26 do Anexo, a estrutura exposta, possui a vulnerabilidade com um valor médio de 0,989. Os resultados obtidos para o gradiente modificado Z e função T, demonstram que o valor constante da resistência, salienta a importância da posição espacial dos objetos na determinação da vulnerabilidade (Fig. 7.27).

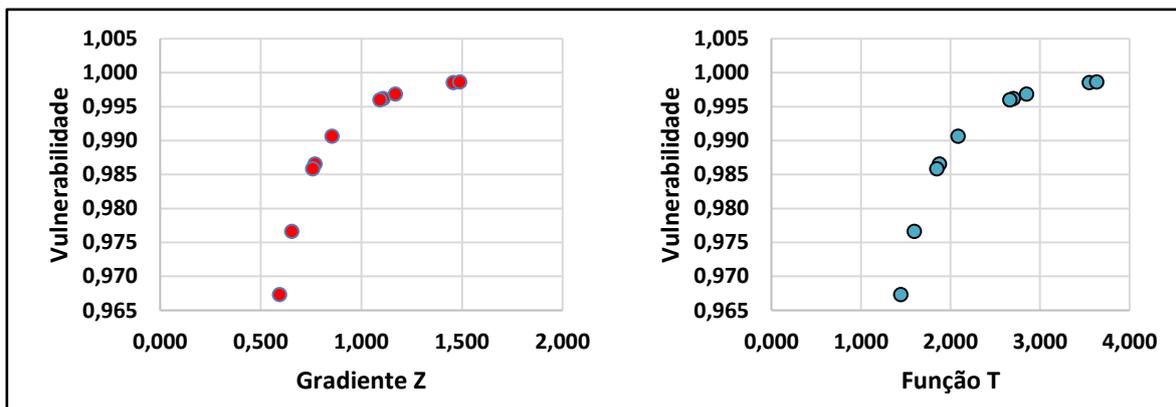


Figura 7.27: Relação do valor da vulnerabilidade da estrutura com a com o gradiente modificado Z e a função T.

A variáveis d e H tiveram influência, respectivamente de 92% e 7% no cálculo da vulnerabilidade (Tab. 27, Anexo).

O cálculo da vulnerabilidade, na Rua Arabela, 36, Alto da Brasileira, Vasco da Gama, também apresentou a vulnerabilidade máxima para estruturas com menor resistência (Tab. 28), mas de um modo geral foram altas, conforme pode ser visualizado na Fig. 7.28. A influência de da distância da ameaça a estrutura d, sobrepõe-se a altura entre os pontos (encosta – ameaça), conforme demonstrado na Tab. 29 do Anexo.

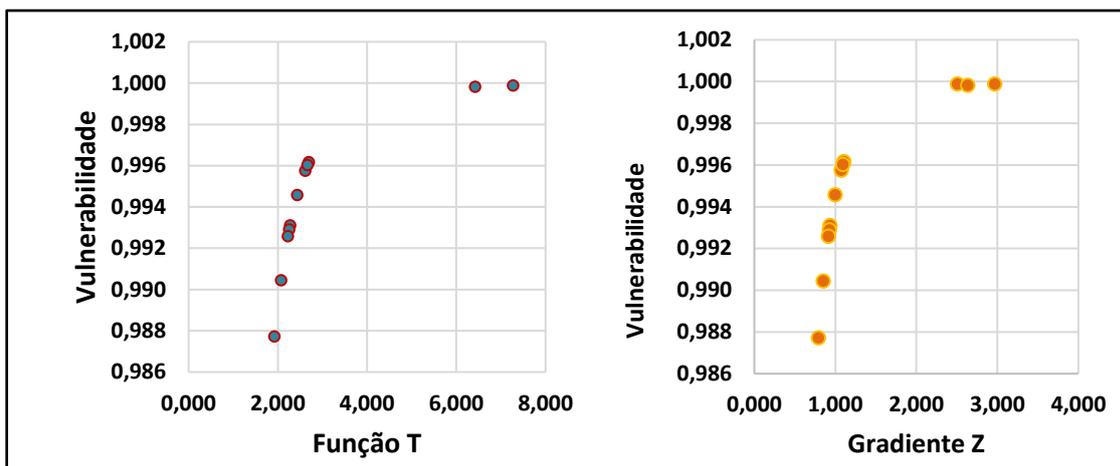


Figura 7.28: Relação do valor da vulnerabilidade da estrutura com a com o gradiente modificado Z e a função T.

Três encostas em patamares distintos, foram analisados conjuntamente a estruturas ameaçadas, na Rua Baianópolis, Córrego do Joaquim, bairro de Nova Descoberta. Naquela área o grau de susceptibilidade a risco, indicado pelo PMRR (2006), indicava a classificação R1. Mas, em vistoria ocorrida em julho de 2013, passou para o grau R4. Os resultados indicaram vulnerabilidade alta em uma encosta com média de 0,991 e para outras duas, vulnerabilidade com valor médio de 0,675 e 0,644: 35% menores do que as máximas (Tab. 30, 32 e 34, Anexo).

Na Fig. 7.29, são apresentados o comportamento do Gradiente Z e da Função T para encostas daquela área, em função da vulnerabilidade obtida. Observou-se, que nos imóveis B e C, as distâncias entre a ameaça e a estrutura analisada, possuem influência de mais de 80% no valor da vulnerabilidade. Para o imóvel 'A', a influência de H e d são equivalentes (Tab. 31,33 e 35, Anexo).

Os levantamentos executados em 18 julho de 2014, no meio do período de chuvas para região do estudo, em que várias ocorrências de deslizamento são registradas, apresentaram os resultados a seguir descritos. Em um imóvel, entre duas encostas em processo de movimento de massa, cobertas por lonas, a vulnerabilidade apresentou valor médio de 0,797 (Tab. 36). A análise posição do imóvel com relação a ameaça mostrou-se extremamente relevante, dado a precisão da informação geométrica (Fig. 7.30). As variáveis H e d, foram proporcionalmente influentes na determinação da vulnerabilidade para o local de estudo, com percentuais de 43% e 57%, respectivamente (Tab. 37, Anexo).

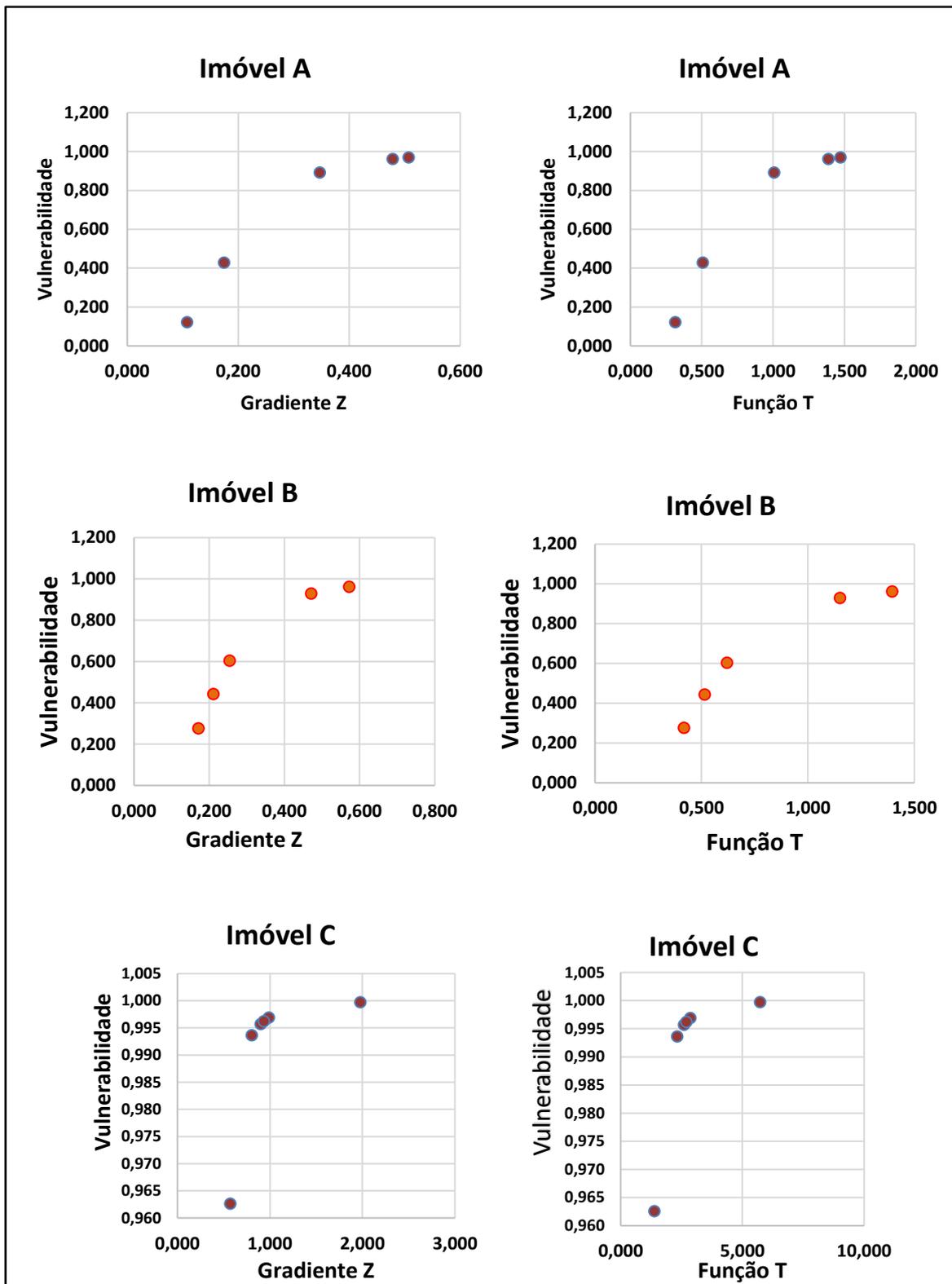


Figura 7.29: Relação do valor da vulnerabilidade da estrutura com a com o gradiente modificado Z e a função T, nos imóveis denominados A, B e C, da Rua Baianópolis, Córrego do Joaquim, bairro de Nova Descoberta.

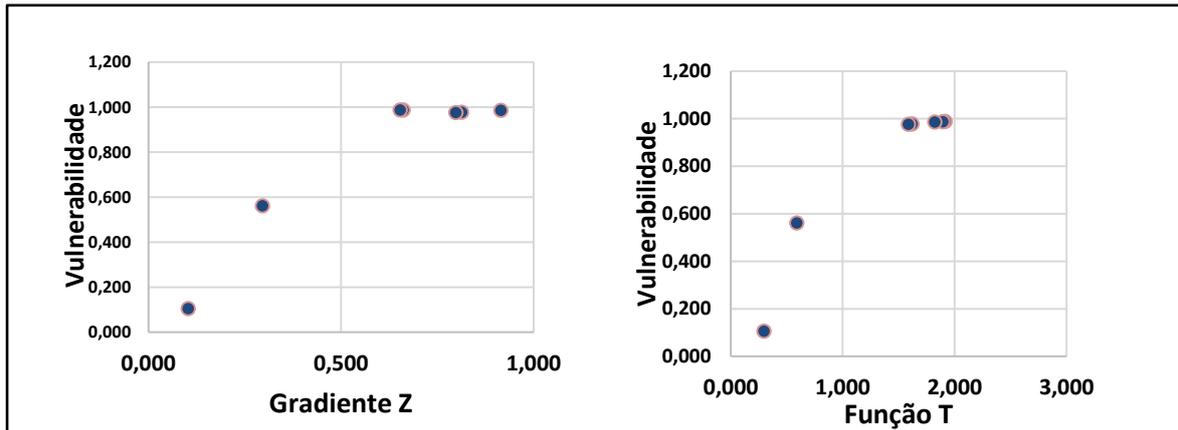


Figura 7.30: Relação do valor da vulnerabilidade da estrutura com a com o gradiente modificado Z e a função T, em imóveis da Rua Bemposta, números 21 e 22, Alto do Eucalipto, bairro de Nova Descoberta

Na localidade da Subida do Alto do Reservatório, Córrego do Joaquim, no bairro de Nova Descoberta, o valor da vulnerabilidade foi calculado para três imóveis susceptíveis as ameaças (Tab. 38, 40 e 42). A área em questão possui histórico de escorregamento com óbito e ocupação irregulares. Os valores obtidos foram de 0,986 para o n° 1199, 0,899, para o imóvel de n° 1120 e 0,791, para o imóvel de n° 400. Esta última com melhores valores relativos a estrutura do imóvel (Fig. 7.31 e 7.32). A variável 'd' apresentou quase que totalidade de influência nos valores obtidos para vulnerabilidade, sendo e 100%, 92% e 99%, respectivamente.

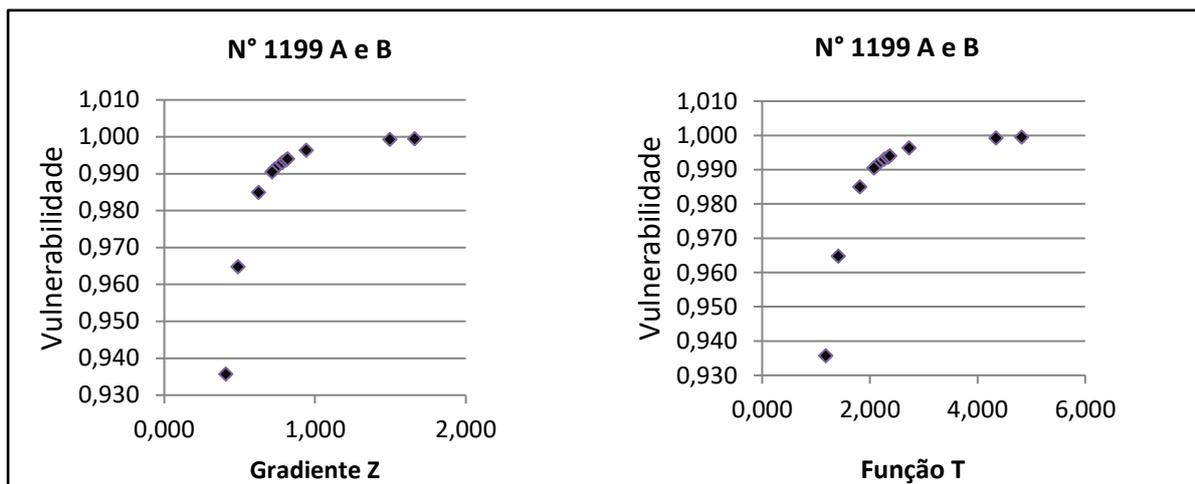


Figura 7.31: Relação do valor da vulnerabilidade da estrutura com a com o gradiente modificado Z e a função T, no imóvel de número 1199 A e B, da Subida do Alto do Reservatório, Córrego do Joaquim, no bairro de Nova Descoberta.

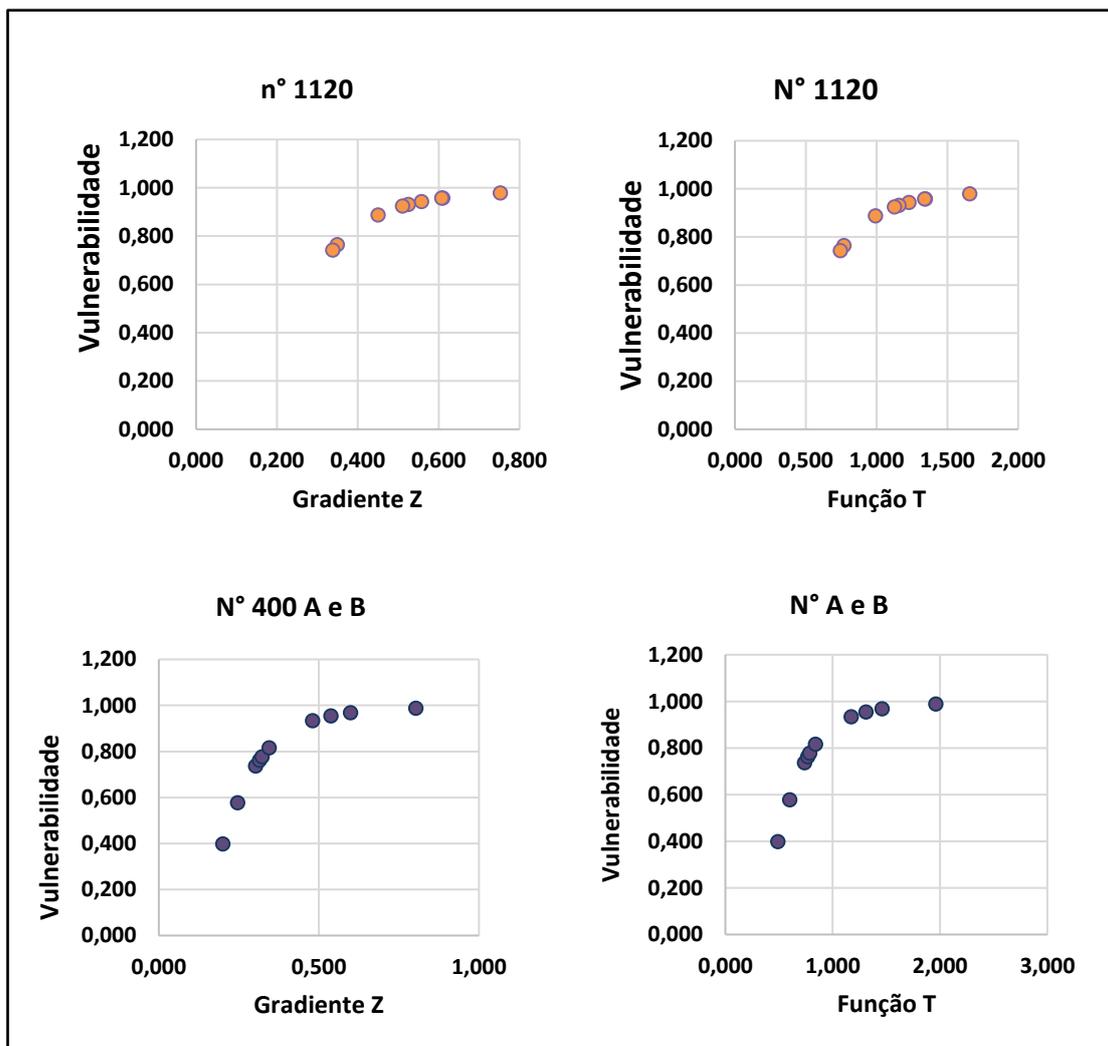


Figura 7.32: Relação do valor da vulnerabilidade da estrutura com a com o gradiente modificado Z e a função T, nos imóveis de número 1120 e 400 (A e B), da Subida do Alto do Reservatório, Córrego do Joaquim, no bairro de Nova Descoberta.

## 7.5 - ANÁLISE DOS RESULTADOS PARA VULNERABILIDADE

Os resultados obtidos na determinação da vulnerabilidade na área de estudo, utilizando os parâmetros geométricos associados a posição espacial dos objetos: o terno de coordenadas latitude, longitude e altitude, estão em consonância com o grau de susceptibilidade indicados no Plano Municipal de Redução de Riscos 2006, do município do Recife, bem como a Carta de Susceptibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundação do município do Recife, em elaboração pela CPRM, ao mesmo tempo que contribuem aprimorando as informações nestes documentos, podendo subsidiá-los.

O comportamento da vulnerabilidade com relação a Função T, que é influenciada não somente pela posição do objeto com relação a ameaça, mas também pela resistência deste, está em consonância com o observado por Li et al. (2010) e por Guimarães Silva (2015). Ou seja, a vulnerabilidade de estruturas expostas à ameaça é influenciada pela componente geométrica posicional e tanto maior a relação desta com a resistência das estruturas expostas, mais vulneráveis estarão. Por outro lado, se a resistência das estruturas é baixa o gradiente modificado Z, terá influência muito alta na determinação da vulnerabilidade.

Considerando a precisão posicional dada pelo método de obtenção e a técnica utilizada, pode-se afirmar que a confiança na informação gerada pelo posicionamento GNSS (RTK-NTRIP) pode ser utilizada com garantia por se tratar de método confiável e preciso para determinação ou auxílio à determinação da vulnerabilidade física em áreas susceptíveis à risco de deslizamento.

A influência da distância entre a estrutura e a ameaça (%d), para área estudada, considerando uma resistência média ( $R_m$ ) baixa para os imóveis, dado o padrão construtivo local, foi de mais de 80% : 8 de 10 localidades levantadas, tiveram forte influência dessa componente, considerando a média da distância entre ameaça-estrutura, a altura média e a vulnerabilidade média ( $V_m$ ). A influência da diferença de altitude entre a estrutura e a ameaça (H) teve uma influência relativamente baixa na determinação da vulnerabilidade de estruturas, sendo maior quando o seu valor era relativamente proporcional à distância 'd'. Na Tab. 7.3. são apresentadas a relação entre a vulnerabilidade com as variáveis geométricas posicionais, o gradiente modificado Z, a resistência média e os percentuais relativos a influência das diferença de altura H e da distância entre a estrutura e a ameaça, ambos obtidos a partir do levantamento GNSS.

Na Fig. 7.33 é mostrado a função da vulnerabilidade V, com base no gradiente modificado Z, para estruturas levantadas na área de estudo. Esta função demonstra a forte relação entre a massa deslizante e as estruturas, considerando a baixa resistência e está em consonância com os estudos de Li et al. (2010), que usou a velocidade do deslizamento no cálculo da vulnerabilidade, entre outros parâmetros.

De uma forma geral, os dados obtidos a partir do posicionamento GNSS, com a técnica RTK-NTRIP, mostraram-se um ótimo recurso de cálculo da vulnerabilidade física, pois alia rapidez com precisão, elementos necessários na dinâmica prevenção em áreas susceptíveis à riscos de deslizamentos de terra.

Tabela 7.3: Relação da vulnerabilidade com as variáveis geométricas posicional, da ameaça e da estrutura, e de resistência da estrutura.

Ponto	ID	$\mu_H$	$\mu_d$	Zm	Rm	Vm	%H	%d
1	Arab1	4,935	6,811	0,725	0,454	0,977	6,371	93,629
2	Bai1	5,298	5,65	0,938	0,41	0,995	7,209	92,791
3	Bai2	7,585	6,968	1,089	0,41	0,996	10,42	89,588
4	Bai3	2,491	8,107	0,307	0,345	0,844	53,722	46,278
5	Bemp	2,314	7,894	0,293	0,41	0,715	17,039	82,961
6	CJ1	4,135	4,511	0,917	0,441	0,996	12,318	87,682
7	CJ2	4,777	7,689	0,621	0,441	0,966	42,69	57,31
8	CJ3	8,61	10,879	0,791	0,345	0,995	0,139	99,861
9	Daml	3,383	6,696	0,505	0,454	0,93	7,421	92,579
10	Dour	6,099	16,672	0,366	0,41	0,894	0,541	99,459

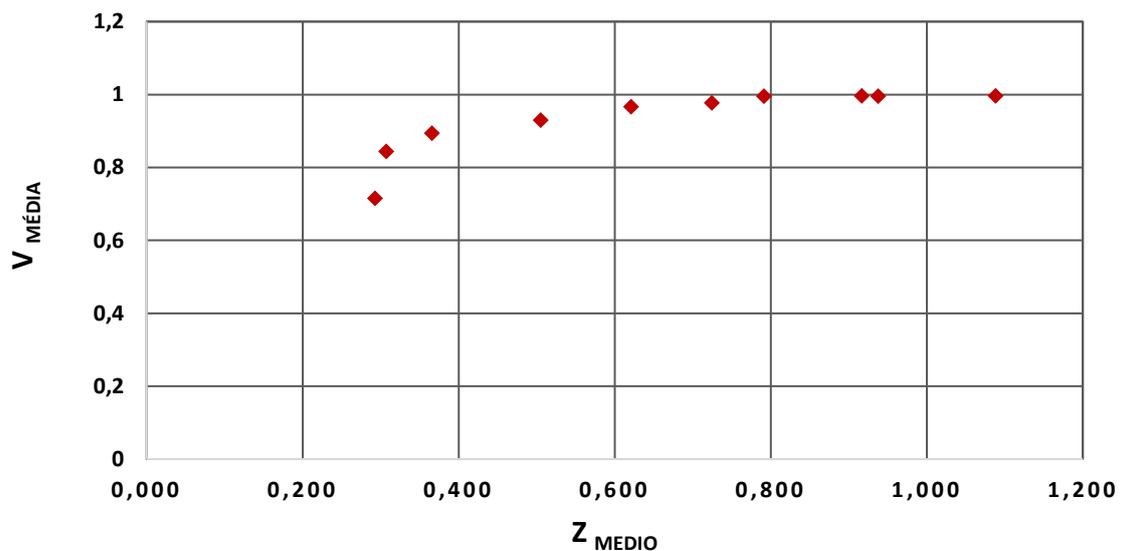


Figura 7.33: Relação do valor da vulnerabilidade média da estrutura com o gradiente modificado Z.

## 8 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 8.1 - CONCLUSÕES

Esta Tese atingiu objetivo proposto e comprovou o excelente desempenho que a utilização do posicionamento GNSS, com a técnica RTK-NTRIP, atingiu, traduzido pelos resultados obtidos no cálculo da vulnerabilidade. De modo específico mostrou que utilizando a posição espacial do objeto (dado pelo terno de coordenadas:  $\varphi$ ,  $\lambda$  e  $h$ ), é um parâmetro que possibilita, agregado à dados geotécnicos, determinar a vulnerabilidade de estruturas susceptíveis a ao risco de deslizamentos. Ainda de forma específica realizou estudo de técnica RTK-NTRIP, em aplicação que não possuía registros até então: auxiliar à Geotecnia, na determinação da vulnerabilidade física de estruturas. O estudo ainda proporcionou a disseminação do uso da técnica de posicionamento, bem como da existência de um serviço gratuito ao usuário, disponibilizado pelo órgão responsável pela manutenção da estrutura geodésica e cartografia nacional. Ou seja, sem prejuízo à qualidade na obtenção de dados espaciais, trouxe uma técnica, cujas vantagens se sobrepõem à soluções tradicionais, em tempo, rapidez e custo. Apresenta ainda, o grande potencial de integração com a topografia, fotogrametria e sensoriamento remoto, nas aplicações geotécnicas, à medida que é usada como parâmetro de qualidade na obtenção dos produtos decorrentes de mapeamento.

Os movimentos gravitacionais de massa, notadamente deslizamentos em encostas, apesar de identificáveis quanto ao tipo, tornam-se instáveis pelas intempéries severas, por ações antrópicas ou por ambas. A utilização de técnicas de monitoramento de encostas, associada as boas práticas ambientais é uma alternativa rápida de prevenção ao risco. O poder público, por meio de programas de conscientização e orientação à população, busca que a ocupação em áreas de morros se dê de forma segura, evitando área susceptíveis a deslizamentos. Orienta também sobre a necessidade de ocupar com responsabilidade, evitando cortes, aterros e qualquer ação que torne instável uma encosta ou próxima a esta.

A identificação de estruturas vulneráveis ao deslizamento de encostas, tem sido objeto de vistoria das Defesa Civil municipal ou estadual, que o fazem com inspeção visual e com base em eventos pretéritos, ou ainda quando acionados pelos moradores. Um instrumento que quantifique a vulnerabilidade dessas estruturas dá maior fiabilidade as tomadas de decisão necessárias, de modo a evitar desastres naturais ou mitigar o efeito destes.

O posicionamento geodésico quer por receptores GNSS, quer por Estações Totais, fornece coordenadas de pontos das áreas objetos, que podem ser modelados em aplicações e para diversos fins. O serviço RBMC-IP do IBGE, bem como outros serviços como o processamento do PPP (Posicionamento por Ponto Preciso), estão na vanguarda de serviços mundiais, acessível, disponível e gratuito a qualquer usuário do sistema. A rede internet no Brasil, apesar de não ter cobertura total no território nacional, possui boa cobertura nos centros urbanos, área de ocorrência de ameaças, possibilitando a recepção de correções de sinais do sistema GNSS nos levantamentos que sejam executados pela técnica RTK-NTRIP ou PPP-online. O levantamento topográfico pode complementar o posicionamento GNSS, à medida que pode medir locais de difícil acesso, bem como pontos de detalhes ou locais com interferência dos sinais de satélite.

O CEMADEN, no contexto do Programa Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres, adquiriu 10 estações robotizadas, com toda suíte de acessórios para o monitoramento contínuo de encostas em regiões de todo Brasil. Uma dessas estações está instalada no em uma encosta no bairro do Ibura, município do Recife, cuja massa de pontos obtida permitiu modelar o terreno avaliando o comportamento (Coutinho, 2016). Trata-se de uma solução de alto custo para o país, mas de excelentes resultados.

A PCR, por meio da Empresa de Urbanização municipal – EMLURB, realiza a implantação de medidas de contenção nas encostas, tendo obtido sucesso com a aplicação de tela argamassada com sistema de drenagem e geomantas na impermeabilização daquelas.

O levantamento GNSS, com a técnica de posicionamento RTK-NTRIP, realizado no âmbito desta pesquisa, cujos dados foram utilizados para cálculo da vulnerabilidade de estruturas em áreas susceptíveis a deslizamentos, apresentaram coerência entre os resultados obtidos com os registros existentes (banco de dados da SEDEC, mapeamento do PMRR e classificação de áreas de risco), bem como com a realidade dos locais visitados. Outrossim demonstraram consistência, quando comparados, com os resultados de Li et al. (2010), quanto a tendência da vulnerabilidade com relação ao quociente da intensidade e resistência ( $I/R$ ), (Fig. 3.2) e com a tendência da vulnerabilidade para diferentes valores da resistência (Fig. 3.3).

Os dados do levantamento GNSS, também podem ser usados para calibrar o modelo numérico de terreno (MNT), da área de estudo, levando-os para um mesmo sistema de referência; caso do perfilamento a laser da cidade do Recife.

A existência de uma base cartográfica atualizada, em escala adequada ao propósito e, com dados geotécnicos confiáveis, inclusive com informação de vulnerabilidade quantitativa,

representa uma significativa contribuição em ações de monitoramento e planejamento territorial.

A integração de áreas do conhecimento perpassa gerações. A Geotecnia e as Ciências Geodésicas, nesse contexto e com a disponibilidade das tecnologias corroboram a importância dessa integração.

## **8.2 – RECOMENDAÇÕES**

Considerando o estudo desenvolvido nesta Tese, recomenda-se que:

- Outros modelos de vulnerabilidade sejam utilizados para análise da influência do posicionamento na determinação desta, em ambientes cujo resistência das estruturas avaliadas sejam diversas ou maiores que 0,7 (de média a alta).
- Utilizar outros serviços de posicionamento como o PPP, para avaliar a qualidade posicional e as vantagens do método em relação aos demais métodos.
- Utilizar outras técnicas como o RTK em rede (NRTK) na determinação da vulnerabilidade.
- Utilizar dados de Laser Scanner georreferenciado para determinação da vulnerabilidade.
- Avaliar como as RPA's (Vants) podem ser utilizadas no monitoramento de áreas de risco de deslizamento e na vulnerabilidade de estruturas.
- Realizar uma implementação para o cálculo da vulnerabilidade baseado em Sistemas de Informações Geográficas, alimentando com os dados obtidos de modo a subsidiar ações de prevenção à deslizamentos e monitoramento de encostas.
- Avaliar o monitoramento de encostas utilizando estações totais robotizadas, com controle em tempo real.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. (1994). NBR 13133. Execução de Levantamento Topográfico. Procedimento. Rio de Janeiro. RJ.

ABNT. (1998). NBR 14166. Rede de Referência Cadastral Municipal. Procedimentos. Rio de Janeiro. RJ.

ACEL – Associação Nacional da Operadoras de Celular. (2016). O Sistema de telefonia Celular. Rio de Janeiro. RJ. Disponível em: [http://youtu.be/4oA3Zqm7m\\_Q](http://youtu.be/4oA3Zqm7m_Q).

AHRENDT, A. (2005). Movimentos de Massa Gravitacionais – Proposta de Um Sistema de Previsão: Aplicação na Área Urbana de Campos do Jordão – SP. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. USP. São Paulo.

ALHEIROS, M. M. (1998). Riscos de Escorregamentos na Região Metropolitana do Recife. Tese de Doutorado, UFBA, Salvador - BA.

ALVARADO, L. A. S. (2006). Simulação Bidimensional de Corridas de Detritos Usando o Método de Elementos Discretos. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. PUC-Rio. Rio de Janeiro. Brasil.

ANATEL - Agência Nacional de Telecomunicações. (2015). Disponível em: <http://www.anatel.gov.br/dados/index.php/destaque-1/218-destaque-6>.

AUGUSTO FILHO, O. (1992). Caracterização Geológico-Geotécnica voltada a Estabilização de Encostas: Uma Proposta Metodológica, Conf. Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, 1ª COBRAE, Rio de Janeiro, ABMS/ABGE, v. 2, p. 721-733.

Atlas de Desenvolvimento Humano no Recife (2005). PNUD.

AZAMBUJA, J. L. F., MATSUOKA, M. T. (2007). Topografia e GPS – Conquistas e Desafios. Anais do II Seminário Anual de Pesquisas em Geodésia -UFRGS. Porto Alegre. <[www.ufrgs.br/igeo/departamentos/geodesia/c\\_noticias\\_arquivos/ANAIS\\_IISAPGU.pdf](http://www.ufrgs.br/igeo/departamentos/geodesia/c_noticias_arquivos/ANAIS_IISAPGU.pdf)>

AZEVEDO, G.F. (2015). Sistema de Análise Quantitativa de Risco por Escorregamentos Rasos Deflagrados por Chuvas em Regiões Tropicais. Tese de Doutorado, Publicação G.TD - 107/15, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 254 p.

AZZONI, A.; LA BARBERA, G.; ZANINETTI, A. (1995) Analysis and Prediction of Rockfalls Using a Mathematical Model, Int. J. Rock Mech.Mining Sci., 32, p. 709-724.

BAKUTA, M., PELC-MIECZKOWSKA, R., CHODNICK, B., ROGALA, M., TYSZKO, A. (2008). Initial Results of RTK/OTF Positioning Using The NTRIP Data Teletransmission Technology. Technical Sciences. Num 11. 213-227.

BANDEIRA, A. P. N. (2010). Parâmetros técnicos para gerenciamento de áreas de riscos de escorregamentos de encostas na região metropolitana do Recife. Tese Doutorado. Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2010.

BARBOSA, E. M; MONICO, J. F. G; ALVES, D. B. M; OLIVEIRA. L. C. (2010) Integridade no Posicionamento RTK e RTK em Rede. Boletim de Ciências Geodésicas. Seção Artigos. Curitiba. v. 16, nº 4, p.589-605.

BARBOSA, R. Chinese Long March 3B lofts next Beidou-3 satellite. (2015). Disponível em: <http://www.nasaspaceflight.com/2015/09/chinese-long-march-3b-lofts-next-beidou-3-satellite/>.

BAYRAK, T., EYO, E., BASOGLU, N., MUSA, T., AKPEE, D. (2015). Development of an Alternative Low-Cost Landslide Monitoring Method Using Data From Tusaga-Aktif GNSS Network. Boletim de Ciências Geodésicas. Online version. ISSN 1982-2170. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1982-21702015000300034>.

BENOIT, L., BRIOLE, P., MARTINA, O., THOMAS, C., MALET, J. -P., ULRICH, P. (2015). Monitoring landslide displacements with the Geocube wireless network of low-cost GPS. Engineering Geology.195. 111 – 121.

BEZDEK, A. (2014). MATLAB script for 3D visualizing geodata on a rotating globe: MANUAL. [http://www.asu.cas.cz/~bezdek/vyzkum/rotating\\_3d\\_globe/rotating\\_3d\\_globe/manual.html#gh02](http://www.asu.cas.cz/~bezdek/vyzkum/rotating_3d_globe/rotating_3d_globe/manual.html#gh02).

BLITZKOW, D., ALMEIDA. F. G.V., MATOS., A.C.O.C.(2008). A Forma da Terra – A Evolução no seu Conceito. Série em Geomática. UFRGS, v. 2, p101-109.

BONACHEA, J. & REMONDO, J. & GONZALES-DIEZ, A. & DIAZ DE TERAN, J. R. & CENDRERO, A. (2009). Landslide risk modellin: na experience in northern Spain. Proceedings of the International Conference ‘Landslide Processes’. Strasbourg, France, Chapter 3.259-264.

BRICEÑO, A., MASS I RUBI, L., CIOCE, V., ROVERO, G., BACAICOA, L., WILDERMANN, E., HOYER, M., BARRIOS, M. (2009). GPS NTRIP observations: A new alternative for precise positioning in Venezuela. Revista Técnica Ingeniería Universidade del Zulia. Vol. 32, Nº 3, 200 – 209.

BURITY, E. F. (2014). Vulnerabilidade do Risco de Deslizamento: Uma Abordagem Conceitual. XVII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. Goiânia – GO. Brasil.

CALCATERRA, S., CESI, C., DI MAIO, C., GAMBINO, P., MERLI, K., VALLARIO, M., VASSALO, R. (2012). Surface displacements of two landslides evaluated by GPS and inclinometer systems: a case study in Southern Apennines, Italy. Natural Hazards. 61. 257-266. Springer.

CARVALHO, A. S., SILVA, J. A., DAL POZ, W. R. (2015). Análise Estatística Do Posicionamento Relativo a Partir do AUSPOS. Boletim de Ciências Geodésicas. [Online] Vol.21, n.1, pp. 3-25. ISSN 1982-2170.

CARVALHO, P. R. C. (2003). Estudo das Distorções do Sistema Geodésico de Referência da Região Metropolitana do Recife. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação – PPCGTG. Universidade Federal de Pernambuco. Recife - Pernambuco. Brasil. 112 p.

CHEN, R., WEBER, G. (2004). Test Results of an Internet RTK System Based on the NTRIP Protocol. In: Proceedings of the GNSS 2004 conference, Rotterdam, 16–19.

CINTRA, J. P., NERO, M. A., RODRIGUES, D. (2011). GNSS/NTRIP Service and Technique: Accuracy Tests. Boletim de Ciências Geodésicas. Vol. 17. Num. 2. P 257-271.

CLARO Operadora. (2016).

Disponível em: <http://www.claro.com.br/celular/cobertura/regiao/ddd81/PE/recife/>.

CONDEPE/FIDEM, PREFEITURA DO RECIFE, PNUD (2013). Atlas de Desenvolvimento Humano na Região Metropolitana do Recife. <[www.atlasbrasil.org.br](http://www.atlasbrasil.org.br)>.

CONDEPE/FIDEM. (2003) Programa Viva O Morro Diagnóstico Ambiental, Urbanístico e Social dos Morros Região Metropolitana Do Recife Relatório Final.

COSTA, S.M.A; LIMA, M. A. A; MOURA JUNIOR, N. J; ABREU, M. A; DA SILVA, A. L; FORTES, L. P. S. (2008). RBMC em Tempo Real, via NTRIP, e seus benefícios nos levantamentos RTK E DGPS. Anais do III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. UFPE. Recife.

COSTA, S. M. A., SILVA, A. L., LIMA, M. A. A., MOURA JR, QUIRINO, R. A., ALONSO, P. R. (2013). Avaliação do Serviço RBMC-IP nos Levantamentos em Tempo Real. VIII Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas.

COUTINHO, R. Q.(2016). Monitoramento de Áreas de Riscos e Geotecnologias Aplicadas. IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife. PE. Brasil.

CPRM (2016). Setorização de Riscos Geológicos. <http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Geologia-de-Engenharia-e-Riscos-Geologicos/Setorizacao-de-Riscos-Geologicos-4138.html>

CRUDEN, D.M. & VARNES, D.J. (1996). Landslide types and processes. Landslides: Investigation and Mitigation, A.K. Turner & R.L. Schuster (eds.), National Academy Press, Washington D.C., USA, pp. 36-75.

CSNO - China Satellite Navigation Office. (2013). Beidou Navigation Satellite System. Signal In Space. Nterface Control Document. Open Service Signal. V 2.0.

CSNO - China Satellite Navigation Office. (2013). Report on the Development of BeiDou Navigation Satellite System. (V 2.2).

CSNO - China Satellite Navigation Office. (2015). Development of BeiDou Navigation Satellite System. Workshop on the applications of Global Navigation Satellite Systems Krasnoyarsk. Russian Federation.

CUANALO, O., BERNAL, E., POLANCO, G. (2014). Geotechnical stability analysis, fragility of structures and velocity of movement to assess landslides vulnerability. Nature. Hazards Earth System. Science. Discussion., 2, 5689–5720.

DAI FC, LEE CF, NGAI YY (2002) Landslide risk assessment and management: an overview. Eng Geol 64:65–87.

DALAZOANA, R. (2001). Implicações na Cartografia com a Evolução do Sistema Geodésico Brasileiro e Futura Adoção do SIRGAS. Dissertação de Mestrado. UFPR. Curitiba-PR.

DAMMALAGE, T. L.; SRINUANDEE, P; SAMARAKOON, L.; SUSAKI, J; SRISAHAKIT, T. (2004). Potential Accuracy and Practical Benefits of NTRIP Protocol Over Conventional RTK and DGPS Observation Methods. Disponível em: <http://geospatialworld.net/Paper/Technology/ArticleView.aspx?aid=1883>.

DAMMALAGE, T. L.; SRINUANDEE, P; SAMARAKOON, L.; SUSAKI, J; SRISAHAKIT, T. (2011). Potential Accuracy and Practical Benefits of NTRIP Protocol Over Conventional RTK and DGPS Observation Methods. <[http://gisdevelopment.net/technology/gps/ma06\\_102.htm](http://gisdevelopment.net/technology/gps/ma06_102.htm)>.

DAS, I. C. (2011). Spatial Statistical Modelling for Assessing Landslide Hazard and Vulnerability. Dissertation of Master number 192. University of Twente. ITC. Netherlands.

DoD. Department of Defense. (2015). Global Positioning System (GPS) and related topics. <[www.gps.gov](http://www.gps.gov)>.

EC-EUROPEAN COMMISSION. (2015). [http://ec.europa.eu/growth/sectors/space/galileo/history/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/growth/sectors/space/galileo/history/index_en.htm).

ENSURE Project. (2009). WP 1: State-of-the art on vulnerability types. Del. 1.1.1: Methodologies to assess vulnerability of structural Systems. European Commission. <http://www.ensureproject.eu>.

ESA. European Space Agency. (2005). Disponível em: [http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2005/04/Each\\_Galileo\\_satellite\\_will\\_broadcast\\_10\\_different\\_navigation\\_signals](http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2005/04/Each_Galileo_satellite_will_broadcast_10_different_navigation_signals).

ESA. European Space Agency. (2014). Disponível em: [http://www.esa.int/Our\\_Activities/Navigation](http://www.esa.int/Our_Activities/Navigation).

ESA. EUROPEAN SPACE AGENCY. (2015). Disponível em: [http://www.esa.int/Our\\_Activities/Navigation/The\\_future\\_-\\_Galileo/What\\_is\\_Galileo](http://www.esa.int/Our_Activities/Navigation/The_future_-_Galileo/What_is_Galileo).

ESA-P Carril. (2014). Disponível em: [http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2014/07/30-satellite\\_Galileo\\_constellation](http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2014/07/30-satellite_Galileo_constellation).

- FAZAN, J. A. (2011). NTRIP: A Real-Time Wide Area DGPS System. *Latim America Geoespatial Forum*. Rio de Janeiro.
- FELL, R., HARTFORD, D. (1997). Landslide risk management. In: Cruden, D.M., Fell, R. (Eds.) *Landslide risk assessment — Proceedings of the International Workshop on Landslide Risk Assessment*, Honolulu, 19–21 February 1997. Balkema, Rotterdam, pp. 51–109.
- FHWA (1993) *Rockfall Hazard Rating System*, Publication No FHWA SA-93-057, Federal Highway Administration, Washington, 113 p.
- FRANÇA, R. M. (2016). *Topografia do Futuro: Técnicas Processos e Desafios Cursos MundoGeoConnect*. São Paulo. Brasil.
- GANAPATHY, G. P., RAJAWAT, A. S. (2015). Use of hazard and vulnerability maps for landslide planning scenarios: a case study of the Nilgiris, India. *Nature Hazards*. 77:305–316.
- GARNÉS, S. J. A. (2016). *Software AstGeoTop. Módulos: Cadastro, Geodesia e Topografia*.
- GARNÉS, S. J. A., SIQUEIRA, V. P., CACHO, J. P. (2005). Definição para Implantação do Sistema Topográfico Local de Campo Grande – MS e Análise das Fórmulas da NBR 14.166. *Anais do IV Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas*. Curitiba. – PR. Brasil.
- GARNÉS, S. J. A. (1998). *Sistema de Projeção e Orientação das Plantas Topográficas*. Anais do Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. UFSC. Florianópolis – SC. Brasil.
- GARRIDO M. S., GIMÉNEZ, E., RAMOS, M.I., GIL, A.J. (2013). A high spatio-temporal methodology for monitoring dunes morphology based on precise GPS-NRTK profiles: Test-case of Dune of Mónsul on the south-east Spanish coastline. *Aeolian Research*. 8 (75-84). Elsevier.
- GARTNER, Research Methodologies. (2016). Gartner Hype Cycle. Disponível em: <http://www.gartner.com/technology/research/methodologies/hype-cycle.jsp>.
- GEMAEL, C. (1999). *Introdução à Geodésia Física*. Editora UFPR. Curitiba. PR.
- GEMAEL, C. (2004). *Introdução ao Ajustamento das Observações: aplicações geodésicas*. Curitiba. PR. Brasil. Editora UFPR. 319p.
- GILI, J. A., COROMINAS, J., RIUS, J. (2000). Using Global Positioning System techniques in landslide monitoring. *Engineering Geology* 55. 167-192.
- GIRTY, G. H. (2009). *Perilous Earth: Understanding Processes Behind Natural Disasters*. V. 1.0. Department of Geological Sciences. San Diego State University. California. USA.
- GLADE T, CROZIER MJ (2005) The nature of landslide hazard and impact. In: Glade T, Anderson MG, Crozier MJ (eds) *Landslide hazard and risk*. Wiley, Chichester, p. 43–74.

GLONASS/GNSS FORUM. (2015). Association «GLONASS/GNSS-Forum. Disponível em: <http://www.aggf.ru>.

GODOIS, J. V. S. (2011). Estudo do Comportamento de um Escorregamento Ativo na Serra da Cantareira – SP. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 118 p.

GOMES, J. H., PRADO, R. J., SILVA, L. F., RODRIGUES do Ó, J. P. A., (2012). O Clima como Fator para a Ocorrência de Deslizamentos de Massa na Cidade do Recife – PE. 64ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência – SBPC. UFMA. São Luis. Maranhão. Brasil.

GPS World. (2015). Next-generation GLONASS-K2 won't launch until 2017 at earliest.

GPS World. (2015). Next-to-Last GPS IIF Satellite Launched into Orbit. Disponível em: <http://gpsworld.com/next-to-last-gps-iif-satellite-launched-into-orbit/>.

GPS.GOV. (2015) Official U.S. Government information about the Global Positioning System (GPS) and related topics. Disponível em: <http://www.gps.gov/>.

GUANDALINI, M. (2012). Análise Metodológica do Posicionamento Relativo Através do GNSS e suas Aplicações na Engenharia: Uso da Técnica RTK/GSM. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. Brasil.

GUEDES, L. C. S, VASCONCELOS, R. R. (2009). UMTS, HSPA, LTE. UFRJ. Disponível em: [http://www.gta.ufrj.br/grad/09\\_1/versao-final/umts/umts.html](http://www.gta.ufrj.br/grad/09_1/versao-final/umts/umts.html).

GUIMARÃES SILVA, M. T. M. (2015). Avaliação Quantitativa da Vulnerabilidade de Edificações Associada a Processos de Deslizamentos de Encostas; Tese de Doutorado, Publicação G.TD - 113/15, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 105 p.

GALLI, M., GUZZETTI, F. (2007). Landslide vulnerability criteria: a case study from Umbria, Central Italy. *Environ Manage* 40:649–664.

HEIM, A. (1932). *Bergsturz und Menschenleben (Landslides and Human Lives)*. Translated by N. Skermer. Vancouver: Bitech Press.

HEINE, G. (1999). *GSM Network: Protocols, Terminology and Implementation*. 1999. Artech House. Norwood, MA.

HEINIMANN, H.R., 1999. Risikoanalyse bei gravitativen Naturgefahren - Fallbeispiele und Daten. *Umwelt-Materialen* 107/I, Bern.

HORNISH, A. (2013). National Air and Space Museum, Smithsonian Institution. Disponível em: <https://timeandnavigation.si.edu/multimedia-asset/map-of-satellite-systems>.

HUTCHINSON, J. N. (1988). General Report Morphological and Geotechnical Parameters of Landslides in Relation to Geology and Hidrology. In *Internacional Symposium on Landslides*, 5. Lausanne. Resumos. Rotterdam. Balkerna. p 3-29.

HWANG, J., YUN, H., SUH, Y., CHO, J., LEE, D. (2012). Development of an RTK-GPS Positioning Application with an Improved Position Error Model for Smartphones. *Sensors*. N° 12. 12988-13001

IAEG (1990). Suggested Nomenclature for Landslides. Bulletin N° 41, International Association of Engineering Geology, Paris, França, 4 p.

IBGE. Censo Demográfico (2010). Aglomerados Subnormais - primeiros resultados.

IBGE. (2008). Recomendações para Levantamentos Relativos Estáticos – GPS.

IBGE. (2009). A Abordagem sobre os Aglomerados Subnormais no censo Demográfico 2010. Documento Interno.

IBGE. (2011). Sistemas de Referência. Disponível em: [http://geoftp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/sisref\\_2.pdf](http://geoftp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/sisref_2.pdf).

IBGE. (2014). Censo Demográfico, 2010. Resultados do Universo: Características da População e Domicílios. Disponível em: [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br).

IBGE. (2016). RMBC. [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br).

IGS. Internacional GNSS Service. (2015). MGEX. Disponível em: <http://igs.org/mgex/status-BDS>.

INFANTI JUNIOR, N., FORNASARI FILHO, N. (1998). Processos de Dinâmica Superficial. In: OLIVEIRA, A.M.S. & BRITO, S.N.A. Ed. Geologia de Engenharia. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), 1998. cap. 9, p.131-152.

JACOB, P. (2011). A Tragédia das Águas. Matéria Online. *Jornal Extra/Globo*. Teresópolis. Rio de Janeiro. RJ.

KANNAN, M., SARANATHAN, E., ANABALAGAN, R (2013). Landslide vulnerability mapping using frequency ratio model: a geospatial approach in Bodi-Bodimettu Ghat section, Theni district, Tamil Nadu, India. *Arab. Journal Geoscience*.6:2901–2913. Springer.

KAYNIA, A.M., PAPATHOMA-KÖHLE, M., NEUHÄUSER, B. & RATZINGER, K. & WENZEL, H. & MEDINA-CETINA, Z. (2008). Probabilistic assessment of vulnerability to landslide: Application to the village of Lichtenstein, Baden-Württemberg, Germany, *Eng. Geol.*, 101(1-2): 33-48.

KUROSE, F. J.; ROSS, K. W. (2006). Rede de Computadores e a Internet, Uma abordagem topdown. 3ª Edição, ISBN: 8588639181.

LANGLEY, R. (2015). Upcoming GNSS Satellite Launches. *GPS World On line*. November. Disponível em: <http://gpsworld.com/resources/upcoming-gnss-satellite-launches/>.

LANGLEY, R. (1998). RTK GPS. *GPS World*, p 70-6.

LENZ, E. (2004). – Networked Transport of RTCM via Internet Protocol (NTRIP) – Application and Benefit in Modern Surveying Systems. In FIG Working Week, Athens, Greece. Proceedings.

LI, Z., NADIM, F., HUANG, H., UZIELLI, M., LACASSE, S. (2010). Quantitative vulnerability estimation for scenario-based landslide hazards. *Landslides*. 7:125–134. © Springer-Verlag.

LOCKHEED MARTIN COMPANY. (2015).  
<<http://www.lockheedmartin.com/us/products/gps.html>>.

MALET, J. P., MAQUAIRE, O., CALAIS, E. (2002). The use of Global Positioning System techniques for the continuous monitoring of landslides: application to the Super-Sauze earthflow (Alpes-de-Haute-Provence, France). *Geomorphology*. Elsevier. 43. 33-54.

MARQUES, H.A. PPP em Tempo Real com Estimativa das Correções dos Relógios dos Satélites no Contexto de Rede GNSS. Tese de Doutorado. UNESP. Presidente Prudente. SP. 2012.

MELO NETO, M. V. (2005). Classificação e Caracterização Geotécnica de Dois Movimentos de Massa no Estado de Pernambuco. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil. CTG -Universidade Federal de Pernambuco. Recife. PE.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. (2004) Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas: Guia para Elaboração de Políticas Municipais, organizado por Celso Santos Carvalho e Thiago Galvão. Brasília.

MONICO, J. F. G. (2008). Posicionamento pelo GNSS. Descrição, fundamentos e aplicações. 2ª edição. Editora Unesp. São Paulo. Brasil.

MONICO, J. F. G. (2010). Pseudodistância e Fase da Onda Portadora. *Revista Eletrônica MundoGeo*. Disponível em: [www.mundogeo.com/blog/2010/05/5/pseudodistancia-e-fase-da-onda-portadora](http://www.mundogeo.com/blog/2010/05/5/pseudodistancia-e-fase-da-onda-portadora).

MOREIRA, A. L. L. (2011). Precisão do Posicionamento RTK Usando Correções Diferenciais Transmitidas pelo Sistema NTRIP (RBMC-IP). Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria. Programa de Pós-graduação em Geomática. Santa Maria. RS. Brasil.

MOTA, T. A. (2009). Redes 3G e evolução para as Redes 4G. Tutorial. *Teleco - Inteligência em Telecomunicações*. FiTec – Inovações Tecnológicas. Disponível em: <http://www.teleco.com.br/pdfs/tutoriale4g.pdf>.

NIS GLONASS. (2015). History of GLONASS development. National Navigation Services Provider. Disponível em: [http://www.nis-glonass.ru/en/glonass/development\\_history/](http://www.nis-glonass.ru/en/glonass/development_history/)>.

NOVOTNÝ, J. (2013). Varnes Landslide Classification (1978). Presentation. Charles University in Prague, Faculty of Science, Czech Republic ARCADIS CZ a.s., division Geotechnika, Czech Republic. Disponível em:

<[http://www.ukgeohazards.info/pages/eng\\_geol/landslide\\_geohazard/eng\\_geol\\_landslides\\_classification.htm](http://www.ukgeohazards.info/pages/eng_geol/landslide_geohazard/eng_geol_landslides_classification.htm)>.

NUNES, A. L. L. S. (2013). Convivência com Rupturas – Barreiras contra Quedas de Bloco. Anais da VI Conferência Brasileira de Encostas – COBRAE 2013. Angra dos Reis. Rio de Janeiro. Brasil.

OLEYNIK, E. (2011). GLONASS Status and Modernization. United Nations International Meeting on the Applications of Global Navigation Satellite Systems. Vienna. Austria.

OLIVEIRA, G. D. (2014). Posicionamento Relativo em Tempo Real e Pós-Processado Utilizando Microrreceptor GNSS Usado em Smartphone. Dissertação de Mestrado. UFV. Minas Gerais. Brasil.

ORTIGÃO, J. A. R., SAYÃO, A. S. F. J. (2004). Landslide Classification and Risk Management. Handbook of Slope Stabilisation. Springer – Verlag. 540p (27-66). Berlin. Heidelberg. Alemanha.

PAESE, C. P. M., WERLICH, R. M. C., KRUEGER, C. P., GARNÉS, S. J. A. (2014). Aplicação de Estrutura Geodésica no Monitoramento de Área de Escorregamento de Terra. Anais do V Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife. Pernambuco, Brasil.

PASCALE, S., SDAO, F., SOLE, A. (2010). *A model for assessing the systemic vulnerability in landslide prone areas*. Natural Hazards and Earth System Science, 10, 1575–1590.

PCR. (2016). Prefeitura da Cidade do Recife.

PEREIRA, A. R. A., SILVA, T. F. (2012). Monitoramento Geodésico de uma Encosta em Processo de Deslizamento de Terra. Anais do IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife. Pernambuco, Brasil. p.001-009.

PIVARO, G. F. (2008). Redução da Taxa de Queda de Chamada em Rede Celular GSM por Meio de Ajustes dos Parâmetros de Cobertura. Dissertação de Mestrado. São Carlos. USP.

PMRR (2006). PLANO Municipal de Redução do Risco. Relatório Parcial Mapeamento de Risco. Geosistemas Engenharia e Planejamento Ltda.

PNT. The National Executive Committee for Space-Based Positioning, Navigation, and Timing. EUA. (2015). Disponível em: <<http://www.gps.gov/governance/excom/nco/>>.

PNUD, IPEA e Fundação João Pinheiro. (2011) Atlas do Desenvolvimento Humano no Recife. Disponível em [www.atlasbrasil.org.br](http://www.atlasbrasil.org.br).

POLANCO, L. S. E. (2010). Correlações Empíricas para Fluxos de Detritos. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil - COPPE-UFRJ. Rio de Janeiro. Brasil.

POLEZEL. W.G.C. (2010). Investigações sobre o Impacto da Modernização do GNSS no posicionamento. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciências

Cartográficas. Faculdade de Ciência e Tecnologia. UNESP. Presidente Prudente. São Paulo. Brasil.

PRADO, A; KRUEGER, C. P. (2003). Análise da Acurácia nos Posicionamentos Diferenciais Aplicando as Técnicas DGPS e RTK. Revista Brasileira de Cartografia N° 55/01.

PRIETO, A. M. (2007). Ntrip Herramienta Indispensable para La Cartografia y el Catastro. II Jornadas Nacionales de Geomática. MECINCA. Caracas-Venezuela, 2007.

RAGOZIN, A.L., TIKHVINSKY, I.O., (2000). Landslide hazard, vulnerability and risk assessment. In: Bromhead, E., Dixon, N., Ibsen, M.-L. (Eds.), Landslides. In: Research, Theory and Practice. Proceedings of the 8th International Symposium on Landslides, Cardiff, 26–30 June 2000, pp. 1257–1262.

REMONDO, J. & BONACHEA, J. & CENDRER, A. 2008. Quantitative landslide risk assessment and mapping on the basis of recent occurrences. *Geomorphology* 94:496–507.

RICON DEL VAGO. (2015). GLONASS (Global Navigation Satellite System). Disponível em: <[www.rincondelvago.com/glonass.html](http://www.rincondelvago.com/glonass.html)>.

RITCHIE, A.M. (1963). Evaluation of Rockfall and its Control, Highway Res. Record, USA, 17, p. 13-28.

RTCM Recommended Standards For Differential GNSS (Global Navigation Satellite Systems Service) – Version 3.0. Comitê Especial RTCM N° 104, 2004.

SAMPAIO, T. Q., PIMENTEL, J., SILVA, C. R., MOREIRA, H. F. (2013). A Atuação do Serviço Geológico do Brasil – CPRM na Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais. VI Congresso de Gestão Pública. Brasília. DF. Brasil.

SANDRONI, S.S., SAYÃO, A.S.F.J. (1992) Avaliação estatística do coeficiente de segurança de taludes. 1ª Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, COBRAE, vol. 2, 523-536.

SANTOS, R. D. L. (2008). Redes GSM, GPRS, EDGE e UMTS. Redes de Computadores II.UFRJ.

SEDEC Recife. SECRETARIA-EXECUTIVA DE DEFESA CIVIL (2013). Tabelas de Deslizamento 2013.

SEDEC Recife. SECRETARIA-EXECUTIVA DE DEFESA CIVIL (2015). Tabela de Ocorrências Anuais- TOA.

SEEBER, G. (2003). Sattelite Geodesy: foundations, methods, and applications. Berlin; New York: de Gruiter.

SEIDEL, E. (2008). Progress on "LTE Advanced" - the new 4G standard. Disponível em: [http://www.nomor.de/root/downloads/white-paper/lteadvanced\\_2008-07.pdf](http://www.nomor.de/root/downloads/white-paper/lteadvanced_2008-07.pdf).

SEIXAS, A., BURITY, E. F. (2005). Geodésia Aplicada à Medição e ao Monitoramento de Áreas de Risco em Sítios Industrializados. Anais do IV Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas. Curitiba - PR. Brasil.

SILVA JÚNIOR, A. L. M., SILVA, M. V. (2014). Levantamento Tridimensional de Áreas de Risco Utilizando Técnicas de Perfilamento a Laser: Município de Recife/PE-Brasil. Anais do XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia, V Congresso Brasileiro de Geoprocessamento e XXV Exposicarta. Gramado – RS. Brasil.

SILVA, M. M.; COUTINHO, R. Q.; LACERDA, W. A. (2006). Caracterização geotécnica de uma encosta em processo de movimento de massa em solo residual de granito e formação barreiras no município de Camaragibe – PE. XIII COBRAMSEG – Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. Curitiba, Paraná. Brasil, 2006, Vol. 4. pp. 2267-2272.

SOUZA, A. N. (2013). Avaliação das Coordenadas GNSS Obtidas Pelo Posicionamento Cinemático RTK/NTRIP e PPP. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.

SOUZA, A. N., GARNÉS, S. J. A., MARQUES, H. A. (2014). Avaliação do Posicionamento GNSS Obtido pelos Métodos Cinemático RTK/NTRIP e PPP em Tempo Real. Revista Brasileira de Cartografia. N° 66/5: 1117-1133.

SOUZA, W. O. (2012). Aplicação de Métodos para Determinação do Desvio da Vertical na Integração de Posicionamento GNSS com Levantamentos Topográficos. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. UFPE. Recife – PE. Brasil.

TELEBRASIL. Associação Brasileira de Telecomunicações (2016). Estações Rádio Base (ERB). <http://www.telebrasil.org.br/panorama-do-setor/mapa-de-erbs-antenas>.

THE ALMANAC. (2015). GPS World. <http://www.gpsworld.com>.

The INTERNATIONAL STANDARDIZATION FOR ORGANIZATION. 2009. ISO 3100:2009 Risk management – Principles and guidelines. [www.iso.org](http://www.iso.org). Switzerland.

THOURET, J.C., ETTINGER, S., GUITTON, M., SANTONI, O., MAGILL, C., MARTELLI, K., ZUCCARO, G., REVILLA, V., CHARCA, J. A., ARGUEDAS, A. (2014). Assessing physical vulnerability in large cities exposed to flash floods and debris flows: the case of Arequipa (Peru). Nature Hazards . 73:1771–1815. Springer.

TIERRA, A., SILVA, O., LEIVA, C. (2015). Correcciones Diferenciales vía NTRIP para Dispositivo Móvil com Aplicación Android. Boletim de Ciências Geodésicas. N° 21. 43-55.

UMTS Evolution. (2008). From 3GPP release 7 to release 8. HSPA and SAE/LTE. Update – 3G Americas.

UMTS Forum White Paper. (2005). HSPA: High Speed Wireless Broadband - From HSDPA to HSUPA and Beyond. Disponível em: <[http://www.umts-forum.org/component/option,com\\_docman/task,doc\\_download/gid,1632/Itemid,12/](http://www.umts-forum.org/component/option,com_docman/task,doc_download/gid,1632/Itemid,12/)>.

UMTS Forum White Paper. (2005). 3G/UMTS - Towards Mobile Broadband and Personal Internet. 2005. Disponível em: <[http://www.umtsforum.org/component/option,com\\_docman/task,doc\\_download/gid,1631/Itemid,12/](http://www.umtsforum.org/component/option,com_docman/task,doc_download/gid,1631/Itemid,12/)>.

UNITED STATES COAST GUARD. NAVIGATION CENTER. U. S. DEPARTMENT OF HOMELAND SECURITY. (2015). Disponível em: <<http://www.navcen.uscg.gov>>.

URADZINSKI, MARCIN, KIM, DON, LANGLEY, RICHARD B. (2008). The Usefulness of Internet-based (NTRIP) RTK for Navigation and Intelligent Transportation Systems, Proceedings of the 21st International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS 2008), Savannah, GA, September 2008, pp. 1437-1445.

USA AIR FORCE. (2015). <http://www.schriever.af.mil/shared/media/ggallery/hires/AFG-100225-014.jpg>.

USGS. (2004). Landslide Types and Processes. US Geological Survey, U.S. Department of the Interior. <http://pubs.usgs.gov/fs/2002/3072>.

UZIELLI, M., NADIM, F., LACASSE, S., KAYNIA, A. M. (2008). A conceptual framework for quantitative estimation of physical vulnerability to landslides. Eng Geol 102:251–256.

VANÍČEK, P. (2001). An Online Tutorial in Geodesy. University of New Brunswick GeodesyGroup.

VANÍČEK, P., KRAKIWSKY, E.J. (1986). Geodesy: the concepts, 2nd edition. North Holland, Amsterdam.

VANICEK, P. Geodesy.(2001) Tutorial Online. University of New Brunswick. GeodesyGroup, <http://einstein.gge.unb.ca>

VARNES, D. J. (1958). Landslide Types and Processes, Eckel E.B. ed, Landslides and Engineering Practice, Highway Research Board and Special Report 29, NAS-NRC Publication 544, Washington, p. 20-47.

VARNES, D. J. (1978). Slope movement types and processes. In: Special Report 176: Landslides: Analysis and Control. Eds: Schuster, R. L. & Krizek, R. J. Transportation and Road Research Board, National Academy of Science, Washington D. C., 11-33.

VICTOR, K. (2015). Global Navigation Satellite System (GLONASS): Status and Development. Workshop on the applications of Global Navigation Satellite Systems. Krasnoyarsk. Russian Federation.

WEBER, G., GEBARD, H., DETTMERING, D. (2005). Networked Transport of RTCM via Internet Protocol (NTRIP), in: “A Window on the Future of Geodesy”, Proceedings of the International Association of Geodesy. IAG General Assembly, Sapporo, Japan June 30 - July 11, 2003. Series: International Association of Geodesy Symposia, Vol. 128, Sanso, F. (Ed.).

WISE, M., MOORE, G., VAN DINE, D. (2004). Landslide risk case studies in forest development planning and operations. B.C. Min. For., Res. Br., Victoria, B.C. Land Manage. Handb. No. 56.

WP-WLI. (1993). Multilingual Landslide Glossary. In Working Party on World Landslide Inventory. Ed. International Geotechnical Societies. Canada. Disponível em: [www.cgs.ca/pdf/heritage/Landslide%20Glossary.pdf](http://www.cgs.ca/pdf/heritage/Landslide%20Glossary.pdf).

XIAO, R., HE, X. (2013). Real-time landslide monitoring of Pubugou hydropower resettlement zone using continuous GPS. *Nat Hazards* (2013) 69:1647–1660.

## **APENDICE A**

**RESULTADOS DO  
LEVANTAMENTO GNSS RTK-NTRIP**

**Tabela 1: Resultados do levantamento GNSS RTK-NTRIP, na 2ª Travessa da Rua Doradinha – Alto do Eucalipto – Vasco da Gama, Recife - PE - Brasil. Estação Base de Referência: RBMC-IP-RECF. Data: 02/10/2013.**

POSICIONAMENTO RTK / NTRIP										Data e Tempo de início	Duração
ID do ponto	Coordenadas (m) - UTM - SIRGAS2000			Desvio Padrão (m)			Precisão (m)		Tipo de Solução		
	N	E	h	Std Dev N	Std Dev E	Std Dev h	Horizontal	Vertical			
2TDOUR	9114545,649	288508,261	45,845	0,005	0,004	0,01	0,006	0,01	Fixa - Dif de Fase	02/10/2013 14:42:56	00:00:02
2TDOUR1	9114552,113	288505,596	51,024	0,005	0,004	0,008	0,006	0,008	Fixa - Dif de Fase	02/10/2013 14:43:32	00:00:02
2TDOUR2	9114552,461	288508,787	50,886	0,005	0,004	0,008	0,006	0,008	Fixa - Dif de Fase	02/10/2013 14:43:50	00:00:02
2TDOUR3	9114553,768	288509,635	50,926	0,004	0,004	0,008	0,006	0,008	Fixa - Dif de Fase	02/10/2013 14:44:01	00:00:02
2TDOUR4	9114554,42	288509,665	51,203	0,005	0,005	0,009	0,007	0,009	Fixa - Dif de Fase	02/10/2013 14:44:10	00:00:02
2TDOUR5	9114555,352	288511,72	51,006	0,004	0,004	0,008	0,005	0,008	Fixa - Dif de Fase	02/10/2013 14:44:22	00:00:02
2TDOUR6	9114554,882	288513,183	49,98	0,004	0,004	0,009	0,006	0,009	Fixa - Dif de Fase	02/10/2013 14:44:36	00:00:02
2TDOUR7	9114557,38	288514,038	50,994	0,004	0,004	0,009	0,005	0,009	Fixa - Dif de Fase	02/10/2013 14:44:48	00:00:02
2TDOUR8	9114557,997	288513,718	51,028	0,004	0,004	0,009	0,005	0,009	Fixa - Dif de Fase	02/10/2013 14:44:56	00:00:02
2TDOUR9	9114552,726	288504,374	50,999	0,015	0,012	0,025	0,02	0,025	Fixa - Dif de Fase	02/10/2013 14:45:19	00:00:02
2TDOUR10	9114548,981	288511,764	46,331	0,005	0,004	0,009	0,007	0,009	Fixa - Dif de Fase	02/10/2013 14:48:16	00:00:02
2TDOUR11	9114549,971	288510,089	47,375	0,005	0,004	0,009	0,007	0,009	Fixa - Dif de Fase	02/10/2013 14:49:12	00:00:02
2TDOUR12	9114551,104	288510,041	47,721	0,005	0,005	0,01	0,007	0,01	Fixa - Dif de Fase	02/10/2013 14:49:30	00:00:02
2TDOUR13	9114552,182	288511,152	47,628	0,004	0,004	0,008	0,005	0,008	Fixa - Dif de Fase	02/10/2013 14:49:53	00:00:02
2TDOUR14	9114553,224	288510,946	48,534	0,004	0,004	0,008	0,006	0,008	Fixa - Dif de Fase	02/10/2013 14:50:11	00:00:02
2TDOUR15	9114553,577	288512,004	48,398	0,004	0,004	0,008	0,005	0,008	Fixa - Dif de Fase	02/10/2013 14:50:26	00:00:02
2TDOUR16	9114553,657	288513,104	48,544	0,004	0,004	0,008	0,005	0,008	Fixa - Dif de Fase	02/10/2013 14:50:37	00:00:02
2TDOUR17	9114552,559	288513,831	47,059	0,004	0,004	0,008	0,005	0,008	Fixa - Dif de Fase	02/10/2013 14:50:48	00:00:02
2TDOUR18	9114551,558	288514,805	46,25	0,004	0,004	0,009	0,006	0,009	Fixa - Dif de Fase	02/10/2013 14:50:58	00:00:02
2TDOUR19	9114550,142	288513,436	45,823	0,004	0,004	0,009	0,006	0,009	Fixa - Dif de Fase	02/10/2013 14:51:16	00:00:02
2TDOUR20	9114546,48	288509,729	45,761	0,004	0,004	0,009	0,006	0,009	Fixa - Dif de Fase	02/10/2013 14:54:04	00:00:02

**Tabela 2: Resultados do levantamento GNSS RTK-NTRIP, na 3ª Travessa Damolândia – Córrego da Areia – Nova Descoberta - PE - Brasil. Estação Base de Referência: RBMC-IP-RECF RECF. Data: 02/10/2013.**

ID do ponto	POSICIONAMENTO RTK / NTRIP									Tempo inicial
	Coordenadas (m) - UTM - SIRGAS2000			Desvio Padrão (m)			PRECISÃO (m)		Tipo de Solução	
	N	E	h	Std Dev N	Std Dev E	Std Dev h	Horizontal	Vertical		
P1	9114990,207	287627,445	45,556	0,005	0,005	0,01	0,007	0,010	Fixa, Dif. de Fase	02/10/2013 16:00:07
P2	9114985,12	287625,365	45,551	0,006	0,006	0,012	0,008	0,012	Fixa, Dif. de Fase	02/10/2013 16:00:27
P3	9114986,13	287622,069	47,81	0,006	0,006	0,012	0,009	0,012	Fixa, Dif. de Fase	02/10/2013 16:00:53
P4	9114990,251	287623,448	47,847	0,005	0,008	0,014	0,01	0,014	Fixa, Dif. de Fase	02/10/2013 16:01:34
P5	9114990,964	287624,371	47,822	0,005	0,007	0,013	0,008	0,013	Fixa, Dif. de Fase	02/10/2013 16:01:46
P6	9114991,844	287623,84	47,805	0,003	0,004	0,008	0,005	0,008	Fixa, Dif. de Fase	02/10/2013 16:02:34
P7	9114993,579	287624,26	47,9	0,003	0,003	0,008	0,005	0,008	Fixa, Dif. de Fase	02/10/2013 16:02:43
P8	9114995,918	287625,157	48	0,004	0,004	0,009	0,005	0,009	Fixa, Dif. de Fase	02/10/2013 16:02:53
P9	9114997,693	287626,543	47,751	0,003	0,005	0,009	0,006	0,009	Fixa, Dif. de Fase	02/10/2013 16:03:03
P10	9114999,931	287619,703	48,531	0,006	0,006	0,012	0,008	0,012	Fixa, Dif. de Fase	02/10/2013 16:03:19
P11	9114999,125	287628,047	46,993	0,005	0,005	0,013	0,008	0,013	Fixa, Dif. de Fase	02/10/2013 16:04:16
P12	9115001,835	287630,45	46,851	0,005	0,005	0,011	0,007	0,011	Fixa, Dif. de Fase	02/10/2013 16:04:27
P13	9115002,838	287631,637	46,693	0,006	0,007	0,013	0,009	0,013	Fixa, Dif. de Fase	02/10/2013 16:04:35
P14	9115005,753	287631,745	46,836	0,006	0,005	0,013	0,008	0,013	Fixa, Dif. de Fase	02/10/2013 16:04:43
P15	9115002,333	287628,462	47,153	0,005	0,005	0,011	0,007	0,011	Fixa, Dif. de Fase	02/10/2013 16:04:59
P16	9115005,773	287629,26	47,191	0,005	0,005	0,012	0,008	0,012	Fixa, Dif. de Fase	02/10/2013 16:05:10
P17	9115005,572	287630,467	47,051	0,005	0,005	0,012	0,007	0,012	Fixa, Dif. de Fase	02/10/2013 16:05:20
P18	9115013,68	287632,559	46,998	0,007	0,008	0,017	0,011	0,017	Fixa, Dif. de Fase	02/10/2013 16:05:41
P19	9115005,688	287632,006	47,081	0,005	0,004	0,011	0,006	0,011	Fixa, Dif. de Fase	02/10/2013 16:05:59
P20	9115008,03	287633,161	47,041	0,005	0,004	0,011	0,006	0,011	Fixa, Dif. de Fase	02/10/2013 16:06:08
P21	9115008,634	287634,728	46,237	0,004	0,004	0,011	0,006	0,011	Fixa, Dif. de Fase	02/10/2013 16:06:17
P22	9115010,818	287634,237	46,955	0,005	0,004	0,012	0,006	0,012	Fixa, Dif. de Fase	02/10/2013 16:06:28
P23	9115013,841	287634,338	46,974	0,005	0,005	0,011	0,007	0,011	Fixa, Dif. de Fase	02/10/2013 16:06:40
P24	9115016,846	287634,709	46,501	0,005	0,004	0,01	0,006	0,010	Fixa, Dif. de Fase	02/10/2013 16:07:00
P25	9115017,106	287635,116	46,465	0,004	0,004	0,01	0,006	0,010	Fixa, Dif. de Fase	02/10/2013 16:07:10
P26	9115017,6	287637,793	44,665	0,005	0,004	0,012	0,006	0,012	Fixa, Dif. de Fase	02/10/2013 16:07:26
P27	9115019,925	287639,679	43,729	0,004	0,005	0,01	0,007	0,010	Fixa, Dif. de Fase	02/10/2013 16:08:10
P28	9115016,71	287636,49	44,11	0,006	0,007	0,014	0,009	0,014	Fixa, Dif. de Fase	02/10/2013 16:08:56
P29	9115017,063	287638,105	42,943	0,005	0,006	0,011	0,008	0,011	Fixa, Dif. de Fase	02/10/2013 16:09:10

ID do ponto	POSICIONAMENTO RTK / NTRIP									Tempo inicial
	Coordenadas (m) - UTM - SIRGAS2000			Desvio Padrão (m)			PRECISÃO (m)		Tipo de Solução	
	N	E	h	Std Dev N	Std Dev E	Std Dev h	Horizontal	Vertical		
P30	9115013,756	287636,918	43,905	0,004	0,006	0,01	0,007	0,010	Fixa, Dif. de Fase	02/10/2013 16:09:34
P31	9115013,655	287636,881	43,694	0,004	0,004	0,009	0,006	0,009	Fixa, Dif. de Fase	02/10/2013 16:10:01
P32	9115011,662	287635,681	44,12	0,004	0,005	0,009	0,006	0,009	Fixa, Dif. de Fase	02/10/2013 16:10:16
P33	9115019,303	287640,195	41,568	0,004	0,005	0,01	0,007	0,010	Fixa, Dif. de Fase	02/10/2013 16:11:37
P34	9115017,303	287639,178	41,586	0,004	0,006	0,01	0,007	0,010	Fixa, Dif. de Fase	02/10/2013 16:11:49
P35	9115014,245	287638,253	41,418	0,004	0,006	0,009	0,007	0,009	Fixa, Dif. de Fase	02/10/2013 16:12:02
P36	9115013,301	287639,173	42,179	0,004	0,006	0,01	0,007	0,010	Fixa, Dif. de Fase	02/10/2013 16:12:41
P37	9115013,779	287637,903	42,648	0,004	0,004	0,009	0,006	0,009	Fixa, Dif. de Fase	02/10/2013 16:12:49
P38	9115012,413	287637,387	42,487	0,004	0,005	0,01	0,007	0,010	Fixa, Dif. de Fase	02/10/2013 16:13:00
P39	9115012,132	287638,633	41,569	0,006	0,008	0,013	0,009	0,013	Fixa, Dif. de Fase	02/10/2013 16:13:09
P40	9115010,006	287636,792	41,614	0,004	0,006	0,01	0,007	0,010	Fixa, Dif. de Fase	02/10/2013 16:13:28
P41	9115008,954	287636,041	42,213	0,004	0,005	0,009	0,007	0,009	Fixa, Dif. de Fase	02/10/2013 16:13:46
P42	9115008,742	287635,578	43,582	0,004	0,005	0,009	0,006	0,009	Fixa, Dif. de Fase	02/10/2013 16:14:09
P43	9115006,616	287635,85	42,543	0,003	0,004	0,008	0,005	0,008	Fixa, Dif. de Fase	02/10/2013 16:14:57
P44	9115006,081	287636,875	42,39	0,004	0,004	0,009	0,006	0,009	Fixa, Dif. de Fase	02/10/2013 16:15:11
P45	9115004,03	287634,187	42,455	0,004	0,004	0,009	0,006	0,009	Fixa, Dif. de Fase	02/10/2013 16:15:25
P46	9115002,632	287635,164	42,044	0,004	0,006	0,01	0,007	0,010	Fixa, Dif. de Fase	02/10/2013 16:15:36
P47	9115001,18	287633,976	42,25	0,004	0,005	0,009	0,007	0,009	Fixa, Dif. de Fase	02/10/2013 16:15:49
P48	9115000,504	287634,599	41,68	0,004	0,005	0,011	0,006	0,011	Fixa, Dif. de Fase	02/10/2013 16:16:02
P49	9114999,486	287632,191	42,464	0,004	0,006	0,01	0,007	0,010	Fixa, Dif. de Fase	02/10/2013 16:16:28
P50	9114998,346	287630,967	42,668	0,004	0,006	0,01	0,007	0,010	Fixa, Dif. de Fase	02/10/2013 16:16:50
P51	9114997,743	287630,744	42,777	0,004	0,006	0,011	0,007	0,011	Fixa, Dif. de Fase	02/10/2013 16:17:00
P52	9114996,692	287630,154	42,036	0,004	0,006	0,009	0,007	0,009	Fixa, Dif. de Fase	02/10/2013 16:17:10
P53	9114995,908	287631,858	41,625	0,004	0,006	0,011	0,007	0,011	Fixa, Dif. de Fase	02/10/2013 16:17:23
P54	9114995,425	287629,401	41,415	0,004	0,006	0,011	0,008	0,011	Fixa, Dif. de Fase	02/10/2013 16:17:46
P55	9114994,989	287629,607	41,377	0,004	0,006	0,01	0,007	0,010	Fixa, Dif. de Fase	02/10/2013 16:17:55
P56	9114993,175	287627,871	41,375	0,005	0,007	0,012	0,008	0,012	Fixa, Dif. de Fase	02/10/2013 16:18:06
P57	9114992,252	287628,172	41,323	0,005	0,007	0,012	0,008	0,012	Fixa, Dif. de Fase	02/10/2013 16:18:18
P58	9114991,184	287627,075	41,849	0,005	0,008	0,013	0,01	0,013	Fixa, Dif. de Fase	02/10/2013 16:18:29
P59	9114991,082	287627,539	41,555	0,004	0,006	0,01	0,008	0,010	Fixa, Dif. de Fase	02/10/2013 16:19:06

**Tabela 3: Resultados do levantamento GNSS RTK-NTRIP, na Rua Arabela, Alto da Brasileira – Nova Descoberta, Recife - PE - Brasil.  
Estação Base de Referência: RBMC-IP-RECF RECF. Data: 02/10/2013.**

ID do ponto	POSICIONAMENTO RTK / NTRIP										Horário início	Duration
	ID do ponto	Coordenadas (m) - UTM - SIRGAS2000			Desvio Padrão (m)			PRECISÃO (m)		Tipo de Solução		
		N	E	h	Std Dev N	Std Dev E	Std Dev h	Horizontal	Vertical			
P1	ARABELA4	9115122,72	287107,132	50,083	0,004	0,004	0,012	0,006	0,012	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 18:22:10	00:00:02
P2	ARABELA3	9115121,052	287106,93	49,612	0,003	0,004	0,01	0,005	0,01	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 18:22:20	00:00:02
P3	ARABELA2	9115119,011	287106,92	46,544	0,008	0,007	0,021	0,011	0,021	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 18:23:01	00:00:02
P4	ARABELA1	9115114,395	287108,733	43,313	0,003	0,003	0,009	0,005	0,009	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 18:23:23	00:00:02
P5	ARABELA5	9115113,945	287104,24	43,812	0,006	0,004	0,013	0,007	0,013	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 18:26:49	00:00:02
P6	ARABELA6	9115112,343	287104,28	41,367	0,006	0,004	0,013	0,007	0,013	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 18:28:23	00:00:02
P7	ARABELA7	9115113,557	287108,793	41,332	0,005	0,003	0,011	0,006	0,011	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 18:28:39	00:00:02
P8	ARABELA8	9115110,379	287100,118	41,415	0,005	0,004	0,012	0,006	0,012	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 18:28:58	00:00:02
P9	ARABELA9	9115108,757	287096,934	41,769	0,006	0,004	0,013	0,007	0,013	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 18:29:17	00:00:02
P10	ARABELA10	9115106,475	287093,467	42,813	0,005	0,003	0,011	0,006	0,011	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 18:29:34	00:00:02
P11	ARABELA11	9115105,072	287090,907	43,192	0,004	0,004	0,011	0,006	0,011	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 18:29:57	00:00:02
P12	ARABELA12	9115102,964	287087,032	43,268	0,004	0,004	0,011	0,005	0,011	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 18:30:42	00:00:02
P13	ARABELA13	9115102,461	287085,824	43,9	0,004	0,004	0,011	0,005	0,011	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 18:31:03	00:00:02
P14	ARABELA14	9115105,674	287094,006	42,437	0,004	0,004	0,012	0,006	0,012	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 18:32:34	00:00:02
P15	ARABELA15	9115111,299	287103,446	41,457	0,004	0,003	0,011	0,005	0,011	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 18:33:54	00:00:02
P16	ARABELA16	9115123,793	287106,599	50,209	0,007	0,007	0,021	0,01	0,021	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 18:35:04	00:00:02
P17	ARABELA17	9115118,994	287099,233	50,583	0,004	0,004	0,011	0,005	0,011	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 18:36:22	00:00:02
P18	ARABELA18	9115119,956	287098,741	50,44	0,005	0,005	0,013	0,007	0,013	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 18:36:36	00:00:02
P19	ARABELA19	9115122,295	287099,422	52,288	0,289	0,327	0,967	0,437	0,967	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 18:36:47	00:00:02
P20	ARABELA20	9115116,262	287094,973	50,251	0,003	0,003	0,011	0,005	0,011	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 18:37:15	00:00:02
P21	ARABELA21	9115113,412	287090,691	50,278	0,003	0,003	0,011	0,005	0,011	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 18:37:33	00:00:02
P22	ARABELA22	9115112,363	287086,503	50,703	0,004	0,004	0,013	0,006	0,013	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 18:37:51	00:00:02
P23	ARABELA23	9115111,188	287076,336	50,963	0,004	0,004	0,011	0,005	0,011	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 18:38:14	00:00:02
P24	ARABELA24	9115111,264	287064,769	52,227	0,004	0,004	0,012	0,006	0,012	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 18:41:05	00:00:02
P25	ARABELA25	9115105,122	287063,864	47,392	0,005	0,004	0,013	0,006	0,013	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 18:41:31	00:00:02
P26	ARABELA26	9115104,938	287066,252	47,888	0,004	0,004	0,013	0,006	0,013	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 18:41:47	00:00:02
P27	ARABELA27	9115106,835	287069,693	49,032	0,004	0,003	0,011	0,005	0,011	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 18:42:03	00:00:02
P28	ARABELA28	9115107,715	287076,703	49	0,004	0,004	0,012	0,006	0,012	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 18:42:37	00:00:02
P29	ARABELA29	9115107,563	287077,155	48,795	0,004	0,005	0,014	0,006	0,014	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 18:42:42	00:00:02

ID do ponto	POSICIONAMENTO RTK / NTRIP										Horário início	Duration
	ID do ponto	Coordenadas (m) - UTM - SIRGAS2000			Desvio Padrão (m)			PRECISÃO (m)		Tipo de Solução		
		N	E	h	Std Dev N	Std Dev E	Std Dev h	Horizontal	Vertical			
P30	ARABELA30	9115106,513	287079,574	48,295	0,004	0,004	0,013	0,006	0,013	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 18:42:53	00:00:02
P31	ARABELA31	9115106,44	287080,314	47,881	0,005	0,005	0,016	0,007	0,016	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 18:42:58	00:00:02
P32	ARABELA32	9115127,34	287085,428	57,096	0,004	0,004	0,012	0,005	0,012	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 18:51:26	00:00:02
P33	ARABELA33	9115128,11	287087,946	56,919	0,003	0,003	0,012	0,005	0,012	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 18:52:12	00:00:02
P34	ARABELA34	9115128,62	287087,535	57,332	0,004	0,004	0,013	0,006	0,013	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 18:52:29	00:00:02
P35	ARABELA35	9115126,61	287083,651	57,179	0,006	0,006	0,019	0,008	0,019	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 18:53:16	00:00:02
P36	ARABELA36	9115126,242	287081,765	57,325	0,004	0,004	0,013	0,005	0,013	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 18:53:49	00:00:02
P37	ARABELA37	9115125,288	287086,112	51,674	0,004	0,004	0,014	0,006	0,014	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 18:54:32	00:00:02
P38	ARABELA38	9115125,386	287086,004	51,668	0,004	0,004	0,013	0,006	0,013	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 18:54:44	00:00:02
P39	ARABELA39	9115124,941	287084,994	51,539	0,004	0,004	0,013	0,006	0,013	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 18:55:02	00:00:02
P40	ARABELA40	9115124,457	287082,59	51,489	0,005	0,005	0,016	0,007	0,016	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 18:55:18	00:00:02
P41	ARABELA41	9115124,352	287080,708	51,49	0,004	0,004	0,013	0,005	0,013	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 18:55:35	00:00:02

**Tabela 4: Resultados do levantamento GNSS RTK-NTRIP, na Rua Baianópolis, Córrego do Joaquim – Nova Descoberta, Recife - PE - Brasil. Estação Base de Referência: RBMC-IP-RECF RECF. Data: 02/10/2013**

ID do ponto	Coordenadas (m) - UTM - SIRGAS2000									Horário início	Duração
	Desvio Padrão (m)			PRECISÃO (m)		Tipo de Solução					
	N	E	h	Std Dev N	Std Dev E		Std Dev h	Horizontal	Vertical		
P1	9115303,744	286721,225	57,771	0,004	0,004	0,011	0,006	0,011		02/10/2013 17:04:25	00:00:02
P2	9115306,394	286715,888	57,762	0,006	0,004	0,015	0,008	0,015	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 17:04:39	00:00:02
P3	9115308,439	286711,992	57,65	0,005	0,005	0,014	0,007	0,014	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 17:06:42	00:00:02
P4	9115309,653	286709,187	57,744	0,005	0,006	0,017	0,008	0,017	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 17:07:44	00:00:02
P5	9115307,921	286708,881	57,131	0,008	0,004	0,012	0,009	0,012	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 17:08:00	00:00:02
P6	9115308,328	286710,148	57,227	0,005	0,006	0,014	0,007	0,014	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 17:08:09	00:00:02
P7	9115308,1	286711,131	57,435	0,005	0,004	0,012	0,006	0,012	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 17:08:42	00:00:02
P8	9115306,934	286712,005	57,477	0,004	0,004	0,011	0,006	0,011	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 17:08:53	00:00:02
P9	9115305,705	286714,224	57,426	0,004	0,004	0,01	0,006	0,01	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 17:09:05	00:00:02
P10	9115305,04	286716,479	57,44	0,005	0,004	0,012	0,006	0,012	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 17:09:15	00:00:02
P11	9115304,516	286718,039	57,692	0,004	0,004	0,012	0,006	0,012	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 17:09:24	00:00:02
P12	9115303,911	286720,125	57,535	0,006	0,005	0,015	0,008	0,015	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 17:09:34	00:00:02
P13	9115303,928	286721,283	57,924	0,004	0,004	0,011	0,006	0,011	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 17:09:54	00:00:02
P14	9115307,831	286718,708	58,367	0,005	0,004	0,014	0,006	0,014	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 17:10:06	00:00:02
P15	9115308,575	286717,443	57,635	0,231	0,257	0,637	0,346	0,637	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 17:11:53	00:00:02
P16	9115322,85	286708,95	60,556	0,171	0,194	0,473	0,258	0,473	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 17:12:17	00:00:02
P17	9115323,059	286709,213	62,777	0,004	0,004	0,01	0,006	0,01	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 17:12:38	00:00:02
P18	9115317,085	286712,637	59,006	0,005	0,005	0,014	0,007	0,014	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 17:13:21	00:00:02
P19	9115302,046	286720,522	53,436	0,004	0,004	0,011	0,006	0,011	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 17:14:35	00:00:00
P20	9115301,711	286720,004	52,864	0,005	0,004	0,012	0,006	0,012	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 17:14:46	00:00:02
P21	9115303,555	286716,546	53,541	0,005	0,004	0,013	0,006	0,013	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 17:14:58	00:00:02
P22	9115302,754	286716,435	53,369	0,005	0,004	0,013	0,006	0,013	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 17:15:06	00:00:02
P23	9115304,278	286713,967	54,513	0,005	0,004	0,012	0,006	0,012	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 17:15:20	00:00:02
P24	9115303,59	286713,934	54,39	0,007	0,004	0,014	0,008	0,014	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 17:15:27	00:00:02
P25	9115305,592	286711,659	54,5	0,004	0,004	0,012	0,006	0,012	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 17:15:39	00:00:02
P26	9115304,79	286711,329	54,194	0,004	0,004	0,012	0,006	0,012	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 17:15:47	00:00:02
P27	9115306,48	286708,624	54,542	0,004	0,004	0,012	0,006	0,012	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 17:15:56	00:00:02
P28	9115302,936	286709,285	53,912	0,004	0,004	0,011	0,006	0,011	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 17:16:12	00:00:02
P29	9115295,523	286723,783	54,314	0,004	0,004	0,011	0,006	0,011	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 17:17:02	00:00:02
P30	9115299,206	286724,898	55,753	0,005	0,005	0,012	0,007	0,012	Fixa, Dif de Fase	02/10/2013 17:17:18	00:00:02

**RESULTADO  
LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO E  
GNSS RTK-NTRIP – 2ª PARTE**

**Tabela 5: Resultados do levantamento Topográfico, na Rua Baianópolis, Córrego do Joaquim – Nova Descoberta, Recife - PE - Brasil. Estação Base de Referência: RBMC-IP-RECF RECF. Data: 22/11/2014.**

LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO			
SIRGAS2000	a=6378137	Alfa =1/298,257222101	MC = -33
ID_ Pto.	E (UTM)	N (UTM)	Alt. elipsoidal
M01	286712,217	9115319,857	61,804
P02	286697,296	9115321,438	60,659
P03	286697,249	9115322,696	62,266
P04	286700,501	9115323,164	62,371
P05	286700,684	9115322,837	61,404
P06	286700,321	9115322,113	60,481
P07	286701,617	9115321,49	59,554
P08	286703,582	9115321,22	58,789
P09	286705,403	9115322,649	60,577
P10	286706,051	9115323,665	62,485
P11	286708,541	9115323,709	62,957
P12	286707,707	9115321,888	60,431
P13	286698,456	9115323,125	62,36
P14	286698,383	9115322,527	61,112
P15	286698,098	9115320,732	59,545
CTR02	286688,345	9115326,734	62,592
CTR03	286707,927	9115326,275	64,469
CTR04	286724,338	9115299,773	56,554
CTR05	286704,022	9115332,532	66,704
CTR06	286714,323	9115315,543	61,195
P01	286695,954	9115319,894	59,357

**ELEMENTOS DA POLIGONAL**

Tipo de Poligonal: Aberta

Número de vértices: 1

Número de Pontos Irradiados: 19

----- Espaço para as informações do Georreferenciamento -----

**DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS PARA O GEORREFERENCIAMENTO**

Sistema Geodésico de Referência: SIRGAS2000

**ORIGEM DO SISTEMA TOPOGRÁFICO LOCAL**

Latitude      Longitude      Alt. Elipsoidal  
 -7°59'55,95582"   -34°56'06,62747"   63,018

**PONTOS DE CONTROLE - COORDENADAS GEODÉSICAS**

Identificação	Latitude	Longitude	Alt. Elipsoidal
M01	-7°59'56,12297"	-34°56'06,41002"	61,804
CTR04	-7°59'56,77808"	-34°56'06,01760"	56,554

**Tabela 6: Resultados do levantamento Topográfico, na Rua Baianópolis, Córrego do Joaquim – Nova Descoberta, Recife - PE - Brasil. Estação Base de Referência: RBMC-IP-RECF RECF. Data: 22/11/2014.**

LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO			
SIRGAS2000	a =6378137	Alfa = 1/298,257222101	MC = -33
ID_ Pto.	E (UTM)	N (UTM)	Alt. elipsoidal
M02	286725,851	9115297,647	55,226
P16	286709,085	9115306,713	54,577
P17	286707,611	9115304,497	56,103
P18	286709,043	9115307,735	56,496
P19	286714,663	9115305,18	57,036
P20	286713,54	9115305,229	56,329
P21	286714,178	9115304,059	54,522
P22	286724,471	9115298,535	56,305
P23	286716,771	9115304,084	55,661
P24	286717,336	9115304,191	57,678
P25	286715,622	9115305,508	57,458
P26	286721,03	9115302,52	57,156
P27	286720,605	9115302,463	56,36
P28	286724,52	9115298,883	56,363
P29	286716,811	9115303,516	54,575
CTR04	286724,336	9115299,777	56,528
CTR06	286714,317	9115315,53	61,169
CTR03	286707,922	9115326,241	64,439
CTR05	286704,088	9115332,553	66,676
CTR02	286688,345	9115326,694	62,567
M01_	286712,209	9115319,834	63,291

**ELEMENTOS DA POLIGONAL**

Tipo de Poligonal: Aberta

Número de vértices: 1

Número de Pontos Irradiados: 19

----- Espaço para as informações do Georreferenciamento -----

**DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS PARA O GEORREFERENCIAMENTO**

Sistema Geodésico de Referência: SIRGAS2000

**ORIGEM DO SISTEMA TOPOGRÁFICO LOCAL**

Latitude            Longitude            Alt. Elipsoidal

-7°59'55,95582"    -34°56'06,62747"    63,018

**PONTOS DE CONTROLE - COORDENADAS GEODÉSICAS**

Identificação      Latitude              Longitude              Alt. Elipsoidal

M02                -7°59'56,84791"    -34°56'05,96828"    55,226

CTR04            -7°59'56,77808"    -34°56'06,01760"    56,554

**Tabela 7: Resultados do levantamento Topográfico, na Rua Baianópolis, Córrego do Joaquim – Nova Descoberta, Recife - PE - Brasil. Estação Base de Referência: RBMC-IP-RECF RECF. Data: 22/11/2014.**

LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO			
SIRGAS2000	a =6378137	alfa=1/298,257222101	MC = -33
ID_ Pto.	E(UTM)	N(UTM)	Alt. elipsoidal
M03	286706,231	9115329,73	64,974
P30	286686,699	9115335,447	67,091
P31	286687,125	9115334,916	65,847
P32	286687,369	9115334,44	64,985
P33	286687,941	9115333,911	64,102
P34	286691,463	9115335,492	67,04
P35	286691,964	9115334,995	65,917
P36	286691,822	9115334,395	64,654
P37	286692,188	9115333,754	63,494
P38	286694,534	9115335,885	67,087
P39	286697,474	9115334,008	65,767
P40	286696,256	9115334,108	64,866
P41	286697,75	9115333,094	63,73
P42	286699,54	9115334,468	67,049
P43	286700,649	9115333,106	66,27
P44	286700,027	9115332,933	68,339
P45	286699,955	9115332,45	64,203
P46	286699,254	9115332,082	63,339
P47	286703,199	9115332,798	66,621
P48	286703,852	9115331,774	66,609
P49	286703,024	9115331,58	65,247
P50	286703,473	9115330,776	64,805
P51	286701,053	9115331,292	63,267
CTR05	286704,012	9115332,513	66,698
CTR06	286714,329	9115315,517	61,183
CTR04	286724,344	9115299,762	56,547
M02	286725,851	9115297,648	55,238
P52	286702,6	9115325,382	62,941
P53	286705,37	9115329,807	65,746
P54	286698,509	9115316,349	58,812
P55	286701,508	9115319,721	59,879
P56	286702,576	9115318,934	59,674
P57	286704,115	9115320,975	60,743
P58	286713,886	9115313,637	60,055
M01_	286712,225	9115319,824	61,8

**ELEMENTOS DA POLIGONAL**

Tipo de Poligonal: Aberta

Número de vértices: 1

Número de Pontos Irradiados: 33

Espaço para as informações do Georreferenciamento ----

--

**DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS PARA O GEORREFERENCIAMENTO**

Sistema Geodésico de Referência: SIRGAS2000

**ORIGEM DO SISTEMA TOPOGRÁFICO LOCAL**

Latitude	Longitude	Alt. Elipsoidal
-7°59'55,95582"	-34°56'06,62747"	63,018

**PONTOS DE CONTROLE –**

**COORDENADAS GEODÉSICAS**

Ident	Latitude	Longitude	Alt. Elipl
M03	-7°59'55,80075"	-34°56'06,60393"	64,974
CTR04	-7°59'56,77808"	-34°56'06,01760"	56,554

**Tabela 8: Resultados do levantamento GNSS RTK-NTRIP, Rua Bemposta. Alto do Eucalipto, bairro do Vasco da Gama, Recife - PE - Brasil. Estação Base de Referência: RBMC-IP-RECF RECF. Data: 18/07/2014.**

ID do ponto	RTK / NTRIP									Horário início	Duração
	Coordenadas (m) - UTM - SIRGAS2000			Desvio Padrão (m)			PRECISÃO (m)		Tipo de Solução		
	N	E	h	Std Dev N	Std Dev E	Std Dev h	Horizontal	Vertical			
G1	9114788,286	288134,942	39,511	0,004	0,003	0,011	0,005	0,011	Fixa	18/07/2014 15:26:26	00:00:02
G2	9114788,428	288133,406	39,613	0,004	0,003	0,01	0,005	0,01	Fixa	18/07/2014 15:27:05	00:00:02
G3	9114788,568	288131,954	39,714	0,004	0,003	0,011	0,005	0,011	Fixa	18/07/2014 15:28:01	00:00:02
G4	9114788,771	288130,018	39,742	0,003	0,003	0,01	0,005	0,01	Fixa	18/07/2014 15:28:28	00:00:02
G5	9114788,981	288128,092	39,751	0,003	0,003	0,01	0,005	0,01	Fixa	18/07/2014 15:29:07	00:00:02
G6	9114789,167	288126,179	39,753	0,004	0,004	0,011	0,005	0,011	Fixa	18/07/2014 15:29:28	00:00:02
G7	9114789,343	288124,274	39,745	0,003	0,003	0,01	0,005	0,01	Fixa	18/07/2014 15:30:03	00:00:02
G8	9114789,508	288122,046	39,698	0,003	0,003	0,01	0,005	0,01	Fixa	18/07/2014 15:30:22	00:00:02
G9	9114789,655	288120,054	39,686	0,004	0,003	0,011	0,005	0,011	Fixa	18/07/2014 15:30:46	00:00:02
G10	9114789,761	288117,967	39,59	0,003	0,003	0,01	0,005	0,01	Fixa	18/07/2014 15:31:05	00:00:02
G11	9114789,824	288116,289	39,487	0,004	0,003	0,011	0,005	0,011	Fixa	18/07/2014 15:31:29	00:00:02
G12	9114797,106	288132,742	39,824	0,005	0,004	0,011	0,006	0,011	Fixa	18/07/2014 15:34:49	00:00:02
G13	9114790,036	288131,814	39,705	0,005	0,004	0,012	0,006	0,012	Fixa	18/07/2014 15:35:39	00:00:02
G14	9114790,505	288126,422	39,762	0,005	0,004	0,014	0,007	0,014	Fixa	18/07/2014 15:36:00	00:00:02
G15	9114790,37	288126,268	39,736	0,004	0,003	0,011	0,005	0,011	Fixa	18/07/2014 15:36:14	00:00:02
G16	9114790,329	288122,827	39,724	0,004	0,003	0,011	0,005	0,011	Fixa	18/07/2014 15:36:42	00:00:02
G17	9114790,525	288119,391	39,638	0,003	0,003	0,01	0,005	0,01	Fixa	18/07/2014 15:37:02	00:00:02
G18	9114790,887	288115,769	39,444	0,004	0,004	0,013	0,006	0,013	Fixa	18/07/2014 15:37:27	00:00:02
G19	9114789,66	288125,815	39,737	0,003	0,003	0,011	0,005	0,011	Fixa	18/07/2014 15:38:20	00:00:02
G20	9114793,156	288135,381	39,536	0,004	0,003	0,011	0,005	0,011	Fixa	18/07/2014 15:39:39	00:00:02
G21	9114794,287	288135,541	39,491	0,004	0,004	0,013	0,005	0,013	Fixa	18/07/2014 15:40:06	00:00:02
G22	9114792,991	288136,541	38,442	0,004	0,004	0,012	0,005	0,012	Fixa	18/07/2014 15:40:33	00:00:02
G23	9114792,891	288137,669	38,435	0,004	0,003	0,011	0,005	0,011	Fixa	18/07/2014 15:40:58	00:00:02
G24	9114784,43	288136,492	34,904	0,005	0,004	0,012	0,006	0,012	Fixa	18/07/2014 15:41:32	00:00:02
G25	9114784,625	288135,358	34,865	0,006	0,004	0,015	0,007	0,015	Fixa	18/07/2014 15:42:32	00:00:02
G26	9114780,939	288134,362	33,357	0,006	0,004	0,013	0,007	0,013	Fixa	18/07/2014 15:42:59	00:00:02
G27	9114780,47	288135,393	33,395	0,004	0,003	0,012	0,005	0,012	Fixa	18/07/2014 15:43:14	00:00:02
G28	9114784,835	288133,918	33,948	0,006	0,006	0,016	0,008	0,016	Fixa	18/07/2014 15:46:13	00:00:02
G29	9114785,596	288130,806	33,976	0,005	0,005	0,015	0,007	0,015	Fixa	18/07/2014 15:46:51	00:00:02

RTK / NTRIP										Horário início	Duração
ID do ponto	Coordenadas (m) - UTM - SIRGAS2000			Desvio Padrão (m)			PRECISÃO (m)		Tipo de Solução		
	N	E	h	Std Dev N	Std Dev E	Std Dev h	Horizontal	Vertical			
G30	9114785,929	288128,725	34,101	0,005	0,003	0,011	0,006	0,011	Fixa	18/07/2014 15:47:14	00:00:02
G31	9114786,052	288126,327	34,163	0,005	0,003	0,011	0,006	0,011	Fixa	18/07/2014 15:47:32	00:00:02
G32	9114786,039	288124,199	34,197	0,005	0,003	0,011	0,006	0,011	Fixa	18/07/2014 15:47:50	00:00:02
G33	9114786,16	288122,216	34,256	0,004	0,003	0,01	0,005	0,01	Fixa	18/07/2014 15:48:20	00:00:02
G34	9114786,127	288120,293	33,977	0,005	0,004	0,013	0,006	0,013	Fixa	18/07/2014 15:48:47	00:00:02
G35	9114786,388	288118,354	34,146	0,005	0,003	0,012	0,006	0,012	Fixa	18/07/2014 15:49:05	00:00:02
G36	9114786,432	288118,14	34,28	0,007	0,004	0,016	0,011	0,021	Fixa	18/07/2014 15:50:36	00:00:02
G37	9114786,352	288117,68	34,358	0,009	0,006	0,021	0,008	0,016	Fixa	18/07/2014 15:50:57	00:00:02
G38	9114780,695	288119,656	33,881	0,004	0,004	0,011	0,005	0,011	Fixa	18/07/2014 15:52:31	00:00:02
G39	9114779,332	288120,975	33,721	0,003	0,003	0,01	0,005	0,01	Fixa	18/07/2014 15:52:53	00:00:02
G40	9114777,9	288129,719	33,822	0,003	0,003	0,01	0,005	0,01	Fixa	18/07/2014 15:53:25	00:00:02
G41	9114781,335	288130,61	34,216	0,005	0,004	0,011	0,007	0,011	Fixa	18/07/2014 15:54:09	00:00:02
G42	9114784,206	288130,643	33,938	0,005	0,004	0,015	0,007	0,015	Fixa	18/07/2014 15:55:32	00:00:02
G43	9114785,087	288126,159	34,032	0,005	0,003	0,011	0,006	0,011	Fixa	18/07/2014 15:57:19	00:00:02
G44	9114785,564	288122,268	34,175	0,008	0,006	0,022	0,01	0,022	Fixa	18/07/2014 15:57:36	00:00:02
G45	9114785,419	288120,922	33,963	0,005	0,004	0,014	0,007	0,014	Fixa	18/07/2014 15:58:01	00:00:02
G46	9114787,68	288118,371	32,783	0,01	0,007	0,019	0,013	0,019	Fixa	18/07/2014 15:58:40	00:00:02

**Tabela 9: Resultados do levantamento GNSS RTK-NTRIP, Subida para o Alto do Reservatório – Córrego do Joaquim, bairro de Nova Descoberta, Recife - PE - Brasil. Estação Base de Referência: RBMC-IP-RECF RECF. Data: 18/07/2014**

ID do ponto	RTK / NTRIP									Horário início	Duração
	Coordenadas (m) - UTM - SIRGAS2000			Desvio Padrão (m)			PRECISÃO (m)		Tipo de Solução		
	N	E	h	Std Dev N	Std Dev E	Std Dev h	Horizontal	Vertical			
P1	9115104,059	286603,951	64,903	0,004	0,005	0,012	0,007	0,012	Fixa	18/07/2014 18:00:49	00:00:02
P2	9115104,522	286606,232	64,811	0,005	0,005	0,013	0,007	0,013	Fixa	18/07/2014 18:03:41	00:00:02
P3	9115104,454	286607,949	64,695	0,004	0,004	0,011	0,006	0,011	Fixa	18/07/2014 18:04:07	00:00:02
P4	9115104,238	286609,544	64,63	0,005	0,004	0,013	0,007	0,013	Fixa	18/07/2014 18:04:32	00:00:02
P5	9115103,892	286611,118	64,465	0,008	0,007	0,021	0,011	0,021	Fixa	18/07/2014 18:04:53	00:00:02
P6	9115103,162	286613,652	64,258	0,004	0,005	0,013	0,007	0,013	Fixa	18/07/2014 18:05:27	00:00:02
P7	9115102,83	286615,397	64,17	0,004	0,004	0,011	0,006	0,011	Fixa	18/07/2014 18:05:42	00:00:02
P8	9115102,472	286616,784	64,118	0,004	0,004	0,011	0,005	0,011	Fixa	18/07/2014 18:06:04	00:00:02
P9	9115102,38	286618,457	64,099	0,005	0,005	0,013	0,007	0,013	Fixa	18/07/2014 18:06:27	00:00:02
P10	9115102,382	286620,012	63,95	0,005	0,004	0,013	0,006	0,013	Fixa	18/07/2014 18:06:49	00:00:02
P11	9115101,957	286621,229	64,149	0,012	0,01	0,028	0,015	0,028	Fixa	18/07/2014 18:14:37	00:00:02
P12	9115102,055	286622,908	63,927	0,007	0,005	0,016	0,008	0,016	Fixa	18/07/2014 18:15:08	00:00:02
P13	9115101,748	286624,32	63,879	0,006	0,005	0,014	0,007	0,014	Fixa	18/07/2014 18:15:25	00:00:02
P14	9115101,797	286625,82	63,869	0,007	0,005	0,016	0,008	0,016	Fixa	18/07/2014 18:15:38	00:00:02
P15	9115101,792	286627,395	63,924	0,009	0,007	0,021	0,012	0,021	Fixa	18/07/2014 18:15:53	00:00:02
P16	9115101,766	286629,551	63,651	0,006	0,005	0,015	0,008	0,015	Fixa	18/07/2014 18:16:10	00:00:02
P17	9115102,85	286597,951	64,434	0,007	0,004	0,016	0,008	0,016	Fixa	18/07/2014 18:17:52	00:00:02
P18	9115103,342	286597,098	64	0,007	0,004	0,016	0,008	0,016	Fixa	18/07/2014 18:18:20	00:00:02
P19	9115104,031	286596,073	63,902	0,008	0,006	0,019	0,01	0,019	Fixa	18/07/2014 18:18:50	00:00:02
P20	9115108,883	286600,514	61,294	0,008	0,005	0,019	0,009	0,019	Fixa	18/07/2014 18:19:10	00:00:02
P21	9115109,494	286599,304	61,289	0,006	0,004	0,015	0,008	0,015	Fixa	18/07/2014 18:19:20	00:00:02
P22	9115113,452	286607,44	55,273	0,008	0,005	0,018	0,009	0,018	Fixa	18/07/2014 18:25:05	00:00:02
P23	9115113,087	286609,589	55,301	0,012	0,008	0,03	0,015	0,03	Fixa	18/07/2014 18:25:23	00:00:02
P24	9115112,608	286610,884	55,125	0,008	0,005	0,02	0,01	0,02	Fixa	18/07/2014 18:25:34	00:00:02
P25	9115112,253	286612,395	55,295	0,008	0,005	0,018	0,009	0,018	Fixa	18/07/2014 18:25:44	00:00:02
P26	9115112,389	286614,299	55,351	0,008	0,005	0,02	0,01	0,02	Fixa	18/07/2014 18:25:59	00:00:02
P27	9115112,436	286616,039	55,301	0,007	0,005	0,018	0,009	0,018	Fixa	18/07/2014 18:26:12	00:00:02
P28	9115111,526	286618,115	55,17	0,008	0,006	0,021	0,01	0,021	Fixa	18/07/2014 18:26:24	00:00:02
P29	9115111,128	286620,39	55,218	0,013	0,009	0,032	0,016	0,032	Fixa	18/07/2014 18:26:38	00:00:02
P30	9115110,965	286622,795	55,107	0,009	0,007	0,023	0,011	0,023	Fixa	18/07/2014 18:26:49	00:00:02

RTK / NTRIP										Horário início	Duração
ID do ponto	Coordenadas (m) - UTM - SIRGAS2000			Desvio Padrão (m)			PRECISÃO (m)		Tipo de Solução		
	N	E	h	Std Dev N	Std Dev E	Std Dev h	Horizontal	Vertical			
P31	9115111,087	286624,587	55,012	0,008	0,005	0,019	0,009	0,019	Fixa	18/07/2014 18:27:01	00:00:02
P32	9115110,816	286626,273	54,948	0,007	0,005	0,018	0,009	0,018	Fixa	18/07/2014 18:27:14	00:00:02
P33	9115111,103	286626,397	55,111	0,025	0,02	0,058	0,032	0,058	Fixa	18/07/2014 18:28:13	00:00:02
P34	9115112,003	286621,754	54,955	0,01	0,006	0,022	0,011	0,022	Fixa	18/07/2014 18:33:07	00:00:02
P35	9115113,274	286617,389	54,904	0,008	0,005	0,018	0,009	0,018	Fixa	18/07/2014 18:33:33	00:00:02
P36	9115114,745	286613,469	55,312	0,008	0,004	0,017	0,009	0,017	Fixa	18/07/2014 18:34:44	00:00:02
P37	9115114,64	286612,875	54,76	0,007	0,004	0,016	0,008	0,016	Fixa	18/07/2014 18:34:59	00:00:02
P38	9115113,239	286611,823	55,004	0,01	0,006	0,023	0,012	0,023	Fixa	18/07/2014 18:35:12	00:00:02
P39	9115115,113	286606,451	55,151	0,011	0,006	0,026	0,012	0,026	Fixa	18/07/2014 18:36:02	00:00:02
P40	9115116,589	286607,109	55,108	0,008	0,004	0,018	0,009	0,018	Fixa	18/07/2014 18:36:17	00:00:02
P41	9115117,354	286606,368	55,086	0,009	0,005	0,02	0,01	0,02	Fixa	18/07/2014 18:36:32	00:00:02
P42	9115124,476	286609,473	54,392	0,017	0,01	0,043	0,02	0,043	Fixa	18/07/2014 18:37:26	00:00:02
P43	9115124,316	286613,697	54,07	0,005	0,004	0,013	0,006	0,013	Fixa	18/07/2014 18:39:18	00:00:02
P44	9115122,378	286616,087	54,057	0,006	0,005	0,015	0,007	0,015	Fixa	18/07/2014 18:39:28	00:00:02
P45	9115123,186	286616,926	54,083	0,012	0,01	0,031	0,015	0,031	Fixa	18/07/2014 18:40:20	00:00:02
P46	9115123,341	286616,961	54,117	0,005	0,004	0,014	0,007	0,014	Fixa	18/07/2014 18:40:51	00:00:02
P47	9115131,058	286606,525	53,856	0,006	0,006	0,018	0,009	0,018	Fixa	18/07/2014 18:42:54	00:00:02
P48	9115132,105	286605,024	54,044	0,005	0,004	0,013	0,007	0,013	Fixa	18/07/2014 18:43:11	00:00:02
P49	9115132,632	286603,062	54,055	0,005	0,004	0,012	0,006	0,012	Fixa	18/07/2014 18:43:22	00:00:02
P50	9115133,135	286601,464	54,022	0,005	0,004	0,013	0,006	0,013	Fixa	18/07/2014 18:43:32	00:00:02
P51	9115134,069	286598,963	54,18	0,004	0,004	0,012	0,006	0,012	Fixa	18/07/2014 18:43:44	00:00:02
P52	9115135,096	286596,836	54,331	0,007	0,006	0,019	0,009	0,019	Fixa	18/07/2014 18:44:00	00:00:02
P53	9115136,259	286595,092	54,607	0,005	0,004	0,012	0,006	0,012	Fixa	18/07/2014 18:44:15	00:00:02
P54	9115136,367	286593,501	55,205	0,005	0,004	0,013	0,006	0,013	Fixa	18/07/2014 18:44:38	00:00:02
P55	9115137,266	286592,404	55,302	0,007	0,006	0,018	0,009	0,018	Fixa	18/07/2014 18:44:49	00:00:02
P56	9115137,906	286592,553	55,213	0,005	0,004	0,013	0,006	0,013	Fixa	18/07/2014 18:45:02	00:00:02
P57	9115136,115	286596,491	54,221	0,005	0,005	0,014	0,007	0,014	Fixa	18/07/2014 18:45:44	00:00:02
P58	9115133,926	286600,679	53,914	0,005	0,004	0,012	0,006	0,012	Fixa	18/07/2014 18:46:17	00:00:02
P59	9115142,135	286605,011	53,774	0,004	0,004	0,012	0,006	0,012	Fixa	18/07/2014 18:46:53	00:00:02
P60	9115142,132	286605,013	53,768	0,005	0,004	0,013	0,006	0,013	Fixa	18/07/2014 18:47:00	00:00:02
P61	9115121,12	286593,815	57,621	0,005	0,004	0,012	0,006	0,012	Fixa	18/07/2014 18:48:20	00:00:02
P62	9115124,382	286597,505	57,58	0,005	0,004	0,012	0,006	0,012	Fixa	18/07/2014 18:48:39	00:00:02

RTK / NTRIP										Horário início	Duração
ID do ponto	Coordenadas (m) - UTM - SIRGAS2000			Desvio Padrão (m)			PRECISÃO (m)		Tipo de Solução		
	N	E	h	Std Dev N	Std Dev E	Std Dev h	Horizontal	Vertical			
P63	9115129,458	286593,29	57,628	0,006	0,005	0,016	0,008	0,016	Fixa	18/07/2014 18:49:04	00:00:02
P64	9115129,669	286593,643	57,573	0,004	0,004	0,011	0,006	0,011	Fixa	18/07/2014 18:49:22	00:00:02
P65	9115130,829	286592,713	57,721	0,005	0,004	0,013	0,007	0,013	Fixa	18/07/2014 18:49:34	00:00:02
P66	9115129,83	286591,481	57,761	0,007	0,005	0,017	0,009	0,017	Fixa	18/07/2014 18:49:45	00:00:02
P67	9115131,19	286591,19	57,979	0,009	0,007	0,022	0,011	0,022	Fixa	18/07/2014 18:49:57	00:00:02
P68	9115136,482	286588,069	58,022	0,005	0,004	0,013	0,006	0,013	Fixa	18/07/2014 18:50:57	00:00:02
P69	9115134,052	286582,797	58,31	0,005	0,004	0,012	0,006	0,012	Fixa	18/07/2014 18:51:32	00:00:02
P70	9115137,868	286588,634	58,008	0,004	0,004	0,012	0,006	0,012	Fixa	18/07/2014 18:51:52	00:00:02
P71	9115135,607	286590,123	58,251	0,005	0,004	0,012	0,006	0,012	Fixa	18/07/2014 18:52:04	00:00:02
P72	9115134,432	286592,033	57,999	0,005	0,004	0,012	0,006	0,012	Fixa	18/07/2014 18:52:16	00:00:02
P73	9115133,475	286593,665	57,86	0,005	0,005	0,013	0,007	0,013	Fixa	18/07/2014 18:52:27	00:00:02
P74	9115131,547	286595,667	57,731	0,004	0,004	0,011	0,006	0,011	Fixa	18/07/2014 18:52:39	00:00:02
P75	9115130,245	286597,295	57,621	0,004	0,004	0,011	0,005	0,011	Fixa	18/07/2014 18:52:50	00:00:02
P76	9115129,239	286599,128	57,628	0,004	0,004	0,011	0,006	0,011	Fixa	18/07/2014 18:53:04	00:00:02
P77	9115127,834	286601,499	57,532	0,004	0,004	0,011	0,005	0,011	Fixa	18/07/2014 18:53:14	00:00:02
P78	9115126,319	286603,231	57,153	0,004	0,004	0,01	0,005	0,01	Fixa	18/07/2014 18:53:24	00:00:02
P79	9115125,994	286603,967	56,579	0,004	0,003	0,01	0,005	0,01	Fixa	18/07/2014 18:53:34	00:00:02
P80	9115130,958	286608,822	53,839	0,004	0,006	0,013	0,007	0,013	Fixa	18/07/2014 19:02:58	00:00:02
P81	9115114,141	286602,441	58,583	0,008	0,005	0,016	0,009	0,016	Fixa	18/07/2014 19:04:56	00:00:02

**RESULTADO  
LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO  
2ª PARTE**

**Tabela 10: Resultados do levantamento Topográfico, na Rua Bemposta, Alto do Eucalipto – Vasco da Gama, Recife - PE - Brasil. Estação Base de Referência: RBMC-IP-RECF RECF. Data: 18/07/2014**

LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO			
SIRGAS2000	a =6378137	Alfa =1/298,257222101	MC = -33
ID_Pto	E (UTM)	N (UTM)	Alt.elipsoidal
P1	288134,703	9114788,912	39,511
P2	288125,814	9114789,66	39,737
I1	288132,022	9114788,588	39,743
I2	288126,202	9114789,18	39,762
I3	288120,552	9114789,637	39,804
I4	288115,349	9114788,31	38,141
I5	288115,66	9114788,175	37,972
I6	288122,439	9114787,99	37,192
I7	288124,593	9114787,921	37,157
I8	288127,819	9114787,421	37,296
I9	288126,257	9114785,91	34,2
I10	288120,801	9114785,695	34,2
I11	288117,586	9114786,146	34,185
I12	288117,022	9114786,514	37,005
I13	288114,88	9114786,652	37,019
I14	288116,618	9114781,779	36,978
I15	288114,565	9114781,991	36,986
I16	288120,732	9114785,189	33,981
I17	288120,885	9114785,034	36,023
I18	288123,984	9114784,884	34,081
I19	288132,01	9114776,097	34,924
I20	288129,542	9114778,455	35,54
I21	288131,017	9114776,344	33,863
I22	288131,418	9114777,767	33,846
I23	288131,478	9114790,764	39,759
I24	288132,313	9114797,216	39,939
I25	288135,474	9114793,237	41,103
I26	288134,195	9114799,125	40,081
BASE_	288133,836	9114790,138	39,588
I27	288135,12	9114788,235	39,575
I28	288133,826	9114784,793	33,917
I29	288116,36	9114791,582	39,587
I30	288130,616	9114784,597	33,821
BASE	288133,836	9114790,138	39,588

**ELEMENTOS DA POLIGONAL**

Tipo de Poligonal: Aberta

Número de vértices: 2

Número de Pontos Irrradiados: 31

----- Espaço para as informações do Georreferenciamento -----

**DETERMINAÇÃO DOS**

**PARÂMETROS PARA O**

**GEORREFERENCIAMENTO**

Sistema Geodésico de Referência:

SIRGAS2000

**ORIGEM DO SISTEMA**

**TOPOGRÁFICO LOCAL**

Latitude -8°00'13,59412"

Longitude -34°55'20,33777"

Alt. Elipsoidal 39,737

**PONTOS DE CONTROLE -**

**COORDENADAS GEODÉSICAS**

Identificação P2

Latitude -8°00'13,59412"

Longitude -34°55'20,33777"

Alt. Elipsoidal 39,737

Identificação BASE

Latitude -8°00'13,58000"

Longitude -34°55'20,08000"

Alt. Elipsoidal 39,710

**Tabela 11: Resultados do levantamento Topográfico, na Subida do Alto do Reservatório, Córrego do Joaquim – Nova Descoberta, Recife - PE - Brasil. Estação Base de Referência: RBMC-IP-RECF RECF. Data: 18/07/2014**

LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO			
SIRGAS2000	a =6378137	Alfa =1/298,257222101	MC = -33
ID_Pto	E (UTM)	N (UTM)	Alt.elipsoidal
J1	286602,437	9115114,13	58,637
J2__	286608,822	9115130,958	53,839
I50	286612,185	9115112,477	55,498
I51	286620,008	9115111,727	55,116
I52	286624,654	9115111,392	55,104
I53	286628,886	9115110,947	55,127
I54	286624,744	9115109,665	57,786
I55	286623,142	9115108,816	57,402
I56	286616,626	9115109,598	58,02
I57	286611,568	9115110,764	57,741
I58	286604,759	9115112,639	59,265
I59	286604,719	9115109,365	61,133
I60	286609,922	9115107,768	61,505
I61	286615,882	9115106,797	61,446
I62	286622,886	9115105,965	60,771
I63	286626,224	9115107,055	60,854
I64	286627,894	9115102,632	63,571
I65	286616,183	9115105,841	62,285
I66	286609,469	9115106,892	63,083
I67	286604,488	9115105,377	64,296
I68	286600,626	9115105,571	63,617
I69	286618,482	9115112,395	56,486
I70	286611,427	9115113,11	57,372
I71	286606,755	9115115,18	57,155
I72	286609,653	9115124,295	54,378
I73	286605,389	9115103,575	64,91
I74	286595,49	9115108,718	63,356
I75	286592,634	9115107,395	65,024
I76	286591,349	9115108,018	64,898
I77	286588,349	9115110,217	65,087
I78	286584,048	9115115,045	65,314
I79	286578,676	9115116,726	68,467
I80	286576,441	9115119,875	68,532
I81	286580,942	9115118,694	65,38
I82	286578,665	9115121,109	66,05
I83	286582,336	9115122,294	62,945

LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO			
SIRGAS2000	a =6378137	Alfa =1/298,257222101	MC = -33
ID_Pto	E (UTM)	N (UTM)	Alt.elipsoidal
I84	286584,995	9115117,987	62,6
I85	286589,219	9115113,178	61,963
I86	286596,8	9115111,958	60,761
I87	286599,061	9115115,989	58,229
I88	286587,879	9115122,309	58,425
I89	286585,162	9115124,503	59,545
I90	286593,406	9115121,252	57,817
I91	286596,731	9115124,106	57,82
J2_	286608,822	9115130,958	53,839

#### ELEMENTOS DA POLIGONAL

Tipo de Poligonal: Aberta

Número de vértices: 1

Número de Pontos Irradiados: 43

----- Espaço para as informações do Georreferenciamento -----

#### DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS PARA O GEORREFERENCIAMENTO

Sistema Geodésico de Referência: SIRGAS2000

#### ORIGEM DO SISTEMA TOPOGRÁFICO LOCAL

Latitude            Longitude            Alt. Elipsoidal

-8°00'02,25493"    -34°56'09,81480"    53,839

#### PONTOS DE CONTROLE - COORDENADAS GEODÉSICAS

Identificação      Latitude              Longitude              Alt. Elipsoidal

J2\_                    -8°00'02,25493"    -34°56'09,81480"    53,839

J1                     -8°00'02,80127"    -34°56'10,02572"    58,583

**RESULTADO  
LEVANTAMENTO GNSS  
PÓS-PROCESSADO**

**Tabela 12: Resultados do levantamento GNSS Pós-processado, na 2ª Travessa da Rua Doradinha – Alto do Eucalipto – Vasco da Gama, Recife - PE - Brasil. Estação Base de Referência: RBMC-IP-RECF. Data: 02/10/2013.**

PÓS-PROCESSADO									
ID do ponto	Coordenadas (m) - UTM - SIRGAS2000			Desvio Padrão (m)			PRECISÃO (m)		Tipo de Solução
	N	E	h	Std Dev N	Std Dev e	Std Dev h	Horizontal	Vertical	
2TDOUR	9114545,939	288509,133	45,383	0,025	0,032	0,03	0,04	0,03	Float
2TDOUR1	9114551,766	288503,299	50,228	0,024	0,033	0,031	0,041	0,031	Partial
2TDOUR2	9114551,707	288505,615	51,871	0,025	0,032	0,03	0,04	0,03	Partial
2TDOUR3	9114552,101	288508,671	51,825	0,025	0,032	0,03	0,04	0,03	Float
2TDOUR4	9114552,57	288508,767	52,168	0,025	0,032	0,03	0,04	0,03	Float
2TDOUR5	9114553,96	288509,618	52,087	0,026	0,032	0,029	0,041	0,029	Partial
2TDOUR6	9114554,87	288511,74	51,844	0,026	0,032	0,029	0,041	0,029	Partial
2TDOUR7	9114555,085	288512,72	51,771	0,025	0,031	0,029	0,04	0,029	Partial
2TDOUR8	9114554,956	288512,543	51,656	0,025	0,031	0,029	0,04	0,029	Partial
2TDOUR9	9114556,391	288512,047	52,298	0,026	0,032	0,029	0,041	0,029	Partial
2TDOUR10	9114546,883	288510,017	45,415	0,055	0,079	0,077	0,097	0,077	Partial
2TDOUR11	9114548,742	288512,979	45,164	0,055	0,079	0,077	0,096	0,077	Partial
2TDOUR12	9114550,102	288510,253	46,789	0,083	0,079	0,077	0,115	0,077	Partial
2TDOUR13	9114551,366	288510,917	46,737	0,083	0,079	0,077	0,115	0,077	Partial
2TDOUR14	9114552,223	288511,387	47,096	0,055	0,079	0,077	0,096	0,077	Partial
2TDOUR15	9114553,284	288511,139	47,97	0,055	0,084	0,08	0,101	0,08	Partial
2TDOUR16	9114553,682	288512,226	47,856	0,055	0,084	0,08	0,1	0,08	Partial
2TDOUR17	9114553,367	288512,593	47,869	0,055	0,084	0,08	0,1	0,08	Partial
2TDOUR18	9114553,005	288513,984	47,415	0,055	0,079	0,077	0,096	0,077	Partial
2TDOUR19	9114551,643	288514,968	45,718	0,055	0,079	0,077	0,096	0,077	Partial
2TDOUR20	9114546,574	288509,886	45,242	0,054	0,079	0,077	0,096	0,077	Partial

**Tabela 13: Resultados do levantamento GNSS Pós-processado, na 3ª Travessa Damolândia – Córrego da Areia – Nova Descoberta - PE - Brasil. Estação Base de Referência: RBMC-IP-RECF RECF. Data: 02/10/2013.**

PÓS-PROCESSADO									
ID do ponto	Coordenadas (m) - UTM - SIRGAS2000			Desvio Padrão (m)			PRECISÃO (m)		Tipo de Solução
	N	E	h	Std Dev N	Std Dev e	Std Dev h	Horizontal	Vertical	
ALTOCAETE	9114990,574	287626,45	44,277	0,022	0,043	0,052	0,048	0,052	Partial
ALTOCAETE1	9114990,809	287626,763	44,283	0,022	0,043	0,052	0,048	0,052	Partial
ALTOCAETE2	9114988,237	287623,616	45,631	0,022	0,043	0,052	0,048	0,052	Partial
ALTOCAETE3	9114983,708	287620,636	46,536	0,023	0,037	0,039	0,044	0,039	Partial
ALTOCAETE4	9114989,722	287622,959	46,559	0,022	0,043	0,052	0,048	0,052	Partial
ALTOCAETE5	9114991,53	287623,718	46,604	0,022	0,036	0,036	0,043	0,036	Partial
ALTOCAETE6	9114992,277	287623,294	46,735	0,022	0,036	0,036	0,043	0,036	Partial
ALTOCAETE7	9114992,358	287623,253	46,684	0,022	0,036	0,034	0,042	0,034	Partial
ALTOCAETE8	9114994,091	287623,692	46,797	0,022	0,036	0,034	0,042	0,034	Partial
ALTOCAETE9	9114998,222	287626,004	46,677	0,025	0,04	0,037	0,047	0,037	Partial
ALTOCAETE10	9115000,351	287622,022	46,939	0,021	0,045	0,054	0,05	0,054	Partial
ALTOCAETE11	9114999,606	287626,016	46,628	0,023	0,037	0,039	0,044	0,039	Partial
ALTOCAETE12	9114999,639	287627,393	45,765	0,025	0,037	0,039	0,045	0,039	Partial
ALTOCAETE13	9115002,42	287629,8	45,543	0,023	0,037	0,039	0,044	0,039	Partial
ALTOCAETE14	9115006,292	287631,1	45,519	0,026	0,035	0,034	0,044	0,034	Partial
ALTOCAETE15	9115003,147	287628,23	46,006	0,026	0,035	0,034	0,044	0,034	Partial
ALTOCAETE16	9115003,846	287628,786	46,271	0,026	0,035	0,034	0,044	0,034	Partial
ALTOCAETE17	9115006,745	287630,185	44,77	0,027	0,034	0,033	0,043	0,033	Partial
ALTOCAETE18	9115014,836	287631,783	44,509	0,034	0,037	0,041	0,05	0,041	Float
ALTOCAETE19	9115010,338	287631,251	44,575	0,032	0,035	0,038	0,047	0,038	Partial
ALTOCAETE20	9115006,966	287630,958	44,063	0,027	0,034	0,033	0,043	0,033	Partial
ALTOCAETE21	9115009,409	287632,238	44,137	0,03	0,033	0,033	0,045	0,033	Partial
ALTOCAETE22	9115011,619	287633,148	43,854	0,03	0,038	0,034	0,048	0,034	Partial

PÓS-PROCESSADO									
ID do ponto	Coordenadas (m) - UTM - SIRGAS2000			Desvio Padrão (m)			PRECISÃO (m)		Tipo de Solução
	N	E	h	Std Dev N	Std Dev e	Std Dev h	Horizontal	Vertical	
ALTOCAETE23	9115016,647	287633,738	44,355	0,026	0,039	0,035	0,046	0,035	Partial
ALTOCAETE24	9115017,782	287634,081	44,088	0,026	0,039	0,035	0,047	0,035	Partial
ALTOCAETE25	9115018,387	287634,451	43,991	0,026	0,039	0,035	0,047	0,035	Partial
ALTOCAETE26	9115021,179	287638,834	40,729	0,034	0,041	0,043	0,053	0,043	Partial
ALTOCAETE27	9115015,347	287638,746	53,119	0,039	0,039	0,036	0,055	0,036	Partial
ALTOCAETE28	9115014,524	287639,342	51,65	0,037	0,037	0,04	0,053	0,04	Partial
ALTOCAETE29	9115014,705	287639,799	50,944	0,037	0,038	0,04	0,053	0,04	Partial
ALTOCAETE30	9115013,854	287637,08	44,965	0,052	0,073	0,072	0,089	0,072	Partial
ALTOCAETE31	9115013,836	287637,068	44,861	0,05	0,061	0,059	0,079	0,059	Partial
ALTOCAETE32	9115015,419	287639,066	41,462	0,032	0,031	0,029	0,044	0,029	Fixed
ALTOCAETE33	9115018,806	287639,949	41,7	0,026	0,032	0,03	0,041	0,03	Fixed
ALTOCAETE34	9115017,241	287639,354	41,633	0,026	0,032	0,03	0,041	0,03	Partial
ALTOCAETE35	9115013,22	287636,411	42,239	0,025	0,035	0,037	0,043	0,037	Fixed
ALTOCAETE36	9115011,987	287638,252	42,042	0,025	0,035	0,037	0,043	0,037	Fixed
ALTOCAETE37	9115013,344	287639,15	42,274	0,024	0,034	0,036	0,042	0,036	Partial
ALTOCAETE38	9115013,833	287637,994	42,534	0,025	0,03	0,03	0,04	0,03	Partial
ALTOCAETE39	9115012,037	287638,554	41,402	0,025	0,031	0,03	0,04	0,03	Partial
ALTOCAETE40	9115010,051	287636,771	41,633	0,025	0,032	0,03	0,041	0,03	Fixed
ALTOCAETE41	9115008,886	287636,229	42,232	0,025	0,033	0,03	0,041	0,03	Fixed
ALTOCAETE42	9115006,741	287635,679	42,495	0,025	0,033	0,03	0,041	0,03	Fixed
ALTOCAETE43	9115006,653	287635,874	42,537	0,025	0,031	0,03	0,04	0,03	Fixed
ALTOCAETE44	9115006,111	287636,79	42,362	0,025	0,031	0,03	0,04	0,03	Fixed
ALTOCAETE45	9115005,083	287635,511	42,48	0,025	0,033	0,03	0,041	0,03	Fixed
ALTOCAETE46	9115003,068	287634,969	42,029	0,025	0,031	0,03	0,04	0,03	Fixed
ALTOCAETE47	9115001,412	287634,007	42,274	0,025	0,033	0,03	0,041	0,03	Fixed

PÓS-PROCESSADO									
ID do ponto	Coordenadas (m) - UTM - SIRGAS2000			Desvio Padrão (m)			PRECISÃO (m)		Tipo de Solução
	N	E	h	Std Dev N	Std Dev e	Std Dev h	Horizontal	Vertical	
ALTOCAETE48	9115000,267	287633,11	42,347	0,025	0,031	0,03	0,04	0,03	Fixed
ALTOCAETE49	9114999,384	287632,137	42,461	0,025	0,033	0,031	0,041	0,031	Fixed
ALTOCAETE50	9114998,573	287630,95	42,607	0,025	0,033	0,031	0,041	0,031	Fixed
ALTOCAETE51	9114998,245	287630,876	42,684	0,025	0,033	0,031	0,041	0,031	Fixed
ALTOCAETE52	9114996,988	287630,519	42,025	0,024	0,033	0,031	0,041	0,031	Fixed
ALTOCAETE53	9114996,689	287629,324	40,789	0,031	0,032	0,03	0,045	0,03	Partial
ALTOCAETE54	9114996,907	287628,876	40,552	0,037	0,033	0,03	0,049	0,03	Partial
ALTOCAETE55	9114995,321	287627,914	40,087	0,024	0,034	0,032	0,042	0,032	Partial
ALTOCAETE56	9114993,755	287626,767	39,932	0,023	0,036	0,038	0,043	0,038	Partial
ALTOCAETE57	9114992,431	287626,511	39,789	0,023	0,036	0,038	0,043	0,038	Partial
ALTOCAETE58	9114991,057	287626,027	40,096	0,023	0,036	0,038	0,043	0,038	Partial

**Tabela 14: Resultados do levantamento GNSS RTK-NTRIP, na Rua Arabela, Alto da Brasileira – Nova Descoberta, Recife - PE - Brasil.  
Estação Base de Referência: RBMC-IP-RECF RECF. Data: 02/10/2013.**

PÓS-PROCESSADO									
ID do ponto	Coordenadas (m) - UTM - SIRGAS2000			Desvio Padrão (m)			PRECISÃO (m)		Tipo de Solução
	N	E	h	Std Dev N	Std Dev e	Std Dev h	Horizontal	Vertical	
ARABELA4									
ARABELA3	9115122,673	287107,104	51,17	0,021	0,033	0,031	0,039	0,031	Fixed
ARABELA2	9115124,701	287109,144	49,688	0,021	0,033	0,031	0,039	0,031	Partial
ARABELA1	9115118,484	287107,885	46,971	0,021	0,033	0,031	0,039	0,031	Partial
ARABELA5	9115114,161	287107,824	43,753	0,021	0,033	0,031	0,039	0,031	Partial
ARABELA6	9115112,436	287104,239	42,522	0,021	0,033	0,031	0,039	0,031	Partial
ARABELA7	9115112,356	287104,295	42,501	0,041	0,029	0,028	0,05	0,028	Fixed
ARABELA8	9115113,496	287108,804	42,584	0,021	0,033	0,031	0,039	0,031	Fixed
ARABELA9	9115110,359	287100,185	42,595	0,022	0,033	0,031	0,039	0,031	Fixed
ARABELA10	9115108,764	287096,958	42,903	0,04	0,029	0,028	0,05	0,028	Fixed
ARABELA11	9115107,359	287093,495	44,074	0,04	0,029	0,028	0,05	0,028	Fixed
ARABELA12	9115102,926	287087,047	44,39	0,022	0,033	0,031	0,039	0,031	Fixed
ARABELA13	9115102,992	287087,137	44,404	0,022	0,033	0,031	0,039	0,031	Fixed
ARABELA14	9115105,712	287094,005	43,434	0,022	0,033	0,031	0,039	0,031	Partial
ARABELA15	9115111,272	287103,39	42,54	0,022	0,033	0,031	0,039	0,031	Partial
ARABELA16	9115123,523	287107,224	50,67	0,038	0,03	0,029	0,048	0,029	Fixed
ARABELA17	9115119,566	287098,467	53,997	0,028	0,046	0,043	0,054	0,043	Partial
ARABELA18	9115118,635	287098,943	54,206	0,028	0,046	0,043	0,054	0,043	Partial
ARABELA19	9115118,96	287099,083	54,402	0,028	0,046	0,043	0,054	0,043	Partial
ARABELA20	9115116,798	287095,102	47,749	0,036	0,045	0,042	0,058	0,042	Partial
ARABELA21	9115116,176	287095,555	47,498	0,028	0,046	0,043	0,054	0,043	Partial
ARABELA22	9115113,362	287091,235	47,504	0,028	0,046	0,043	0,054	0,043	Partial

PÓS-PROCESSADO									
ID do ponto	Coordenadas (m) - UTM - SIRGAS2000			Desvio Padrão (m)			PRECISÃO (m)		Tipo de Solução
	N	E	h	Std Dev N	Std Dev e	Std Dev h	Horizontal	Vertical	
ARABELA4									
ARABELA23	9115113,265	287085,798	47,822	0,028	0,046	0,043	0,054	0,043	Partial
ARABELA24	9115111,286	287064,76	52,32	0,018	0,027	0,025	0,032	0,025	Partial
ARABELA25	9115110,77	287068,047	51,366	0,023	0,026	0,025	0,035	0,025	Partial
ARABELA26	9115105,502	287063,927	46,755	0,021	0,027	0,026	0,034	0,026	Float
ARABELA27	9115105,298	287066,31	47,36	0,02	0,029	0,027	0,035	0,027	Float
ARABELA28	9115109,892	287074,469	49,306	0,036	0,039	0,036	0,053	0,036	Partial
ARABELA29	9115108,725	287076,388	48,567	0,022	0,039	0,037	0,045	0,037	Partial
ARABELA30	9115108,655	287076,343	48,53	0,022	0,039	0,037	0,045	0,037	Partial
ARABELA31	9115108,509	287077,086	48,523	0,022	0,039	0,037	0,045	0,037	Partial
ARABELA32	9115127,26	287085,614	57,148	0,023	0,032	0,028	0,039	0,028	Fixed
ARABELA33	9115127,764	287086,7	57,144	0,023	0,032	0,028	0,039	0,028	Fixed
ARABELA34	9115128,175	287087,956	56,962	0,023	0,032	0,028	0,039	0,028	Fixed
ARABELA35	9115127,707	287085,2	57,19	0,023	0,032	0,028	0,039	0,028	Fixed
ARABELA36	9115126,515	287082,73	57,281	0,023	0,032	0,028	0,039	0,028	Fixed
ARABELA37	9115125,304	287084,525	53,726	0,024	0,033	0,029	0,04	0,029	Fixed
ARABELA38	9115125,292	287086,206	53,84	0,023	0,032	0,028	0,039	0,028	Partial
ARABELA39	9115125,394	287086,019	53,799	0,023	0,032	0,028	0,039	0,028	Partial
ARABELA40	9115124,965	287084,983	53,714	0,023	0,032	0,028	0,039	0,028	Partial
ARABELA41	9115124,465	287082,598	53,579	0,023	0,032	0,028	0,04	0,028	Partial

**Tabela 15: Resultados do levantamento GNSS RTK-NTRIP, na Rua Baianópolis, Córrego do Joaquim – Nova Descoberta, Recife - PE - Brasil. Estação Base de Referência: RBMC-IP-RECF RECF. Data: 02/10/2013**

PÓS-PROCESSADO									
ID do ponto	Coordenadas (m) - UTM - SIRGAS2000			Desvio Padrão (m)			PRECISÃO (m)		Tipo de Solução
	N	E	h	Std Dev N	Std Dev e	Std Dev h	Horizontal	Vertical	
BAIANO14	9115304,025	286720,865	58,932	0,027	0,037	0,032	0,045	0,032	Partial
BAIANO15	9115308,904	286718,104	59,422	0,026	0,033	0,031	0,042	0,031	Partial
BAIANO16	9115312,38	286716,086	61,557	0,026	0,036	0,035	0,045	0,035	Partial
BAIANO17	9115322,564	286709,997	63,994	0,026	0,033	0,031	0,042	0,031	Partial
BAIANO18	9115317,165	286713,121	63,371	0,026	0,033	0,031	0,042	0,031	Partial
BAIANO19	9115296,638	286722,517	55,607	0,054	0,066	0,06	0,086	0,06	Partial
BAIANO20	9115301,261	286720,492	56,237	0,054	0,066	0,06	0,086	0,06	Partial
BAIANO21	9115301,163	286719,886	55,686	0,051	0,09	0,072	0,103	0,072	Partial
BAIANO22	9115301,518	286719,788	56,012	0,051	0,09	0,072	0,103	0,072	Partial
BAIANO23	9115302,092	286716,376	56,164	0,051	0,089	0,072	0,103	0,072	Partial
BAIANO24	9115302,843	286715,751	56,629	0,051	0,089	0,072	0,103	0,072	Partial
BAIANO25	9115303,599	286713,888	56,245	0,051	0,089	0,072	0,103	0,072	Partial
BAIANO26	9115303,412	286713,725	56,281	0,051	0,089	0,072	0,103	0,072	Partial
BAIANO27	9115304,87	286711,605	56,162	0,051	0,089	0,072	0,103	0,072	Partial
BAIANO28	9115305,804	286708,551	56,219	0,051	0,089	0,072	0,103	0,072	Partial
BAIANO29	9115294,677	286723,546	56,304	0,051	0,088	0,072	0,102	0,072	Partial
BAIANO30	9115294,755	286723,585	56,321	0,051	0,088	0,071	0,102	0,071	Partial

**Tabela 16: Resultados do levantamento GNSS RTK-NTRIP, Rua Bemposta. Alto do Eucalipto, bairro do Vasco da Gama, Recife - PE - Brasil. Estação Base de Referência: RBMC-IP-RECF RECF. Data: 18/07/2014.**

PÓS-PROCESSADO									
ID do ponto	Coordenadas (m) - UTM - SIRGAS2000			Desvio Padrão (m)			PRECISÃO (m)		Tipo de Solução
	N	E	h	Std Dev N	Std Dev e	Std Dev h	Horizontal	Vertical	
G1	9114788,559	288134,692	39,507	0,023	0,03	0,026	0,037	0,026	Parcial
G2	9114788,42	288133,468	39,603	0,023	0,03	0,026	0,037	0,026	Parcial
G3	9114788,656	288132,042	39,726	0,023	0,03	0,026	0,037	0,026	Parcial
G4	9114789,028	288130,166	39,752	0,023	0,03	0,026	0,037	0,026	Parcial
G5	9114789,011	288128,099	39,792	0,022	0,03	0,026	0,037	0,026	Parcial
G6	9114789,531	288127,782	39,904	0,022	0,03	0,026	0,037	0,026	Parcial
G7	9114789,38	288124,282	39,785	0,022	0,03	0,026	0,037	0,026	Parcial
G8	9114789,373	288124,281	39,766	0,022	0,03	0,026	0,037	0,026	Parcial
G9	9114789,903	288120,18	39,721	0,022	0,03	0,026	0,037	0,026	Parcial
G10	9114789,69	288120,073	39,717	0,022	0,03	0,027	0,037	0,027	Parcial
G11	9114789,858	288117,956	39,609	0,022	0,03	0,027	0,037	0,027	Parcial
G12	9114797,056	288132,961	38,571	0,021	0,027	0,024	0,034	0,024	Parcial
G13	9114791,175	288133,88	39,713	0,033	0,024	0,022	0,04	0,022	Fixa
G14	9114789,672	288131,194	39,765	0,023	0,026	0,023	0,035	0,023	Fixa
G15	9114790,556	288126,461	39,818	0,023	0,026	0,023	0,035	0,023	Fixa
G16	9114790,244	288123,994	39,794	0,02	0,027	0,024	0,033	0,024	Fixa
G17	9114790,373	288122,836	39,729	0,02	0,027	0,024	0,033	0,024	Fixa
G18	9114790,531	288117,836	39,647	0,016	0,028	0,024	0,032	0,024	Fixa
G19	9114789,702	288125,841	39,779	0,016	0,028	0,024	0,032	0,024	Fixa
G20	9114793,167	288135,386	39,574	0,019	0,027	0,024	0,033	0,024	Fixa
G21	9114793,781	288135,586	39,632	0,019	0,027	0,024	0,033	0,024	Fixa
G22	9114793,065	288136,689	38,541	0,02	0,027	0,025	0,034	0,025	Fixa

PÓS-PROCESSADO									
ID do ponto	Coordenadas (m) - UTM - SIRGAS2000			Desvio Padrão (m)			PRECISÃO (m)		Tipo de Solução
	N	E	h	Std Dev N	Std Dev e	Std Dev h	Horizontal	Vertical	
G23	9114792,699	288137,662	38,469	0,02	0,027	0,025	0,034	0,025	Fixa
G24	9114787,108	288136,517	36,385	0,026	0,029	0,028	0,039	0,028	Parcial
G25	9114783,804	288135,486	34,836	0,025	0,029	0,028	0,039	0,028	Parcial
G26	9114782,222	288135,675	34,438	0,025	0,029	0,028	0,039	0,028	Parcial
G27	9114780,235	288134,395	33,29	0,025	0,03	0,029	0,039	0,029	Parcial
G28	9114785,148	288134,665	32,056	0,026	0,039	0,031	0,047	0,031	Flutuante
G29	9114783,629	288131,288	32,912	0,029	0,039	0,033	0,049	0,033	Flutuante
G30	9114785,586	288128,904	36,861	0,022	0,03	0,026	0,037	0,026	Parcial
G31	9114785,843	288127,768	36,72	0,022	0,03	0,026	0,037	0,026	Parcial
G32	9114785,973	288125,395	36,757	0,022	0,03	0,026	0,037	0,026	Parcial
G33	9114787,016	288122,985	32,068	0,023	0,033	0,029	0,04	0,029	Parcial
G34	9114786,719	288121,357	31,824	0,024	0,033	0,031	0,041	0,031	Parcial
G35	9114786,847	288121,077	31,919	0,024	0,035	0,032	0,042	0,032	Parcial
G36	9114787,195	288118,829	31,954	0,063	0,028	0,027	0,069	0,027	Parcial
G37	9114784,817	288118,485	33,449	0,063	0,028	0,027	0,069	0,027	Parcial
G38	9114780,083	288119,885	32,947	0,023	0,034	0,029	0,041	0,029	Parcial
G39	9114781,335	288119,388	33,029	0,021	0,034	0,03	0,04	0,03	Parcial
G40	9114779,216	288126,451	36,828	0,022	0,034	0,03	0,041	0,03	Parcial
G41	9114782,668	288129,591	37,6	0,031	0,034	0,029	0,046	0,029	Parcial
G42	9114784,144	288130,013	35,601	0,024	0,037	0,033	0,045	0,033	Parcial
G43	9114784,89	288125,638	35,702	0,024	0,038	0,033	0,045	0,033	Parcial
G44	9114784,969	288125,575	35,705	0,024	0,038	0,033	0,045	0,033	Parcial
G45	9114785,438	288121,508	35,894	0,024	0,038	0,033	0,045	0,033	Parcial
G46	9114785,848	288116,978	35,818	0,023	0,042	0,039	0,048	0,039	Parcial

**Tabela 17: Resultados do levantamento GNSS RTK-NTRIP, Subida para o Alto do Reservatório – Córrego do Joaquim, bairro de Nova Descoberta, Recife - PE - Brasil. Estação Base de Referência: RBMC-IP-RECF RECF. Data: 18/07/2014**

PÓS-PROCESSADO									
ID do ponto	Coordenadas (m) - UTM - SIRGAS2000			Desvio Padrão (m)			PRECISÃO (m)		Tipo de Solução
	N	E	h	Std Dev N	Std Dev E	Std Dev h	Horizontal	Vertical	
P1	9115104,109	286603,931	64,303	0,025	0,034	0,042	0,032	0,023	Fixed
P2	9115104,438	286605,976	65,202	0,018	0,034	0,038	0,028	0,022	Partial
P3	9115104,663	286606,472	65,241	0,018	0,034	0,038	0,028	0,022	Partial
P4	9115104,21	286607,93	65,151	0,016	0,034	0,037	0,028	0,022	Partial
P5	9115104,028	286609,858	65,125	0,026	0,034	0,043	0,032	0,023	Fixed
P6	9115101,637	286612,291	65,144	0,026	0,034	0,043	0,032	0,023	Fixed
P7	9115103,155	286613,662	64,536	0,016	0,034	0,038	0,028	0,022	Fixed
P8	9115102,833	286615,418	64,461	0,016	0,034	0,038	0,028	0,022	Fixed
P9	9115102,332	286616,993	64,51	0,016	0,034	0,038	0,028	0,022	Fixed
P10	9115102,373	286618,484	64,389	0,027	0,034	0,043	0,032	0,023	Fixed
P11	9115101,774	286621,092	64,442	0,029	0,034	0,045	0,033	0,022	Fixed
P12	9115101,897	286621,541	64,36	0,029	0,034	0,045	0,034	0,022	Fixed
P13	9115102,06	286622,912	64,303	0,029	0,034	0,045	0,034	0,022	Fixed
P14	9115101,691	286624,149	64,238	0,027	0,05	0,057	0,044	0,029	Fixed
P15	9115101,759	286625,785	64,2	0,027	0,05	0,057	0,044	0,029	Fixed
P16	9115101,77	286627,361	64,25	0,027	0,05	0,057	0,044	0,029	Fixed
P17	9115102,989	286597,94	63,885	0,04	0,059	0,071	0,035	0,025	Fixed
P18	9115103,373	286597,066	63,474	0,04	0,059	0,071	0,035	0,025	Fixed
P19	9115103,963	286596,063	63,275	0,042	0,061	0,074	0,036	0,03	Fixed
P20	9115103,746	286596,504	63,605	0,042	0,061	0,074	0,036	0,03	Fixed
P21	9115107,589	286599,616	61,352	0,041	0,059	0,071	0,035	0,025	Fixed

PÓS-PROCESSADO									
ID do ponto	Coordenadas (m) - UTM - SIRGAS2000			Desvio Padrão (m)			PRECISÃO (m)		Tipo de Solução
	N	E	h	Std Dev N	Std Dev E	Std Dev h	Horizontal	Vertical	
P22	9115113,432	286608,252	56,436	0,043	0,059	0,073	0,035	0,025	Fixed
P23	9115113,428	286608,275	56,477	0,043	0,059	0,073	0,035	0,025	Fixed
P24	9115112,834	286610,279	56,404	0,043	0,059	0,073	0,035	0,025	Fixed
P25	9115113,211	286610,856	56,668	0,043	0,059	0,073	0,035	0,025	Fixed
P26	9115112,183	286613,237	56,438	0,043	0,059	0,073	0,035	0,025	Fixed
P27	9115113,249	286614,554	56,649	0,044	0,058	0,073	0,035	0,025	Fixed
P28	9115112,057	286616,907	56,484	0,044	0,058	0,073	0,035	0,025	Fixed
P29	9115111,467	286618,917	56,348	0,044	0,058	0,073	0,035	0,025	Fixed
P30	9115111,197	286621,007	56,626	0,044	0,058	0,073	0,035	0,025	Fixed
P31	9115111,312	286622,426	56,569	0,044	0,058	0,073	0,035	0,025	Fixed
P32	9115111,169	286625,478	56,264	0,044	0,06	0,074	0,036	0,026	Fixed
P33	9115111,031	286627,245	56,177	0,044	0,06	0,074	0,036	0,026	Fixed
P34	9115111,549	286621,433	56,507	0,026	0,031	0,04	0,03	0,022	Fixed
P35	9115111,883	286621,187	56,577	0,026	0,031	0,04	0,03	0,022	Fixed
P36	9115115,483	286613,761	58,4	0,021	0,028	0,035	0,034	0,024	Fixed
P37	9115115,569	286613,611	58,432	0,021	0,028	0,035	0,034	0,024	Fixed
P38	9115115,447	286613,103	57,908	0,021	0,028	0,035	0,034	0,024	Fixed
P39	9115112,818	286608,894	56,154	0,026	0,034	0,043	0,029	0,022	Fixed
P40	9115114,537	286606,248	55,913	0,026	0,034	0,043	0,029	0,022	Fixed
P41	9115116,047	286606,896	55,925	0,026	0,034	0,043	0,029	0,022	Fixed
P42	9115120,025	286606,032	56,682	0,026	0,034	0,042	0,029	0,022	Fixed
P43	9115124,287	286614,448	55,394	0,026	0,055	0,061	0,039	0,028	Fixed
P44	9115124,306	286613,777	55,216	0,026	0,055	0,061	0,039	0,028	Fixed
P45	9115123,067	286617,168	55,283	0,029	0,055	0,063	0,04	0,028	Fixed
P46	9115123,942	286615,228	55,357	0,03	0,055	0,063	0,04	0,028	Fixed

PÓS-PROCESSADO									
ID do ponto	Coordenadas (m) - UTM - SIRGAS2000			Desvio Padrão (m)			PRECISÃO (m)		Tipo de Solução
	N	E	h	Std Dev N	Std Dev E	Std Dev h	Horizontal	Vertical	
P47	9115130,98	286606,811	54,654	0,015	0,029	0,033	0,032	0,023	Fixed
P48	9115130,915	286606,697	54,657	0,015	0,029	0,033	0,032	0,023	Fixed
P49	9115131,984	286605,083	54,832	0,015	0,029	0,033	0,032	0,023	Fixed
P50	9115132,584	286604,613	54,977	0,015	0,029	0,033	0,032	0,023	Fixed
P51	9115133,358	286602,135	55,015	0,015	0,029	0,033	0,032	0,023	Fixed
P52	9115133,909	286599,137	54,955	0,015	0,029	0,033	0,032	0,023	Fixed
P53	9115134,959	286596,995	55,111	0,015	0,029	0,033	0,032	0,023	Fixed
P54	9115135,874	286595,157	55,644	0,015	0,029	0,033	0,032	0,023	Fixed
P55	9115135,968	286593,143	55,295	0,015	0,029	0,033	0,032	0,023	Fixed
P56	9115136,909	286592,444	56,103	0,015	0,029	0,033	0,032	0,023	Fixed
P57	9115136,143	286595,957	55,421	0,015	0,029	0,033	0,032	0,023	Fixed
P58	9115134,191	286599,032	55,039	0,015	0,029	0,033	0,032	0,023	Fixed
P59	9115139,268	286605,294	55,624	0,015	0,029	0,033	0,044	0,031	Partial
P60	9115141,498	286604,298	55,1	0,015	0,029	0,033	0,044	0,031	Fixed
P61	9115122,129	286599,793	59,043	0,018	0,036	0,041	0,041	0,027	Fixed
P62	9115121,154	286593,817	59,146	0,018	0,036	0,041	0,041	0,027	Fixed
P63	9115128,043	286596,203	59,169	0,018	0,036	0,041	0,04	0,027	Fixed
P64	9115129,465	286593,307	59,122	0,018	0,036	0,041	0,04	0,027	Fixed
P65	9115129,683	286593,654	59,06	0,018	0,036	0,041	0,04	0,027	Fixed
P66	9115130,871	286592,824	59,236	0,018	0,036	0,041	0,04	0,027	Fixed
P67	9115129,958	286591,518	59,238	0,018	0,036	0,041	0,04	0,027	Fixed
P68	9115137,234	286587,246	60,081	0,018	0,037	0,041	0,042	0,031	Fixed
P69	9115137,287	286586,588	60,176	0,018	0,037	0,041	0,042	0,031	Fixed
P70	9115134,093	286582,815	59,842	0,021	0,036	0,042	0,043	0,032	Fixed
P71	9115137,836	286588,141	59,639	0,018	0,037	0,041	0,042	0,031	Fixed

PÓS-PROCESSADO									
ID do ponto	Coordenadas (m) - UTM - SIRGAS2000			Desvio Padrão (m)			PRECISÃO (m)		Tipo de Solução
	N	E	h	Std Dev N	Std Dev E	Std Dev h	Horizontal	Vertical	
P72	9115135,886	286589,466	59,901	0,018	0,037	0,041	0,042	0,031	Fixed
P73	9115134,006	286591,506	59,592	0,018	0,036	0,041	0,042	0,031	Fixed
P74	9115132,847	286592,851	59,478	0,018	0,036	0,041	0,042	0,031	Fixed
P75	9115130,68	286594,695	59,285	0,018	0,036	0,041	0,042	0,031	Fixed
P76	9115130,307	286597,385	59,132	0,018	0,036	0,04	0,04	0,027	Fixed
P77	9115129,195	286599,246	59,139	0,018	0,036	0,04	0,04	0,027	Fixed
P78	9115128,082	286599,534	59,365	0,018	0,036	0,04	0,04	0,027	Fixed
P79	9115126,857	286601,712	59,197	0,018	0,036	0,04	0,04	0,027	Fixed
P80	9115131,077	286608,827	53,152	0,018	0,043	0,047	0,038	0,029	Fixed
P81	9115114,176	286602,46	57,902	0,018	0,036	0,04	0,034	0,027	Partial

**POSICIONAMENTO GNSS RTK-NTRIP  
X  
POSICIONAMENTO GNSS PÓS-PROCESSADO**

**Tabela 18: Resultados do levantamento GNSS Pós-processado, na 2ª Travessa da Rua Doradinha – Alto do Eucalipto – Vasco da Gama, Recife - PE - Brasil. Estação Base de Referência: RBMC-IP-RECF. Data: 02/10/2013.**

Diferença RTK-NTRIP x Pós-processada			
dN (dφ) m	dE (dλ) m	dh (dh)m	Δφλ
0,290	0,872	0,462	0,919
-0,347	-2,297	0,796	2,323
-0,754	-3,172	-0,985	3,260
-1,667	-0,964	-0,899	1,926
-1,850	-0,898	-0,965	2,056
-1,392	-2,102	-1,081	2,521
-0,012	-1,443	-1,864	1,443
-2,295	-1,318	-0,777	2,647
-3,041	-1,175	-0,628	3,260
3,665	7,673	-1,299	8,503
-2,098	-1,747	0,916	2,730
-1,229	2,890	2,211	3,140
-1,002	0,212	0,932	1,024
-0,816	-0,235	0,891	0,849
-1,001	0,441	1,438	1,094
-0,293	-0,865	0,428	0,913
0,025	-0,878	0,688	0,878
0,808	-1,238	-0,810	1,478
1,447	-0,821	-1,165	1,664
1,501	1,532	0,105	2,145
0,094	0,157	0,519	0,183

**Tabela 19: Resultados do levantamento GNSS Pós-processado, na 3ª Travessa Damolândia – Córrego da Areia – Nova Descoberta - PE - Brasil. Estação Base de Referência: RBMC-IP-RECF RECF. Data: 02/10/2013.**

Diferença RTK-NTRIP x Pós-processada			
dN (dφ) m	dE (dλ) m	dh (dh)m	Δφλ
0,367	-0,995	1,279	1,061
5,689	1,398	1,268	5,858
2,107	1,547	2,179	2,614
-6,543	-2,812	1,311	7,122
-1,242	-1,412	1,263	1,881
-0,314	-0,122	1,201	0,337
-1,302	-0,966	1,165	1,621
-3,560	-1,904	1,316	4,037
-3,602	-2,851	0,954	4,594
-1,709	6,301	1,854	6,529
1,226	-6,025	0,054	6,148
-2,229	-4,434	0,223	4,963
-3,199	-4,244	0,928	5,315
-3,333	-1,945	1,293	3,859
3,959	2,638	1,634	4,757
-2,626	-1,030	1,185	2,821
-1,726	-1,681	0,780	2,409
-6,935	-2,374	2,228	7,330
9,148	-0,223	2,572	9,151
2,308	-1,910	2,466	2,996
-1,668	-3,770	2,174	4,123
-1,409	-1,999	2,818	2,446
-2,222	-1,190	3,120	2,521
-0,199	-0,971	2,146	0,991
0,676	-1,035	2,377	1,236
0,787	-3,342	0,674	3,433
1,254	-0,845	3,000	1,512
-1,363	2,256	-9,009	2,636
-2,539	1,237	-8,707	2,824
0,949	2,881	-7,039	3,033
0,199	0,199	-1,271	0,281
2,174	1,387	-0,741	2,579
-3,884	-1,129	0,106	4,045
1,503	0,771	-0,114	1,689
2,996	1,101	-0,215	3,192

Diferença RTK-NTRIP x Pós-processada			
dN (dφ) m	dE (dλ) m	dh (dh)m	$\Delta\phi\lambda$
-0,081	-2,762	-0,060	2,763
-1,792	0,349	0,606	1,826
0,931	1,763	0,213	1,994
1,701	-0,639	-0,965	1,817
2,031	1,762	0,212	2,689
1,097	0,730	0,580	1,318
0,144	0,651	1,350	0,667
0,125	-0,171	0,048	0,212
0,572	-1,001	-0,147	1,153
2,081	2,603	0,093	3,333
2,451	0,347	-0,436	2,475
1,888	0,993	0,221	2,133
0,908	-0,592	-0,594	1,084
0,781	0,919	0,117	1,206
1,038	1,170	0,207	1,564
0,830	0,206	0,170	0,855
1,553	0,722	-0,648	1,713
1,080	-1,339	-0,400	1,720
1,264	-0,077	0,626	1,266
1,918	-0,731	0,825	2,053
2,146	0,043	1,288	2,146
1,503	-1,405	1,391	2,057
1,247	-0,564	2,060	1,369
-0,025	-1,512	1,459	1,512

**Tabela 20: Resultados do levantamento GNSS RTK-NTRIP, na Rua Arabela, Alto da Brasileira – Nova Descoberta, Recife - PE - Brasil. Estação Base de Referência: RBMC-IP-RECF RECF. Data: 02/10/2013.**

Diferença RTK-NTRIP x Pós-processada			
dN (dφ) m	dE (dλ) m	dh (dh)m	Δφλ
-	-	-	-
1,621	0,174	-1,558	1,630
5,690	2,224	-3,144	6,109
4,089	-0,848	-3,658	4,176
0,216	3,584	0,059	3,591
0,093	-0,041	-1,155	0,102
-1,201	-4,498	-1,169	4,656
3,117	8,686	-1,169	9,228
1,602	3,251	-0,826	3,624
2,289	3,491	-0,090	4,175
2,287	2,588	-0,882	3,454
-0,038	0,015	-1,122	0,041
0,531	1,313	-0,504	1,416
0,038	-0,001	-0,997	0,038
-0,027	-0,056	-1,083	0,062
-0,270	0,625	-0,461	0,681
0,572	-0,766	-3,414	0,956
-1,321	0,202	-3,766	1,336
-3,335	-0,339	-2,114	3,352
0,536	0,129	2,502	0,551
2,764	4,864	2,780	5,594
0,999	4,732	3,199	4,836
2,077	9,462	3,141	9,687
0,022	-0,009	-0,093	0,024
5,648	4,183	-3,974	7,028
0,564	-2,325	1,133	2,392
-1,537	-3,383	1,672	3,716
2,177	-2,234	-0,306	3,119
1,162	-0,767	0,228	1,392
2,142	-3,231	-0,235	3,877
2,069	-3,228	-0,642	3,834
-0,080	0,186	-0,052	0,202
-0,346	-1,246	-0,225	1,293
-0,445	0,421	0,370	0,613

Diferença RTK-NTRIP x Pós-processada			
dN (dφ) m	dE (dλ) m	dh (dh)m	Δφλ
1,097	1,549	-0,011	1,898
0,273	,965	0,044	1,003
0,016	-1,587	-2,052	1,587
-0,094	0,202	-2,172	0,223
0,453	1,025	-2,260	1,121
0,508	2,393	-2,225	2,446
0,113	1,890	-2,089	1,893

**Tabela 21: Resultados do levantamento GNSS RTK-NTRIP, na Rua Baianópolis, Córrego do Joaquim – Nova Descoberta, Recife - PE - Brasil. Estação Base de Referência: RBMC-IP-RECF RECF. Data: 02/10/2013**

Diferença RTK-NTRIP x Pós-processada			
dN (dφ) m	dE (dλ) m	dh (dh)m	$\Delta\phi\lambda$
-3,806	2,157	-0,565	4,375
0,329	0,661	-1,787	0,738
-10,470	7,136	-1,001	12,671
-0,495	0,784	-1,217	0,927
0,080	0,484	-4,365	0,491
-5,408	1,995	-2,171	5,764
-0,450	0,488	-3,373	0,664
-2,392	3,340	-2,145	4,108
-1,236	3,353	-2,643	3,574
-2,186	2,409	-1,651	3,253
-0,747	1,817	-2,239	1,965
-1,993	2,229	-1,745	2,990
-1,378	2,396	-2,087	2,764
-1,610	2,981	-1,620	3,388
2,868	-0,734	-2,307	2,960
-0,846	-0,237	-1,990	0,879
-4,451	-1,313	-0,568	4,641

**Tabela 22: Resultados do levantamento GNSS RTK-NTRIP, Rua Bemposta. Alto do Eucalipto, bairro do Vasco da Gama, Recife - PE - Brasil. Estação Base de Referência: RBMC-IP-RECF RECF. Data: 18/07/2014.**

Diferença RTK-NTRIP x Pós-processada			
dN (dφ) m	dE (dλ) m	dh (dh)m	Δφλ
0,273	-0,250	0,004	0,370
-0,008	0,062	0,010	0,063
0,088	0,088	-0,012	0,124
0,257	0,148	-0,010	0,297
0,030	0,007	-0,041	0,031
0,364	1,603	-0,151	1,644
0,037	0,008	-0,040	0,038
-0,135	2,235	-0,068	2,239
0,248	0,126	-0,035	0,278
-0,071	2,106	-0,127	2,107
0,034	1,667	-0,122	1,667
-0,050	0,219	1,253	0,225
1,139	2,066	-0,008	2,359
-0,833	4,772	-0,003	4,844
0,186	0,193	-0,082	0,268
-0,085	1,167	-0,070	1,170
-0,152	3,445	-0,091	3,448
-0,356	2,067	-0,203	2,097
0,042	0,026	-0,042	0,049
0,011	0,005	-0,038	0,012
-0,506	0,045	-0,141	0,508
0,074	0,148	-0,099	0,165
-0,192	-0,007	-0,034	0,192
2,678	0,025	-1,481	2,678
-0,821	0,128	0,029	0,831
1,283	1,313	-1,081	1,836
-0,235	-0,998	0,105	1,025
0,313	0,747	1,892	0,810
-1,967	0,482	1,064	2,025
-0,343	0,179	-2,760	0,387
-0,209	1,441	-2,557	1,456
-0,066	1,196	-2,560	1,198
0,856	0,769	2,188	1,151
0,592	1,064	2,153	1,218
0,459	2,723	2,227	2,761

Diferença RTK-NTRIP x Pós-processada			
dN (dφ) m	dE (dλ) m	dh (dh)m	Δφλ
0,763	0,689	2,326	1,028
-1,535	0,805	0,909	1,733
-0,612	0,229	0,934	0,653
2,003	-1,587	0,692	2,555
1,316	-3,268	-3,006	3,523
1,333	-1,019	-3,384	1,678
-0,062	-0,630	-1,663	0,633
-0,197	-0,521	-1,670	0,557
-0,595	3,307	-1,530	3,360
0,019	0,586	-1,931	0,586
-1,832	-1,393	-3,035	2,301

**Tabela 23: Resultados do levantamento GNSS RTK-NTRIP, Subida para o Alto do Reservatório – Córrego do Joaquim, bairro de Nova Descoberta, Recife - PE - Brasil. Estação Base de Referência: RBMC-IP-RECF RECF. Data: 18/07/2014**

Diferença RTK-NTRIP x Pós-processada			
dN (dφ) m	dE (dλ) m	dh (dh)m	Δφλ
-0,05	0,02	0,6	0,054
0,084	0,256	-0,391	0,269
-0,209	1,477	-0,546	1,492
0,028	1,614	-0,521	1,614
-0,136	1,26	-0,66	1,267
1,525	1,361	-0,886	2,044
-0,325	1,735	-0,366	1,765
-0,361	1,366	-0,343	1,413
0,048	1,464	-0,411	1,465
0,009	1,528	-0,439	1,528
0,183	0,137	-0,293	0,229
0,158	1,367	-0,433	1,376
-0,312	1,408	-0,424	1,442
0,106	1,671	-0,369	1,674
0,033	1,61	-0,276	1,610
-0,004	2,19	-0,599	2,190
-0,139	0,011	0,549	0,139
-0,031	0,032	0,526	0,045
0,068	0,01	0,627	0,069
5,137	4,01	-2,311	6,517
1,905	-0,312	-0,063	1,930
0,02	-0,812	-1,163	0,812
-0,341	1,314	-1,176	1,358
-0,226	0,605	-1,279	0,646
-0,958	1,539	-1,373	1,813
0,206	1,062	-1,087	1,082
-0,813	1,485	-1,348	1,693
-0,531	1,208	-1,314	1,320
-0,339	1,473	-1,13	1,512
-0,232	1,788	-1,519	1,803
-0,225	2,161	-1,557	2,173
-0,353	0,795	-1,316	0,870
0,072	-0,848	-1,066	0,851

Diferença RTK-NTRIP x Pós-processada			
dN (dφ) m	dE (dλ) m	dh (dh)m	Δφλ
0,454	0,321	-1,552	0,556
1,391	-3,798	-1,673	4,045
-0,738	-0,292	-3,088	0,794
-0,929	-0,736	-3,672	1,185
-2,208	-1,28	-2,904	2,552
2,295	-2,443	-1,003	3,352
2,052	0,861	-0,805	2,225
1,307	-0,528	-0,839	1,410
4,451	3,441	-2,29	5,626
0,029	-0,751	-1,324	0,752
-1,928	2,31	-1,159	3,009
0,119	-0,242	-1,2	0,270
-0,601	1,733	-1,24	1,834
0,078	-0,286	-0,798	0,296
1,19	-1,673	-0,613	2,053
0,648	-2,021	-0,777	2,122
0,551	-3,149	-0,955	3,197
0,711	-3,172	-0,835	3,251
1,187	-2,301	-0,624	2,589
1,3	-1,903	-0,504	2,305
0,493	-1,656	-0,439	1,728
1,298	-0,739	0,007	1,494
0,997	0,109	-0,89	1,003
-0,028	0,534	-1,2	0,535
-0,265	1,647	-1,125	1,668
2,867	-0,283	-1,85	2,881
0,634	0,715	-1,332	0,956
-1,009	-5,978	-1,422	6,063
3,228	3,688	-1,566	4,901
1,415	-2,913	-1,541	3,238
0,204	0,336	-1,549	0,393
1,146	-0,941	-1,339	1,483
-1,041	-1,343	-1,475	1,699
1,232	-0,328	-1,259	1,275
-0,752	0,823	-2,059	1,115
-3,235	-3,791	-1,866	4,984
3,775	5,819	-1,834	6,936
-2,229	1,982	-1,388	2,983
-1,454	2,567	-1,902	2,950
-0,531	2,159	-1,732	2,223
-1,3	2,816	-1,747	3,102

<b>Diferença RTK-NTRIP x Pós-processada</b>			
<b>dN (dφ) m</b>	<b>dE (dλ) m</b>	<b>dh (dh)m</b>	<b>Δφλ</b>
-0,435	2,6	-1,664	2,636
-1,068	1,743	-1,504	2,044
-1,361	2,253	-1,607	2,632
-1,763	3,697	-2,212	4,096
-0,863	2,255	-2,618	2,414
-0,119	-0,005	0,687	0,119
-0,035	-0,019	0,681	0,040

## **CÁLCULO DA VULNERABILIDADE**

### **TABELAS**

Tabela 24: Cálculo da Vulnerabilidade Física usando Guimarães Silva (2015), a partir de dados Levantamento GNSS técnica RTK-NTRIP  
Local: 1ª Travessa Douradinha, S/N (12A), da localidade Alto do Eucalipto, no bairro Vasco da Gama.

ça/Estrut	COORDENADAS			VARIÁVEIS GEOMÉTRICAS								VARIÁVEIS PARA CÁLCULO DA RESISTÊNCIA					VMORAES		
				H	d'	d	Z	d <sub>H</sub>	d <sub>d</sub>	Δ <sub>H</sub>	Δ <sub>d</sub>	D <sub>fod</sub> (m)	ξ <sub>sfd</sub>	ξ <sub>sty</sub>	ξ <sub>smn</sub>	ξ <sub>sht</sub>	R	T	V
	E (m)	N (m)	h(m)																
DRA1/P9	288513,718	9114557,997	51,028	4,778	6,530	6,530	0,732	-0,157	-0,281	0,025	0,079	0,6	0,441	0,8	1,2	0,1	0,454	1,613	0,977
DRE1/P19	288514,805	9114551,558	46,25																
DRA2/P9h <sub>Max</sub>	288513,718	9114557,997	51,037	4,796	6,530	6,530	0,734	-0,139	-0,281	0,019	0,079	0,6	0,441	0,8	1,2	0,1	0,454	1,619	0,978
DRE2/P9h <sub>Min</sub>	288514,805	9114551,558	46,241																
DRA3/P9h <sub>Min</sub>	288513,718	9114557,997	51,019	4,76	6,530	6,530	0,729	-0,175	-0,281	0,031	0,079	0,6	0,441	0,8	1,2	0,1	0,454	1,607	0,977
DRE3/P9h <sub>Max</sub>	288514,805	9114551,558	46,259																
DRA4/P5	288509,665	9114554,42	51,203	4,872	5,830	5,830	0,836	-0,063	-0,981	0,004	0,963	0,6	0,441	0,8	1,2	0,1	0,454	1,842	0,986
DRE4/P11	288511,764	9114548,981	46,331																
DRA5/P5h <sub>Max</sub>	288509,665	9114554,42	51,212	4,89	5,830	5,830	0,839	-0,045	-0,981	0,002	0,963	0,6	0,441	0,8	1,2	0,1	0,454	1,849	0,986
DRE5/P11h <sub>Min</sub>	288511,764	9114548,981	46,322																
DRA6/P5h <sub>Min</sub>	288509,665	9114554,42	51,194	4,854	5,830	5,830	0,833	-0,081	-0,981	0,007	0,963	0,6	0,441	0,8	1,2	0,1	0,454	1,835	0,985
DRE6/P11h <sub>Max</sub>	288511,764	9114548,981	46,34																
DRA7/P10	288504,374	9114552,726	50,999	5,154	8,074	8,074	0,638	0,219	1,263	0,048	1,595	0,6	0,441	0,8	1,2	0,1	0,454	1,407	0,964
DRE7/P1	288508,261	9114545,649	45,845																
DRA8/P10h <sub>Max</sub>	288504,374	9114552,726	51,024	5,189	8,074	8,074	0,643	0,254	1,263	0,065	1,595	0,6	0,441	0,8	1,2	0,1	0,454	1,416	0,965
DRE8/P1h <sub>Min</sub>	288508,261	9114545,649	45,835																
DRA9/P10h <sub>Min</sub>	288504,374	9114552,726	50,974	5,119	8,074	8,074	0,634	0,184	1,263	0,034	1,595	0,6	0,441	0,8	1,2	0,1	0,454	1,397	0,963
DRE9/P1h <sub>Max</sub>	288508,261	9114545,649	45,855																

Tabela 25: Cálculo da variância da função usando método FOSM.

Cálculo da variância da função usando método FOSM								V(F(H,d))*	%	
Média		<b>Para H variando</b>	$\mu_{H+10\%}$ (dH)	5,428	$\sigma^2_H$	0,029	dV(H)	0,007	0,048	<b>6,371</b>
$\mu_H$	4,935		Zm+10%	0,797	$\sigma_H$	0,171	$(dV/d_H)^2$	0,00018		
$\mu_d$	6,811		Tm+10%	1,756	$10\% \mu_H$	0,493	$((dV/d_H)^2) * \sigma^2_H$	0,00001		
Zm	0,724		Vm+10%	0,983						
Rm	0,454	<b>Para d variando</b>	$\mu_{d+10\%}$ (dd)	7,493	$\sigma^2_d$	0,989	dV(d)	-0,009	0,048	<b>93,629</b>
Tm	1,597		Zmedio+10%	0,659	$\sigma_H$	0,171	$(dV/d_d)^2$	0,00017		
Vm	0,977		Tmédio+10	1,452	$10\% \mu_d$	0,681	$(dV/d_d)^2 * \sigma^2_d$	0,00017		
			Vm+10%	0,968						

$$* V(F(H, d)) = \left(\frac{\partial F}{\partial H}\right)^2 * \sigma^2 H + \left(\frac{\partial F}{\partial d}\right)^2 * \sigma^2 d, \quad V = \left(\frac{dV}{dH}\right)^2 * \sigma^2 H + \left(\frac{dV}{dd}\right)^2 * \sigma^2 d$$

Tabela 26: Cálculo da Vulnerabilidade Física usando Guimarães Silva (2015), a partir de dados Levantamento GNSS técnica RTK-NTRIP, na Rua Criciúma -Travessa Damolândia, Alto do Caeté, Nova Descoberta.

AMEAÇA/ESTRUT	COORDENADAS			VARIÁVEIS GEOMÉTRICAS								VARIÁVEIS PARA CÁLCULO DA RESISTÊNCIA						Vmoraes	
	E (m)	N (m)	h(m)	H	d'	d	Z	d <sub>H</sub>	d <sub>d</sub>	Δ <sub>H</sub>	Δ <sub>d</sub>	D <sub>fod</sub> (m)	ξ <sub>sfd</sub>	ξ <sub>sty</sub>	ξ <sub>snn</sub>	ξ <sub>sht</sub>	R	T	V
ACA1/P20	287633,161	9115008,03	47,041	4,651	4,194	4,194	1,109	-0,647	0,419	-1,456	2,119	0,6	0,441	0,8	0,8	0,1	0,410	2,705	0,996
ACE1/P44	287636,875	9115006,081	42,39																
ACA2/P16	287629,26	9115005,773	47,191	5,147	6,688	6,688	0,770	-0,151	0,023	1,037	1,076	0,6	0,441	0,8	0,8	0,1	0,410	1,877	0,987
ACE2/P46	287635,164	9115002,632	42,044																
ACA3/P8	287625,157	9114995,918	48	6,623	4,546	4,546	1,457	1,325	1,755	-1,104	1,219	0,6	0,441	0,8	0,8	0,1	0,410	3,554	0,999
ACE3/P55	287629,607	9114994,989	41,377																
ACA4/P24	287634,709	9115016,846	46,501	4,322	5,700	5,700	0,758	-0,976	0,953	0,050	0,003	0,6	0,441	0,8	0,8	0,1	0,410	1,849	0,986
ACE4/P36	287639,173	9115013,301	42,179																
ACA5/P23	287634,338	9115013,841	46,974	5,405	4,623	4,623	1,169	0,107	0,011	-1,028	1,056	0,6	0,441	0,8	0,8	0,1	0,410	2,852	0,997
ACE5/P39	287638,633	9115012,132	41,569																
ACA6/P15	287628,462	9115002,333	47,153	5,473	6,404	6,404	0,855	0,175	0,031	0,754	0,568	0,6	0,441	0,8	0,8	0,1	0,410	2,085	0,991
ACE6/P48	287634,599	9115000,504	41,68																
ACA7/P10	287619,703	9114999,931	48,531	6,495	10,941	10,941	0,594	1,197	1,432	5,291	27,998	0,6	0,441	0,8	0,8	0,1	0,410	1,448	0,967
ACE7/P52	287630,154	9114996,692	42,036																
ACA8/P9	287626,543	9114997,693	47,751	6,126	5,607	5,607	1,093	0,828	0,685	-0,043	0,002	0,6	0,441	0,8	0,8	0,1	0,410	2,665	0,996
ACE8/P53	287631,858	9114995,908	41,625																
ACA9/P3	287622,069	9114986,13	47,81	2,259	3,447	3,447	0,655	-3,039	9,237	-2,203	4,852	0,6	0,441	0,8	0,8	0,1	0,410	1,598	0,977
ACE9/P2	287625,365	9114985,12	45,551																
ACA10/P6	287623,84	9114991,844	47,805	6,482	4,351	4,351	1,490	1,184	1,401	-1,299	1,687	0,6	0,441	0,8	0,8	0,1	0,410	3,634	0,999
ACE10/57	287628,172	9114992,252	41,323																

Tabela 27: Cálculo da variância da função usando método FOSM.

Cálculo da variância da função usando método FOSM								V(F(H,d))*	%	
Média		Para H variando	$\mu_{H+10\%}$ (dH)	5,828	$\sigma^2_H$	0,595	dV(H)	0,002	0,000107	7,209
$\mu_H$	5,2983		Zm+10%	1,032	$\sigma_H$	0,771	$(dV/d_H)^2$	0,000013		
$\mu_d$	5,650		Tm+10%	2,516	10% $\mu_H$	0,530	$((dV/d_H)^2)*\sigma^2_H$	0,000008		
Zm	2,287		Vm+10%	0,995						
Rm	0,410	Para d variando	$\mu_d+10\%$	6,215	$\sigma^2_d$	4,509	dV(d)	-0,003	92,791	
Tm	2,287		Zmedio+10%	0,852	$\sigma_H$	2,123	$(dV/d_d)^2$	0,000022		
Vm	0,995		Tmedio+10	2,079	10% $\mu_d$ (dd)	0,565	$(dV/d_d)^2*\sigma^2_d$	0,000100		
			Vm+10%	0,991						

$$* V(F(H, d)) = \left(\frac{\partial F}{\partial H}\right)^2 * \sigma^2 H + \left(\frac{\partial F}{\partial d}\right)^2 * \sigma^2 d, \quad V = \left(\frac{dV}{dH}\right)^2 * \sigma^2 H + \left(\frac{dV}{dd}\right)^2 * \sigma^2 d$$

Tabela 28: Cálculo da Vulnerabilidade Física usando Guimarães Silva (2015), a partir de dados Levantamento GNSS técnica RTK-NTRIP, na Rua Arabela, 36, Alto da Brasileira, Vasco da Gama.

AMEAÇA/ ESTRUT	COORDENADAS			VARIÁVEIS PARA CÁLCULO DA RESISTÊNCIA						VARIÁVEIS PARA CÁLCULO DA RESISTÊNCIA						V <sub>moraes</sub>			
				H	d	Z	d <sub>H</sub>	d <sub>d</sub>	Δ <sub>H</sub>	Δ <sub>d</sub>	D <sub>fod(m)</sub>	ξ <sub>sfid</sub>	ξ <sub>sty</sub>	ξ <sub>smn</sub>	ξ <sub>sht</sub>	R	T	V	H
	E (m)	N (m)	h(m)																
CB1A/P18	287098,741	9115119,956	50,440	9,025	9,675	0,933	1,440	2,708	3,900	2,074	7,333	0,6	0,441	0,8	0,8	0,1	0,410	2,275	0,993
CB1E/P8	287100,118	9115110,379	41,415																
CB2A/P19	287099,422	9115122,295	52,288	10,831	11,709	0,925	3,246	4,742	15,392	10,538	22,483	0,6	0,441	0,8	0,8	0,1	0,410	2,256	0,993
CB2E/P15	287103,446	9115111,299	41,457																
CB3A/P22	287086,503	9115112,363	50,703	7,435	9,414	0,790	-0,150	2,446	-0,366	0,022	5,984	0,6	0,441	0,8	0,8	0,1	0,410	1,926	0,988
CB3E/P12	287087,032	9115102,964	43,268																
CB4A/P32	287085,428	9115127,340	57,096	5,422	2,163	2,507	-2,163	-4,805	10,391	4,677	23,084	0,6	0,441	0,8	0,4	0,1	0,345	7,271	1,000
CB4E/P37	287086,112	9115125,288	51,674																
A5/P2	287106,93	9115121,052	49,612	6,299	6,897	0,913	-1,286	-0,071	0,091	1,653	0,005	0,6	0,441	0,8	0,8	0,1	0,410	2,228	0,993
E5/P4	287108,733	9115114,395	43,313																
A6/P3	287106,93	9115121,052	49,612	8,280	7,723	1,072	0,695	0,755	0,525	0,483	0,571	0,6	0,441	0,8	0,8	0,1	0,410	2,615	0,996
E6/P7	287108,793	9115113,557	41,332																
A7/P17	287099,233	9115118,994	50,583	9,216	8,349	1,104	1,631	1,382	2,254	2,661	1,909	0,6	0,441	0,8	0,8	0,1	0,410	2,692	0,996
E6/P6	287104,28	9115112,343	41,367																
A8/P20	287094,973	9115116,262	50,251	8,482	7,757	1,093	0,897	0,789	0,708	0,805	0,623	0,6	0,441	0,8	0,8	0,1	0,410	2,667	0,996
E8/P9	287096,934	9115108,757	41,769																
A9/P21	287090,691	9115113,412	50,278	7,465	7,472	0,999	-0,120	0,504	-0,060	0,014	0,254	0,6	0,441	0,8	0,8	0,1	0,410	2,437	0,995
E9/P10	287093,467	9115106,475	42,813																
A10/P21	287090,691	9115113,412	50,278	7,086	8,343	0,849	-0,499	1,375	-0,686	0,249	1,891	0,6	0,441	0,8	0,8	0,1	0,410	2,072	0,990
E10/P11	287090,907	9115105,072	43,192																
A11/P35	287083,651	9115126,61	57,179	5,640	2,142	2,633	-1,945	-4,825	9,384	3,782	23,284	0,6	0,441	0,8	0,8	0,1	0,410	6,421	1,000
E11/P39	287084,994	9115124,941	51,539																

AMEAÇA/ ESTRUT	COORDENADAS			VARIÁVEIS PARA CÁLCULO DA RESISTÊNCIA						VARIÁVEIS PARA CÁLCULO DA RESISTÊNCIA						Vmoraes			
				H	d	Z	d <sub>H</sub>	d <sub>d</sub>	Δ <sub>H</sub>	Δ <sub>d</sub>	D <sub>fod(m)</sub>	ξ <sub>sf</sub>	ξ <sub>sty</sub>	ξ <sub>smn</sub>	ξ <sub>sht</sub>	R	T	V	H
	E (m)	N (m)	h(m)																
A12/P36	287081,765	9115126,242	57,325	5,836	1,966	2,968	-1,749	-5,001	8,746	3,058	25,011	0,6	0,441	0,8	0,8	0,1	0,410	7,239	1,000
A12/P40	287082,59	9115124,457	51,489																

Tabela 29: Cálculo da variância da função usando método FOSM.

Cálculo da variância da função usando método FOSM								V(F(H,d))*	%	
Média			μ <sub>H</sub> +10% (dH)	8,343	σ <sup>2</sup> <sub>H</sub>	2,729	dV(H)	0,001	0,0000539	10,412
μ <sub>H</sub>	7,585	<b>Para H variando</b>	Z <sub>m</sub> +10%	1,197	σ <sub>H</sub>	1,652	(dV/d <sub>H</sub> ) <sup>2</sup>	0,000002		
μ <sub>d</sub>	6,968		T <sub>m</sub> +10%	2,960	10%μ <sub>H</sub>	0,759	((dV/d <sub>H</sub> ) <sup>2</sup> )*σ <sup>2</sup> <sub>H</sub>	0,000006		
Z <sub>m</sub>	1,089		V <sub>m</sub> +10%	0,997						
R <sub>m</sub>	0,405		<b>Para d variando</b>	μ <sub>d</sub> +10%	7,664	σ <sup>2</sup> <sub>d</sub>	10,221	dV(d)	-0,002	89,588
T <sub>m</sub>	2,691	Z <sub>medio</sub> +10%		0,990	σ <sub>H</sub>	3,197	(dV/d <sub>d</sub> ) <sup>2</sup>	0,0000047		
V <sub>m</sub>	0,996	T <sub>medio</sub> +10		2,446	10%μ <sub>d</sub> (dd)	0,697	(dV/d <sub>d</sub> ) <sup>2</sup> *σ <sup>2</sup> <sub>d</sub>	0,0000483		
		V <sub>m</sub> +10%		0,996						

$$* V(F(H, d)) = \left(\frac{\partial F}{\partial H}\right)^2 * \sigma^2 H + \left(\frac{\partial F}{\partial d}\right)^2 * \sigma^2 d, \quad V = \left(\frac{dV}{dH}\right)^2 * \sigma^2 H + \left(\frac{dV}{dd}\right)^2 * \sigma^2 d$$

Tabela 30: Cálculo da Vulnerabilidade Física usando Guimarães Silva (2015), a partir de dados Levantamento GNSS técnica RTK-NTRIP, no imóvel A da Rua Baianópolis, Córrego do Joaquim, bairro de Nova Descoberta.

AMEAÇA/ESTRUT	COORDENADAS			VARIÁVEIS PARA CÁLCULO DA RESISTÊNCIA						VARIÁVEIS PARA CÁLCULO DA RESISTÊNCIA				V <sub>moraes</sub>				
				H	d	Z	d <sub>H</sub>	d <sub>a</sub>	Δ <sub>H</sub>	Δ <sub>a</sub>	D <sub>fod</sub> (m)	ξ <sub>sid</sub>	ξ <sub>sty</sub>	ξ <sub>smn</sub>	ξ <sub>sht</sub>	R	T	V
	E (m)	N (m)	h(m)															
B1A1/P42	286699,540	9115334,468	67,049	1,303	7,464							0,441	0,8	0,4	0,1	0,345	0,506	0,428
B1E1/P53	286705,370	9115329,807	65,746			0,175	1,188	0,643	1,411	0,414	0,6							
B1A2/P38	286694,534	9115335,885	67,087	1,341	12,424							0,441	0,8	0,4	0,1	0,345	0,313	0,122
B1E2/P53	286705,370	9115329,807	65,746			0,108	1,150	-4,317	1,322	18,636	0,6							
B1A3/P48	286703,852	9115331,774	66,609	0,863	2,485							0,441	0,8	0,4	0,1	0,345	1,007	0,893
B1E3/P53	286705,370	9115329,807	65,746			0,347	1,628	5,623	2,650	31,615	0,6							
B1A4/P30Top	286686,699	9115335,447	67,091	4,499	8,867							0,441	0,8	0,4	0,1	0,345	1,472	0,969
B1E4/CTR02	286688,345	9115326,734	62,592			0,507	-2,008	-0,760	4,033	0,577	0,6							
B1A4/P34Top	286691,463	9115335,492	67,040	4,448	9,296							0,441	0,8	0,4	0,1	0,345	1,388	0,962
B1E4/CTR02	286688,345	9115326,734	62,592			0,478	-1,957	-1,189	3,831	1,414	0,6							

Tabela 31: Cálculo da variância da função usando método FOSM.

Cálculo da variância da função usando método FOSM								V(F(H,d))*	%	
Média		<b>Para H variando</b>	$\mu_{H+10\%}$ (dH)	2,740	$\sigma^2_H$	1,649	dV(H)	0,039	0,075	53,722
$\mu_H$	2,491		Zm+10%	0,338	$\sigma_H$	1,284	$(dV/d_H)^2$	0,025		
$\mu_d$	8,107		Tm+10%	0,980	10% $\mu_H$	0,249	$((dV/d_H)^2)*\sigma^2_H$	0,041		
Zm	0,307		Vm+10%	0,883						
Rm	0,345	<b>Para d variando</b>	$\mu_d+10\%$	8,918	$\sigma^2_d$	9,531	dV(d)	-0,049	0,075	46,278
Tm	0,891		Zmedio+10%	0,279	$\sigma_d$	3,087	$(dV/d_d)^2$	0,004		
Vm	0,844		Tmedio+10	0,810	10% $\mu_d$ (dd)	0,811	$(dV/d_d)^2*\sigma^2_d$	0,035		
			Vm+10%	0,795						

$$* V(F(H, d)) = \left(\frac{\partial F}{\partial H}\right)^2 * \sigma^2 H + \left(\frac{\partial F}{\partial d}\right)^2 * \sigma^2 d, \quad V = \left(\frac{dV}{dH}\right)^2 * \sigma^2 H + \left(\frac{dV}{dd}\right)^2 * \sigma^2 d$$

Tabela 32: Cálculo da Vulnerabilidade Física usando Guimarães Silva (2015), a partir de dados Levantamento GNSS técnica RTK-NTRIP, no imóvel B, da Rua Baianópolis, Córrego do Joaquim, bairro de Nova Descoberta.

AMEAÇA/ESTRUT	COORDENADAS			VARIÁVEIS PARA CÁLCULO DA RESISTÊNCIA						VARIÁVEIS PARA CÁLCULO DA RESISTÊNCIA					Vmoraes			
				H	d	Z	d <sub>H</sub>	d <sub>d</sub>	Δ <sub>H</sub>	Δ <sub>d</sub>	D <sub>fod(m)</sub>	ξ <sub>sfd</sub>	ξ <sub>sty</sub>	ξ <sub>smn</sub>	ξ <sub>sht</sub>	R	T	V
	E (m)	N (m)	h(m)															
<b>B2A2/P01Top</b>	286712,217	9115319,857	61,804	2,992	14,150	0,211	-0,678	-6,255	-0,908	39,129	0,6	0,441	0,8	0,8	0,1	0,410	0,516	0,444
<b>B2E1/P54Top</b>	286698,509	9115316,349	58,812															
<b>B2A2/P2Top</b>	286697,296	9115321,438	60,659	0,780	4,549	0,171	1,534	3,346	2,353	11,195	0,6	0,441	0,8	0,8	0,1	0,410	0,418	0,277
<b>B2E/P55Top</b>	286701,508	9115319,721	59,879															
<b>B2A2/P4Top</b>	286700,501	9115323,164	62,371	2,697	4,712	0,572	-0,383	3,183	0,147	10,131	0,6	0,441	0,8	0,8	0,1	0,410	1,396	0,963
<b>B2E/P56Top</b>	286702,576	9115318,934	59,674															
<b>B2A2/P52Top</b>	286702,600	9115325,382	62,941	2,198	4,660	0,472	0,116	3,234	0,013	10,461	0,6	0,441	0,8	0,8	0,1	0,410	1,150	0,930
<b>B2E/P57Top</b>	286704,115	9115320,975	60,743															
<b>B2A2/P11Top</b>	286708,541	9115323,709	62,957	2,902	11,402	0,255	-0,588	-3,508	0,346	12,305	0,6	0,441	0,8	0,8	0,1	0,410	0,621	0,604
<b>B2E/P58Top</b>	286713,886	9115313,637	60,055															

Tabela 33: Cálculo da variância da função usando método FOSM.

Cálculo da variância da função usando método FOSM								V(F(H,d))*	%	
Média		Para H variando	$\mu_{H+10\%}$ (dH)	2,545	$\sigma^2_H$	0,488	dV(H)	0,063	0,212	17,039
$\mu_H$	2,314		Zm+10%	0,322	$\sigma_H$	0,698	$(dV/d_H)^2$	0,074		
$\mu_d$	7,894		Tm+10%	0,786	10% $\mu_H$	0,231	$((dV/d_H)^2) * \sigma^2_H$	0,036		
Zm	0,322		Vm+10%	0,778						
Rm	0,410	Para d variando	$\mu_d+10\%$	8,684	$\sigma^2_d$	20,805	dV(d)	-0,073	82,961	
Tm	0,715		Zmedio+10%	0,266	$\sigma_d$	4,561	$(dV/d_d)^2$	0,008		
Vm	0,715		Tmedio+10	0,650	10% $\mu_d$ (dd)	0,789	$(dV/d_d)^2 * \sigma^2_d$	0,176		
			Vm+10%	0,642						

$$* V(F(H, d)) = \left(\frac{\partial F}{\partial H}\right)^2 * \sigma^2 H + \left(\frac{\partial F}{\partial d}\right)^2 * \sigma^2 d, \quad V = \left(\frac{dV}{dH}\right)^2 * \sigma^2 H + \left(\frac{dV}{dd}\right)^2 * \sigma^2 d$$

Tabela 34: Cálculo da Vulnerabilidade Física usando Guimarães Silva (2015), a partir de dados Levantamento GNSS técnica RTK-NTRIP, no imóvel C, da Rua Baianópolis, Córrego do Joaquim, bairro de Nova Descoberta.

AMEAÇA/ESTRUT	COORDENADAS			VARIÁVEIS PARA CÁLCULO DA RESISTÊNCIA						VARIÁVEIS PARA CÁLCULO DA RESISTÊNCIA					Vmoraes			
				H	d	Z	d <sub>H</sub>	d <sub>d</sub>	Δ <sub>H</sub>	Δ <sub>d</sub>	D <sub>fod(m)</sub>	ξ <sub>sfd</sub>	ξ <sub>sty</sub>	ξ <sub>smn</sub>	ξ <sub>sht</sub>	R	T	V
	E (m)	N (m)	h(m)															
B3A/P4	286709,187	9115309,653	57,744	3,832	6,718	0,570	0,303	-2,207	0,092	4,870	0,6	0,441	0,8	0,8	0,1	0,410	1,391	0,963
B3E/P28	286709,285	9115302,936	53,912															
B3A/P2	286715,888	9115306,394	57,762	3,372	3,418	0,987	0,763	1,093	0,583	1,195	0,6	0,441	0,8	0,4	0,1	0,345	2,862	0,997
B3E/P24	286713,934	9115303,59	54,39															
B3A/P13	286721,283	9115303,928	57,924	5,060	2,559	1,977	-0,925	1,951	0,855	3,808	0,6	0,441	0,8	0,4	0,1	0,345	5,734	1,000
B3E/P20	286720,004	9115301,711	52,864															
B3A/P14	286718,708	9115307,831	58,367	4,998	5,563	0,899	-0,863	-1,052	0,744	1,106	0,6	0,441	0,8	0,4	0,1	0,345	2,606	0,996
B3E/P22	286716,435	9115302,754	53,369															
B3A/P15	286717,443	9115308,575	57,635	4,094	5,100	0,803	0,041	-0,589	0,002	0,346	0,6	0,441	0,8	0,4	0,1	0,345	2,329	0,994
B3E/P21	286716,546	9115303,555	53,541															
B3A/P3	286711,992	9115308,439	57,65	3,456	3,709	0,932	0,679	0,802	0,461	0,644	0,6	0,441	0,8	0,4	0,1	0,345	2,703	0,996
B3E/P26	286711,329	9115304,79	54,194															

Tabela 35: Cálculo da variância da função usando método FOSM.

Cálculo da variância da função usando método FOSM								V(F(H,d))*	%	
Média			$\mu_{H+10\%}$ (dH)	4,549	$\sigma^2_H$	0,684	dV(H)	0,001	0,000052	12,318
$\mu_H$	4,135	Para H variando	Zm+10%	1,008	$\sigma_H$	0,827	$(dV/d_H)^2$	0,0000093		
$\mu_d$	4,511		Tm+10%	2,836	10% $\mu_H$	0,414	$((dV/d_H)^2)*\sigma^2_H$	0,0000064		
Zm	0,917		Vm+10%	0,997						
Rm	0,356		Para d variando	$\mu_d+10\%$	4,962	$\sigma^2_d$	2,992	dV(d)	-0,002	
Tm	0,356	Zmedio+10%		0,833	$\sigma_d$	1,730	$(dV/d_d)^2$	0,000015		
Vm	0,996	Tmedio+10		2,343	10% $\mu_d$ (dd)	0,451	$(dV/d_d)^2*\sigma^2_d$	0,0000454		
		Vm+10%		0,994						

$$* V(F(H, d)) = \left(\frac{\partial F}{\partial H}\right)^2 * \sigma^2 H + \left(\frac{\partial F}{\partial d}\right)^2 * \sigma^2 d, \quad V = \left(\frac{dV}{dH}\right)^2 * \sigma^2 H + \left(\frac{dV}{dd}\right)^2 * \sigma^2 d$$

Tabela 36: Cálculo da Vulnerabilidade Física usando Guimarães Silva (2015), a partir de dados Levantamento GNSS técnica RTK-NTRIP, Rua Bemposta num 21 e 22, Alto do Eucalipto, Vasco da Gama.

AMEAÇA/ESTRUT	COORDENADAS			VARIÁVEIS PARA CÁLCULO DA RESISTÊNCIA							VARIÁVEIS PARA CÁLCULO DA RESISTÊNCIA					V <sub>moraes</sub>		
				H	d	Z	d <sub>H</sub>	d <sub>d</sub>	Δ <sub>H</sub>	Δ <sub>d</sub>	D <sub>fod</sub> (m)	ξ <sub>sfd</sub>	ξ <sub>sty</sub>	ξ <sub>smn</sub>	ξ <sub>sht</sub>	R	T	V
	E (m)	N (m)	h(m)															
CA1A1/I26Top	288134,195	9114799,125	40,081	0,257	2,501	0,103	4,52		20,430		0,6		0,8	0,4	0,1	0,345	0,298	0,105
CA1E1/G12	288132,742	9114797,106	39,824															
CA2A1/I23	288131,478	9114790,764	39,759	5,821	8,808	0,661	-1,044		1,090		0,6		0,8	0,4	0,1	0,345	1,917	0,988
CA2E1/G42	288130,643	9114784,206	33,938															
CA2A2/G11	288116,289	9114789,824	39,487	5,524	8,449	0,654	-0,747		0,558		0,6		0,8	0,4	0,1	0,345	1,896	0,987
CA2E2/G45	288120,922	9114785,419	33,963															
CA2A3/G8	288122,046	9114789,508	39,698	5,523	6,790	0,813	-0,746		0,557		0,6		0,8	1,8	0,1	0,502	1,620	0,978
CA2E3/G44	288122,268	9114785,564	34,175															
CA2A3/G9	288120,054	9114789,655	39,686	5,723	7,173	0,798	-0,946		0,895		0,6		0,8	1,8	0,1	0,502	1,589	0,976
CA2E3/G45	288120,922	9114785,419	33,963															
CA2A3/G17	288119,391	9114790,525	39,638	6,855	7,492	0,915	-2,078		4,318		0,6		0,8	1,8	0,1	0,502	1,822	0,985
CA2E3/G46	288118,371	9114787,68	32,783															
CA2A3/I23	288131,478	9114790,764	39,759	3,736	12,610	0,296	1,041		1,084		0,6		0,8	1,8	0,1	0,502	0,590	0,561
CA2E3/I17	288120,885	9114785,034	36,023															

Tabela 37: Cálculo da variância da função usando método FOSM.

Cálculo da variância da função usando método FOSM								V(F(H,d))*	%	
Média			$\mu_{H+10\%}$ (dH)	5,2547	$\sigma^2_H$	4,822	dV(H)	0,009	0,004	42,69
$\mu_H$	4,777	Para H variando	Zm+10%	0,683	$\sigma_H$	2,196	$(dV/d_H)^2$	0,000391		
$\mu_d$	7,689		Tm+10%	1,572	10% $\mu_H$	0,478	$((dV/d_H)^2)*\sigma^2_H$	0,002		
Zm	0,621		Vm+10%	0,975						
Rm	0,435		Para d variando	$\mu_{d+10\%}$	8,458	$\sigma^2_d$	9,012	dV(d)	-0,013	57,31
Tm	1,429	Zmedio+10%		0,565	$\sigma_d$	3,002	$(dV/d_d)^2$	0,000281		
Vm	0,966	Tmedio+10		1,299	10% $\mu_d$ (dd)	0,769	$(dV/d_d)^2*\sigma^2_d$	0,003		
		Vm+10%		0,953						

$$* V(F(H, d)) = \left(\frac{\partial F}{\partial H}\right)^2 * \sigma^2 H + \left(\frac{\partial F}{\partial d}\right)^2 * \sigma^2 d, \quad V = \left(\frac{dV}{dH}\right)^2 * \sigma^2 H + \left(\frac{dV}{dd}\right)^2 * \sigma^2 d$$

Tabela 38: Cálculo da Vulnerabilidade Física usando Guimarães Silva (2015), a partir de dados Levantamento GNSS técnica RTK-NTRIP, Subida p Alto do Reservatório, 1199 A e B, Córrego do Joaquim, Nova Descoberta.

AMEAÇA/ESTRUT	COORDENADAS			VARIÁVEIS PARA CÁLCULO DA RESISTÊNCIA						VARIÁVEIS PARA CÁLCULO DA RESISTÊNCIA					Vmoraes			
				H	d	Z	d <sub>H</sub>	d <sub>d</sub>	Δ <sub>H</sub>	Δ <sub>d</sub>	D <sub>fod</sub> (m)	ξ <sub>std</sub>	ξ <sub>sty</sub>	ξ <sub>smn</sub>	ξ <sub>sht</sub>	R	T	V
	E (m)	N (m)	h (m)															
CJ1A/P1	286603,951	9115104,059	64,903	10,143	13,842	0,733	-1,533	-2,962	2,351	8,776	0,6	0,441	0,8	0,4	0,1	0,345	2,125	0,991
CJ1E/P22	286612,875	9115114,640	54,760															
CJ1A/P17	286597,933	9115106,765	66,069	7,231	14,810	0,488	1,379	-3,931	1,900	15,452	0,6	0,441	0,8	0,4	0,1	0,345	1,416	0,965
CJ1E/P40	286606,452	9115118,88	58,838															
CJ1A/P3	286606,428	9115108,365	67,314	8,354	8,880	0,941	0,256	1,999	0,065	3,997	0,6	0,441	0,8	0,4	0,1	0,345	2,729	0,996
CJ1E/P23	286607,399	9115117,192	58,96															
CJ1A/P4	286607,887	9115107,941	67,258	12,498	8,352	1,496	-3,888	2,527	15,120	6,388	0,6	0,441	0,8	0,4	0,1	0,345	4,340	0,999
CJ1E/P24	286612,875	9115114,640	54,760															
CJ1A/P5	286609,805	9115107,734	67,18	8,158	11,398	0,716	0,452	-0,518	0,204	0,269	0,6	0,441	0,8	0,4	0,1	0,345	2,076	0,991
CJ1E/P37	286613,388	9115118,554	59,022															
CJ1A/P6	286612,235	9115105,346	67,238	8,526	13,614	0,626	0,084	-2,734	0,007	7,477	0,6	0,441	0,8	0,4	0,1	0,345	1,817	0,985
CJ1E/P35	286621,159	9115115,627	58,712															
CJ1A/P9	286618,457	9115102,380	64,099	5,395	13,237	0,408	3,215	-2,358	10,333	5,560	0,6	0,441	0,8	0,4	0,1	0,345	1,182	0,936
CJ1E/P34	286621,378	9115115,291	58,704															
CJ1A/P12	286621,517	9115105,638	66,526	7,420	9,480	0,783	1,190	1,399	1,415	1,958	0,6	0,441	0,8	0,4	0,1	0,345	2,270	0,993
CJ1E/P31	286621,552	9115115,118	59,106															
CJ1A/P13	286622,9	9115105,8	66,43	7,773	9,661	0,805	0,837	1,219	0,700	1,485	0,6	0,441	0,8	0,4	0,1	0,345	2,334	0,994
CJ1E/P33	286626,339	9115114,828	58,657															
CJ1A/P14	286624,124	9115105,449	66,498	7,772	9,517	0,817	0,838	1,362	0,701	1,856	0,6	0,441	0,8	0,4	0,1	0,345	2,369	0,994
CJ1E/P32	286624,581	9115114,955	58,726															
CJ1A/P11	286621,074	9115105,514	66,539	11,435	6,882	1,661	-2,825	3,997	7,983	15,976	0,6	0,441	0,8	0,4	0,1	0,345	4,819	0,999
CJ1E/I52	286624,654	9115111,392	55,104															

Tabela 39: Cálculo da variância da função usando método FOSM.

Cálculo da variância da função usando método FOSM								V(F(H,d))*	%	
Média		Para H variando	$\mu_H+10\%$ (dH)	9,471	$\sigma^2_H$	3,707	dV(H)	0,00018	0,000100	0,139
$\mu_H$	8,610		Zm+10%	0,870	$\sigma_H$	2,196	(dV/dH)^2	0,00000037		
$\mu_d$	10,879		Tm+10%	2,525	10% $\mu_H$	0,947	((dV/dH)^2)* $\sigma^2_H$	0,0000001		
Zm	0,861		Vm+10%	0,995						
Rm	0,345	Para d variando	$\mu_d+10\%$	11,967	$\sigma^2_d$	6,290	dV(d)	-0,004	99,861	
Tm	2,498		Zmedio+10%	0,719	$\sigma_d$	3,002	(dV/d_d)^2	0,0000158		
Vm	0,995		Tmedio+10	2,087	10% $\mu_d$ (dd)	1,088	(dV/d_d)^2* $\sigma^2_d$	0,0000996		
			Vm+10%	0,991						

$$* V(F(H, d)) = \left(\frac{\partial F}{\partial H}\right)^2 * \sigma^2 H + \left(\frac{\partial F}{\partial d}\right)^2 * \sigma^2 d, \quad V = \left(\frac{dV}{dH}\right)^2 * \sigma^2 H + \left(\frac{dV}{dd}\right)^2 * \sigma^2 d$$

Tabela 40: Cálculo da Vulnerabilidade Física usando Guimarães Silva (2015), a partir de dados Levantamento GNSS técnica RTK-NTRIP, Subida p Alto do Reservatório, 1120 Córrego do Joaquim, Nova Descoberta.

AMEAÇA/ESTRUT	COORDENADAS			VARIÁVEIS PARA CÁLCULO DA RESISTÊNCIA							VARIÁVEIS PARA CÁLCULO DA RESISTÊNCIA					Vmoraes		
				H	d	Z	d <sub>H</sub>	d <sub>d</sub>	Δ <sub>H</sub>	Δ <sub>d</sub>	D <sub>fod</sub> (m)	ξ <sub>sfd</sub>	ξ <sub>sty</sub>	ξ <sub>smn</sub>	ξ <sub>sht</sub>	R	T	V
	E (m)	N (m)	h (m)															
CJ2A/P76	286599,128	9115129,239	57,628	3,714	4,937	0,752	-0,331	1,759	0,110	3,093	0,6	0,441	0,8	1,2	0,1	0,454	1,658	0,979
CJ2E/P58	286600,679	9115133,926	53,914															
CJ2A/P77	286599,214	9115132,958	61,349	3,567	6,401	0,557	-0,184	0,295	0,034	0,087	0,6	0,441	0,8	1,2	0,1	0,454	1,228	0,943
CJ2E/P49	286604,887	9115135,922	57,782															
CJ2A/P78	286599,502	9115131,853	61,589	4,064	7,743	0,525	-0,681	-1,047	0,464	1,096	0,6	0,441	0,8	1,2	0,1	0,454	1,157	0,931
CJ2E/P47	286606,625	9115134,888	57,525															
CJ2A/P75	286594,683	9115134,454	61,498	3,512	7,801	0,450	-0,129	-1,105	0,017	1,221	0,6	0,441	0,8	1,2	0,1	0,454	0,992	0,887
CJ2E/P51	286601,942	9115137,31	57,986															
CJ2A/P74	286592,835	9115136,624	61,707	3,808	6,245	0,610	-0,425	0,450	0,181	0,203	0,6	0,441	0,8	1,2	0,1	0,454	1,344	0,958
CJ2E/P52	286598,954	9115137,874	57,899															
CJ2A/P63	286596,17	9115131,805	61,353	2,913	8,342	0,349	0,470	-1,646	0,220	2,711	0,6	0,441	0,8	1,2	0,1	0,454	0,770	0,764
CJ2E/P57	286595,782	9115140,138	58,44															
CJ2A/P65	286593,621	9115133,453	61,267	3,218	6,307	0,510	0,165	0,388	0,027	0,151	0,6	0,441	0,8	1,2	0,1	0,454	1,124	0,924
CJ2E/P53	286596,801	9115138,9	58,049															
CJ2A/P66	286592,78	9115134,642	61,485	3,221	5,304	0,607	0,162	1,392	0,026	1,937	0,6	0,441	0,8	1,2	0,1	0,454	1,338	0,957
CJ2E/P55	286592,949	9115139,943	58,264															
CJ2A/P67	286591,487	9115133,746	61,477	2,426	7,181	0,338	0,957	-0,486	0,915	0,236	0,6	0,441	0,8	1,2	0,1	0,454	0,745	0,743
CJ2E/P56	286592,256	9115140,886	59,051															

Tabela 41: Cálculo da variância da função usando método FOSM.

Cálculo da variância da função usando método FOSM								V(F(H,d))*	%	
Média										
$\mu_H$	3,383	<b>Para H variando</b>	$\mu_{H+10\%}$ (dH)	3,721	$\sigma^2_H$	0,249	dV(H)	0,013	0,0041	7,421
$\mu_d$	6,696		Zm+10%	0,556	$\sigma_H$	0,499	$(dV/d_H)^2$	0,001217		
Zm	0,522		Tm+10%	1,225	10% $\mu_H$	0,372	$((dV/d_H)^2)*\sigma^2_H$	0,000303		
Rm	0,454		Vm+10%	0,943						
Tm	1,151	<b>Para d variando</b>	$\mu_d+10\%$	7,365	$\sigma^2_d$	1,342	dV(d)	-0,036	92,579	
Vm	0,930		Zmedio+10%	0,459	$\sigma_d$	1,158	$(dV/d_d)^2$	0,002821		
			Tmedio+10	1,012	10% $\mu_d$ (dd)	0,670	$(dV/d_d)^2*\sigma^2_d$	0,003785		
			Vm+10%	0,894						

$$* V(F(H, d)) = \left(\frac{\partial F}{\partial H}\right)^2 * \sigma^2 H + \left(\frac{\partial F}{\partial d}\right)^2 * \sigma^2 d, \quad V = \left(\frac{dV}{dH}\right)^2 * \sigma^2 H + \left(\frac{dV}{dd}\right)^2 * \sigma^2 d$$

Tabela 42: Cálculo da Vulnerabilidade Física usando Guimarães Silva (2015), a partir de dados Levantamento GNSS técnica RTK-NTRIP, Subida p Alto do Reservatório, 400 A e B, Córrego do Joaquim, Nova Descoberta.

AMEAÇA/ESTRUT	COORDENADAS			VARIÁVEIS PARA CÁLCULO DA RESISTÊNCIA						VARIÁVEIS PARA CÁLCULO DA RESISTÊNCIA					Vmoraes			
				H	d	Z	d <sub>H</sub>	d <sub>d</sub>	Δ <sub>H</sub>	Δ <sub>d</sub>	D <sub>fod</sub> (m)	ξ <sub>sfd</sub>	ξ <sub>sty</sub>	ξ <sub>smn</sub>	ξ <sub>sht</sub>	R	T	V
	E (m)	N (m)	h (m)															
CJ3A/I75	286592,634	9115107,395	65,024	7,403	13,776	0,537	-1,304	2,897	1,701	8,390	0,6	0,441	0,8	0,8	0,1	0,410	1,311	0,954
CJ3E/I87	286593,815	9115121,120	57,621															
CJ3A/I76	286576,441	9115119,875	68,532	7,288	24,092	0,303	-1,189	-7,420	1,414	55,050	0,6	0,441	0,8	0,8	0,1	0,410	0,738	0,737
CJ3E/P61	286599,77	9115125,889	61,244															
CJ3A/I77	286588,349	9115110,217	65,087	7,270	12,139	0,599	-1,171	4,534	1,371	20,555	0,6	0,441	0,8	0,8	0,1	0,410	1,461	0,968
CJ3E/I90	286593,406	9115121,252	57,817															
CJ3A/I85	286589,219	9115113,178	61,963	4,383	13,935	0,315	1,716	2,737	2,944	7,492	0,6	0,441	0,8	0,8	0,1	0,410	0,767	0,762
CJ3E/P62	286597,505	9115124,382	57,58															
CJ3A/I78	286584,048	9115115,045	65,314	7,494	15,587	0,481	-1,395	1,085	1,946	1,177	0,6	0,441	0,8	0,8	0,1	0,410	1,173	0,934
CJ3E/I91	286596,731	9115124,106	57,820															
CJ3A/I84	286584,995	9115117,987	62,600	4,175	5,196	0,804	1,924	11,476	3,701	131,708	0,6	0,441	0,8	0,8	0,1	0,410	1,960	0,988
CJ3E/I88	286587,879	9115122,309	58,425															
CJ3A/I79	286578,676	9115116,726	68,467	7,111	22,048	0,323	-1,012	-5,375	1,024	28,895	0,6	0,441	0,8	0,8	0,1	0,410	0,787	0,778
CJ3E/P64	286593,285	9115133,239	61,356															
CJ3A/I81	286580,942	9115118,694	65,38	4,027	20,095	0,200	2,072	-3,422	4,293	11,712	0,6	0,441	0,8	0,8	0,1	0,410	0,489	0,398
CJ3E/P63	286596,17	9115131,805	61,353															
CJ3A/I80	286576,441	9115119,875	68,532	7,055	20,464	0,345	-0,956	-3,792	0,914	14,379	0,6	0,441	0,8	0,8	0,1	0,410	0,841	0,815
CJ3E/P67	286591,487	9115133,746	61,477															
CJ3A/I82	286578,665	9115121,109	66,05	4,783	19,392	0,247	1,316	-2,720	1,732	7,398	0,6	0,441	0,8	0,8	0,1	0,410	0,602	0,578
CJ3E/P65	286593,621	9115133,453	61,267															

Tabela 43: Cálculo da variância da função usando método FOSM.

Cálculo da variância da função usando método FOSM								V(F(H,d))*	%
Média		$\mu_{H+10\%}$ (dH)	6,709	$\sigma^2_H$	2,338	dV(H)	-0,011	0,1122	0,541
$\mu_H$	6,099	Zm+10%	0,402	$\sigma_H$	1,529	(dV/dH)^2	0,000260		
$\mu_d$	16,672	Tm+10%	0,981	10% $\mu_H$	0,671	((dV/dH)^2)* $\sigma^2_H$	0,000607		
Zm	0,415	Vm+10%	0,884						
Rm	0,410	$\mu_{d+10\%}$	18,340	$\sigma^2_d$	31,862	dV(d)	-0,099	0,1122	99,459
Tm	1,013	Zmedio+10%	0,333	$\sigma_d$	5,645	(dV/d <sub>d</sub> )^2	0,003504		
Vm	0,894	Tmedio+10	0,811	10% $\mu_d$ (dd)	1,667	(dV/d <sub>d</sub> )^2* $\sigma^2_d$	0,111635		
		Vm+10%	0,796						

$$* V(F(H, d)) = \left(\frac{\partial F}{\partial H}\right)^2 * \sigma^2 H + \left(\frac{\partial F}{\partial d}\right)^2 * \sigma^2 d, \quad V = \left(\frac{dV}{dH}\right)^2 * \sigma^2 H + \left(\frac{dV}{dd}\right)^2 * \sigma^2 d$$

## **APENDICE B**



Programa de Pós-Graduação em Geotecnia - UNB  
Levantamento de Informações Geotécnicas  
do Setor Censitário e da Área de Risco (PMRR, 2006)

PROJETO: Tese "Determinação da Vulnerabilidade Física em Área de Risco de Deslizamento a partir do Posicionamento GNSS, com técnica RTK, via NTRIP".

**1. Controle**

1.UF: \_\_\_\_\_ 5.Setor Censitário: \_\_\_\_\_  
2.Município: \_\_\_\_\_ 6.Número de domicílios (2010): \_\_\_\_\_  
3.Distrito: \_\_\_\_\_ 7.Setor de Risco: \_\_\_\_\_  
4.Subdistrito: \_\_\_\_\_ 8.Grau de Risco (PMRR, 2006): \_\_\_\_\_

**2. Identificação**

1.Houve registro de deslizamento?  Sim  Não  
Quando (ano)? \_\_\_\_\_  
2.Setor de risco apresenta domicílios  Sim  Não  
3.Quantidade de domicílios (Censo, 2010) \_\_\_\_\_  
4.Nome da área \_\_\_\_\_  
5.Outro nome da área \_\_\_\_\_  
6.Tipo de setor (IBGE, 2010)  Normal  Subnormal  Outro  
7.Houve obras públicas que geraram mudança significativa no setor?  Sim  Não  
8. Se houve, quais os tipos de obras?  muro de arrimo  escadarias  Outros \_\_\_\_\_

**3. Características e localização**

**1. Topografia Dominante**

Ative / Declive moderado – inclinação entre 5% e 30%  
 Ative / Declive acentuado – inclinação maior que 30%  
 Plano – inclinação menor que 5%

**2. Localização e Características existentes:**

Ative / Declive moderado – inclinação entre 5% e 30%  
 Ative / Declive acentuado – inclinação maior que 30%  
 Plano – inclinação menor que 5%

**4. Padrões Urbanísticos**

**1. Tipo de via de circulação interna dominante**

Rua  
 Beco / travessa  
 Escadaria  
 Caminho / trilha  
 Não existe

**2. A circulação é possível na maior parte das vias por:**

Caminhão  
 Carro  
 Motocicleta  
 A pé / bicicleta

**5. Densidade de ocupação da área**

**1. Modo de Ocupação**

espontânea (informal)  
 planejada (formal)  
 parcialmente planejada

**2. Estágio de Ocupação**

consolidada  
 inconsolidada  
 parcialmente consolidada

**3. Padrão das Edificações**

alvenaria  
 madeira  
 taipa  
 outros materiais

4. Verticalização da área – dominante

- construção de um pavimento
- construção de dois pavimentos
- construção de três pavimentos ou mais

5. Espaçamento entre as construções – dominante

- sem espaçamento entre as edificações
- espaçamento médio entre as edificações
- espaçamento grande entre as edificações

6. Hidrografia

- rede fluvial esparsa
- rede fluvial densa
- alta concentração de águas
- nível freático alto (cacimbas)

7. Vegetação nos taludes

- vegetação nativa natural
- graminas
- capim
- arbustos
- árvores de grande porte
- bananeiras

OBSERVAÇÕES:

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**CROQUI**

