

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
CIVIL**

**CARTAS DE ESTUDOS DE RISCOS DE PLANÍCIES DE
INUNDAÇÕES E ÁREAS DE MOVIMENTOS DE MASSAS:
ANÁLISES E SOLUÇÕES DE CASOS EM MANAUS**

ELIUD DE OLIVEIRA SILVA

**MANAUS
2016**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
CIVIL**

ELIUD DE OLIVEIRA SILVA

**CARTAS DE ESTUDOS DE RISCOS DE PLANÍCIES DE
INUNDAÇÕES E ÁREAS DE MOVIMENTOS DE MASSAS:
ANÁLISES E SOLUÇÕES DE CASOS EM MANAUS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Amazonas, como parte do requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, área de concentração Materiais de Construção.

Orientador: Prof. Dr. Nilton de Souza Campelo

**MANAUS
2016**

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

S586c Silva, Eliud de Oliveira
Cartas de estudos de riscos de planícies de inundações e áreas de movimentos de massas: análises e soluções de casos em Manaus / Eliud de Oliveira Silva. 2016
146 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Prof. Dr. Nilton de Souza Campelo
Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Deslizamento. 2. Área de risco. 3. Voçorocas. 4. Inundações. 5. Contenção. I. Campelo, Prof. Dr. Nilton de Souza II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

ELIUD DE OLIVEIRA SILVA

**CARTAS DE ESTUDOS DE RISCOS DE PLANÍCIES DE
INUNDAÇÕES E ÁREAS DE MOVIMENTOS DE MASSAS :
ANÁLISES E SOLUÇÕES DE CASOS EM MANAUS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Amazonas, como parte do requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, área de concentração Materiais de Construção.

Aprovada em 7 de Outubro de 2016.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Nilton de Souza Campelo

Universidade Federal do Amazonas - UFAM

Prof. Dr. Raimundo Vasconcelos

Universidade Federal do Amazonas - UFAM

Prof. Dr. René Levy Aguiar

Universidade do Estado do Amazonas - UEA

MANAUS

2016

Aos meus pais: José Pereira, Mary Ruth, pela liberdade de pensamento e segurança.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, José Pereira e Mary Ruth, que sempre tiveram a expectativa da vitória em seus filhos, que nos criaram através do amor, respeito e força. Tudo que hoje eu e meu irmão Rômulo temos de mais precioso são os ensinamentos inigualáveis que recebemos em casa.

Ao querido Rodrigo Duarte, pelos cuidados, preocupações, todos os dias e noites de apoio, sempre acreditando nas minhas escolhas e por tudo que nosso amor representa.

Agradeço a UFAM por disponibilizar toda estrutura para desenvolvimento do trabalho e a CAPES pela concessão de Bolsa e auxílio financeiro.

Ao Programa de Pós-Graduação Departamento em Engenharia Civil da Universidade Federal do Amazonas e aos professores pelos ensinamentos técnicos.

Ao Prof. Dr. Nilton de Souza Campelo, pelo acompanhamento na pesquisa e orientação.

Aos técnicos do Laboratório de Pavimentação da UFAM, Antonio Reinaldo de Mesquita e Francisco de Oliveira Santos.

Aos técnicos em educação do PPGEC, Beatriz Mar e Diego Henrique, que com toda paciência e boa vontade nos ajudam com a resolução de milhares de dúvidas que vão surgindo, meu eterno obrigado.

Ao Departamento Acadêmico de Infraestrutura do IFAM (Campus Centro), pela disponibilidade de uso do laboratório de mecânica de solos para realização dos ensaios de resistência ao cisalhamento.

À Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais CPRM, que disponibilizou dados referentes a cheias e áreas de deslizamentos na cidade de Manaus.

A Sondagens e Poços Tubulares LTDA e ao geólogo Eduardo Telles, que disponibilizaram os dados de sondagens para realização do estudo de estabilidade.

Aos amigos geólogos e engenheiros Miqueas Barroso, Joemes Simas, Antonio Elton, Aroldo Aragão, Willace Lima, Viviane Rebelo, Adma Darwich e Adriana Moraes que me apoiaram nos momentos complicados.

Aos queridos e eternos professores Clauzionor Silva, João Carvalho, Rutênio Araújo e Solange Costa por todo o auxílio geológico e acadêmico, profissionalismo e acima de tudo pela amizade.

Agradeço às amigas Márcia Carolina, Suelen Lucena e Cristiano Abreu pelo apoio, gargalhadas e amizade, eles que desde a graduação vêm trazendo ensinamentos de muita luz e amizade para minha vida.

Aos queridos e nunca esquecidos FF, amigos para todos os momentos da minha vida profissional e pessoal.

A todos que tornaram possível a realização desse trabalho, que de variadas formas, contribuíram para que essa etapa do meu caminho fosse realizada com sucesso.

“Meu pai sempre dizia:
Não levante a sua voz,
Melhore os seus argumentos.”

(Desmond Tutu)

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo geral a identificação dos locais de risco de grandes erosões e alagamentos na área urbana de Manaus, para esquematizar as respectivas obras de contenção que permitam a prevenção, estabilização, se possível a reconstituição das áreas atingidas e/ou em risco. Com o crescimento da cidade muitos locais são ocupados sem um planejamento adequado (estrutura básica de drenagem e moradia) que influencia nos fatores de origem e/ou avanço dos processos erosivos existentes. Para iniciar a pesquisa houve um levantamento bibliográfico de bases dados geológicos e geotécnicos da área urbana de Manaus, seguindo para as visitas técnicas aos locais de risco. Na primeira parte da pesquisa referente aos movimentos de massa foram realizados coletas e ensaios para caracterização de solo, análise dos dados de sondagens à percussão que possibilitou o desenvolvimento dos estudos de estabilidade em alguns pontos para determinar as contenções adequadas para cada caso. Na segunda parte da pesquisa referente as planícies de inundações foi feito a coleta de dados de cheias no período de 2001 a 2015 junto a relatórios da CPRM, que realiza o monitoramento do evento, e de visitas técnicas aos pontos de alagamentos em 2015, a integração dos dados existentes e coletados possibilitou o aumento da margem de inundação já existente em bibliografia, propondo soluções adequada e identificações de pontos de alagamento. Foi detectado o alto avanço dos pontos de risco em deslizamento e alagações em Manaus, principalmente nas zonas norte e leste, resultados do aumento de ocupações inadequadas ao longo dos anos. As áreas de risco atingidas pelas enchentes do Rio Negro são as planícies de inundação ocupadas por invasões ou acúmulo de lixo, na parte interna da cidade são inúmeras as ocorrências de alagamentos seguidos ou não de deslizamentos. A distribuição dos deslizamentos e voçorocas no mapa de declividade e visitas técnicas aos locais mostra alto risco em alguns bairros e comunidades, como Jorge Teixeira 3, Grande Vitória, Nossa Senhora de Fátima, existe um avanço desenfreado de moradias em locais íngremes e sem estrutura. Os estudos de estabilidade de taludes e o reconhecimento da área de inundação mostraram as inúmeras contenções de custo viável ao poder público, para estabilização e/ou reconstituição das áreas. São contenções descritas separadamente para os dois assuntos de risco proposto pelo trabalho, com isso contribuindo no avanço de estudos realizados na demarcação de áreas de risco, para que futuramente seja realizado um avanço urbano adequado com consciência dos riscos envolvidos nas ocupações e obras mal realizadas.

Palavras-chave: Deslizamento. Área de risco. Voçorocas. Contenção. Inundações. Drenagem. Estabilidade.

ABSTRACT

The objective of this work was to identify the sites of risk of major erosion and flooding in the urban area of Manaus, in order to outline the respective containment works to prevent, stabilize and, if possible, reconstitute affected and / or endangered areas. With the growth of the city many places are occupied without proper planning (basic structure of drainage and housing) that influences the factors of origin and / or advancement of existing erosion processes. To begin the research there was a bibliographical survey of geological and geotechnical data bases of the urban area of Manaus, followed for the technical visits to the places of risk. In the first part of the research on mass movements, data collection and tests were carried out for soil characterization, analysis of the drilling data to the percussion that allowed the development of stability studies in some points to determine the appropriate containments for each case. In the second part of the floodplain survey, data were collected on floods from 2001 to 2015 along with reports from CPRM, which monitors the event, and technical visits to flood points in 2015, integration of the existing and collected data allowed the increase of the existing flood margin in literature, proposing adequate solutions and identification of flood points. It was detected the high advance of landslides and mudslides in Manaus, mainly in the north and east, resulting from the increase of inadequate occupations over the years. The areas of risk reached by the floods of the Rio Negro are flood plains occupied by invasions or accumulation of garbage, in the inner part of the city there are numerous occurrences of flooding followed or not by landslides. The distribution of landslides and gullies on the declivity map and technical visits to the sites shows high risk in some neighborhoods and communities, such as Jorge Teixeira 3, Grande Vitória, Nossa Senhora de Fátima, there is an uncontrolled advance of housing in steep and unstructured places. Slope stability studies and the reconnaissance of the flood area showed the innumerable cost containments to the public power, for stabilization and / or reconstitution of the areas. These containments are described separately for the two subjects of risk proposed by the work, thus contributing to the advancement of studies carried out in the demarcation of risk areas, so that in the future an adequate urban advance will be realized with awareness of the risks involved in occupations and poorly performed Works.

Keywords: Sliding. Risk area. Gullies. Containment. Floods. Drainage. Stability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo, localizado em Manaus – AM.	20
Figura 2 - Seções estratigráficas da Formação Alter do Chão.	25
Figura 3 - Contato por falha entre os níveis caulínico e ferruginoso da formação Alter do Chão (bairro Colônia Oliveira Machado-Manaus) (A) . Cobertura argilo-arenosa que sobrepõe a Formação Alter do Chão (B) com crosta laterítica (C)	27
Figura 4 - Mapa de unidades geomorfológicas.	28
Figura 5 – Mapa das principais zonas de falhas de Manaus.	30
Figura 6 - Mapa dos bairros de Manaus – AM.	32
Figura 7 - Mapa de drenagem de Manaus – AM.	34
Figura 8 – Mapa das principais bacias hidrográficas de Manaus – AM.	35
Figura 9 – Destacamento pelo impacto de uma gota de água.	40
Figura 10 - Corrida de areia, em Córrego do Desastre, Camaragibe.	43
Figura 11 - Deslizamento em Córrego do Boleiro, Recife/PE.	44
Figura 12 - Sulcos localizados em área de expansão do Conj. Habitacional Francisca Mendes. Zona Norte. Manaus – AM.	46
Figura 13 - Diferentes vistas de ravinas.	46
Figura 14 - Voçoroca no Distrito Industrial. Zona Sul. Manaus – AM.	47
Figura 15 - Voçoroca no município de Alto Araguaia – MT, interceptando o lençol freático, observa-se a forma de “U” da escavação.	48
Figura 16 - Tipos de voçorocas segundo o nível de evolução.	49
Figura 17 - Principais formas de voçorocas encontradas em Manaus.	50
Figura 18 - Ocupação urbana em áreas de inundação.	52
Figura 19 - Retificação do canal de um rio aumentando a vazão, o que pode gerar áreas de inundações e represamento a jusante.	52
Figura 20 - Retaludamento utilizando mudança de geometria para regularizar a superfície.	56
Figura 21 - Muro de Arrimo em Pedra Rachão Parcialmente Destruído.	57
Figura 22 - Detalhe do processo de fresagem/reciclagem.	58
Figura 23 - A) Revestimento completo com drenagem; B) Revestimento Parcial sem Solução de Drenagem.	59
Figura 24 - Revestimentos. A) Geomanta.	59
Figura 25 - Tela argamassada para revestimento de taludes.	60
Figura 26 - Muro de alvenaria armada.	61
Figura 27 - Muros de concreto ciclópico (ou concreto gravidade).	63
Figura 28 - Muro de gabião.	63
Figura 29 - Talude grampeado – Detalhes dos grampos.	64
Figura 30 - Mapa de identificação de estudos de estabilidade na cidade de Manaus.	68
Figura 31 - Análise de estabilidade de talude em seção transversal de maciço de solo (deformação plana).	70
Figura 32 - Divisão da seção transversal do talude em fatias ou lamelas	70
Figura 33 – Fator de Segurança (FS) por Fellenius.	71
Figura 34 - Fluxograma dos procedimentos utilizados no trabalho.	72
Figura 35 - Aprofundamento da sondagem com o uso das hastes de ferro e uso de ferramentas (chave inglesa) para desatarraxar seções das hastes (A). Motor da sonda (B). Execução de sondagem – SP1 (C e D).	74
Figura 36 - Execução de Sondagem SP2, na base do talude.	74
Figura 37 – Processo de retirada das amostras de solo deformado e inderformado: Remoção do piso de concreto para início da escavação (A). Encontrado terceiro nível de piso em concreto (B). Retirada e preparação do solo de amostra indeformada (C). Preparação e retirada da amostra indeformada (D). Escavação de material argilo arenoso, possibilitando a retirada de material para ensaio geotécnico (E). Amostra indeformada protegida dentro de uma caixa de madeira (F). Material retirado na escavação (G). Material sendo recolocado no local da escavação (H), (I).	75
Figura 38 - Preparação do corpo de prova tomando as medidas normatizadas.	76
Figura 39 - Ensaio de compressão simples.	77

Figura 40 - Carta de distribuição de deslizamentos e voçorocas nos bairros de Manaus.....	80
Figura 41 – Mapa de declividade com destaque de deslizamentos da Cidade de Manaus.....	82
Figura 42 – Carta de estudo do movimentos de massas da Cidade de Manaus, com destaque das sondagens, estudos de estabilidade e locais das obras de contenções.	84
Figura 43 - Representação de locais de risco nas zonas norte e leste que dividem o maior número de voçorocas e ocorrências de Manaus.....	85
Figura 44 - Tubulações públicas e domésticas expostas despejando água servida na encosta, agravando o processo de voçorocamento.	86
Figura 45 - Encosta no bairro Mauazinho. A) Descarte de lixo dentro da voçoroca; B) Escorregamento translacional e despejo de água doméstica na parede da encosta.	86
Figura 46 - Estruturas comprometidas por deslizamentos.....	87
Figura 47 - Casas construídas em cima de igarapés, que alagam e sofrem com os deslizamentos pondo em risco suas vidas.	87
Figura 48 - Área de voçoroca na comunidade Grande Vitória / Manaus – AM.	88
Figura 49 - Detalhe da voçoroca em estágio avançado.	89
Figura 50 - Encosta com deslizamentos pontuais e solo recoberto por vegetação secundária.....	90
Figura 51 - Destaque de deslizamento sendo preenchido por lixo oriundo das casas, rua e comunidade.	91
Figura 52 - Pontos de descarte de lixo da comunidade.	91
Figura 53 - Segundo ponto em área de risco no bairro Nova Vitória, com marcações de locais com risco.....	92
Figura 54 - Desmoronamento de barranco, em destaque a estrada acima do local de risco..	93
Figura 55 - Assoreamento nas proximidades de construções com arraste direcionado.	94
Figura 56 - Apresenta enfraquecimento da base do barranco.....	94
Figura 57 - Simulação da Estabilidade para as condições 1 e 2, descrito na Tabela 1.....	97
Figura 58 - Perfil utilizado na análise.	97
Figura 59 - Superfície crítica global (FS=0,991).....	98
Figura 60 - Superfície crítica para ruptura parcial do maciço (FS=0,594).....	98
Figura 61 - Casas no igarapé do Quarenta com risco de alagações e desmoronamentos.	99
Figura 62 - Ocupação indevida as margens do igarapé São Raimundo, bairro Presidente Vargas. A conhecida Matinha com suas palafitas sob o risco de desabamentos.....	101
Figura 63 - Simulação da Estabilidade de talude para a condição no 1 - 10 descrito na Tabela 2.	106
Figura 64 - Curva Granulométrica, amostras 1, 2, 3 e 4.	109
Figura 65 - Ensaio do limite de liquidez, amostras 1, 2, 3 e 4.....	110
Figura 66 - Ensaio da compressão simples, amostras 1, 2, 3 e 4.	111
Figura 67 - Ensaio do cisalhamento direto, amostras 1, 2, 3 e 4.....	112
Figura 68 - Ocupação indevida às margens do Rio Negro. Comunidade “Meu Bem Meu Mal” A sob o risco de desabamentos, enchentes, sem estrutura de moradia.	114
Figura 69 - Simulação da Estabilidade de talude para a condição nas camadas 1 - 3 descrito na Tabela 4.	117
Figura 70 - Registro dos níveis máximos do Rio Negro no Porto de Manaus.....	120
Figura 71 - Igarapés de Manaus com acúmulo de lixo em meio a moradias.....	121
Figura 72 - Áreas alagadas em Manaus devido acúmulo de lixo, topografias modificadas, ação antrópica causando danos.	122
Figura 73 - Áreas inundadas em Manaus mostrando o avanço fluvial nas casas e em alguns pontos ficam no limite de áreas recuperadas.	123
Figura 74 - Carta de estudos das áreas de inundação de Manaus segundo nível de cota 30, correlacionado ao mapa de Brasil e Costa (2015). Com destaque de palafitas e pontos de alagamentos.	125
Figura 75 - (A) Bloco com 3 residências do Programa. (B) Parque Residencial Manaus....	127
Figura 76 - Visualização do igarapé Bittencourt antes e depois do PRASAMIM. Um local poluído e de risco aos moradores, que depois do PRASAMIM tornou-se de um lado um local de lazer com quadras esportivas e do outro lado o Parque Senador Jefferson Peres.....	127

Figura 77 - Visualização do igarapé Mestre Chico antes e depois do PROSAMIM. Antes um local constituído de moradias inadequadas e poluição, depois uma área revitalizada para lazer da comunidade.	128
Figura 78 - Visualização do igarapé do Quarenta antes e depois do PROSAMIM.	128

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Relação de erodibilidade com a classe pedológica de solos.	41
Quadro 2 - Comprimento da encosta e perda do solo.	42
Quadro 3 - Correlações entre parâmetros geotécnicos do solo e o N_{SPT}	65
Quadro 4 - Alguns estudos levados a cabo para taludes naturais na cidade de Manaus.	67
Quadro 5 - Parâmetros geotécnicos do solo, em função da correlação estatística com a litologia da camada e do índice de resistência à penetração do solo.	95
Quadro 6 - Parâmetros de resistência utilizada na análise.	97
Quadro 7 - Parâmetros geotécnicos do solo, em função da correlação estatística com a litologia da camada e do índice de resistência à penetração do solo: SP-11.	103
Quadro 8 - Propriedade de coleta de amostras deformadas e indeformadas de solo.	108
Quadro 9 - Parâmetros de resistência dos ensaios utilizados.	113
Quadro 10 - Parâmetros geotécnicos do solo, em função da correlação estatística com a litologia da camada e do índice de resistência à penetração do solo: SP-1.	115
Quadro 11 - Parâmetros índice de resistência à penetração geotécnicos do solo, em função da correlação estatística com a litologia da camada e do do solo: SP-2.	116
Quadro 12 - Parâmetros geotécnicos do solo, em função da correlação estatística com a litologia da camada e do índice de resistência à penetração do solo: SP-3.	116
Quadro 13 - Soluções aplicadas em áreas de Manaus.	119

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fatores de segurança do talude analisado por diferentes métodos, na sua seção transversal mais íngreme.	96
Tabela 2 - Fatores de segurança dos taludes analisados por diferentes métodos, nas seções transversais normal (S-PL1 e S-PL2) e longitudinal (S-80 m), para diversas condições de geometria de seção, linha piezométrica e sobrecargas, na implantação do Terminal Pesqueiro de Manaus.	104
Tabela 3 - Parâmetros geotécnicos do solo, referentes às seções S-1 a S-5, aliadas às sondagens SP-1 e SP-2, em função de resultados de ensaios laboratoriais e por correlação estatística com a litologia da camada e do índice de resistência à penetração do solo.	107
Tabela 4 - Fatores de segurança dos taludes analisados por diferentes métodos, nas seções transversais passando pelas sondagens SP-1, SP-2 e SP-3.....	117

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Objetivos	17
<i>1.1.1 Objetivo Geral</i>	17
<i>1.1.2 Objetivos Específicos</i>	18
1.2 Justificativa	18
1.3 Localização da Área de Estudo	19
1.4 Estrutura do Trabalho	21
1.5 Termos e Conceitos	21
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
2.1 Contexto geológico local	24
<i>2.1.1 Grupo Javari</i>	24
2.2 Geomorfologia de Manaus	27
2.3 Falhas Geológicas em Manaus	29
2.4 Caracterização Física da Área de Estudo	31
<i>2.4.1 Crescimento Demográfico e Urbano de Manaus</i>	31
<i>2.4.2 Hidrografia</i>	33
<i>2.4.3 Solo</i>	36
2.5 Risco Geológico	37
<i>2.5.1 Pontos de Risco</i>	38
2.6 Erosão: Processos e Feições	38
<i>2.6.1 Processos Hidrológicos</i>	39
<i>2.6.2 Ação das Gotas de Chuva</i>	39
<i>2.6.3 Infiltração de Água no Solo</i>	40
<i>2.6.4 Erodibilidade</i>	40
<i>2.6.5 Características das Encostas</i>	41
<i>2.6.6 Movimento de Massa</i>	42
<i>2.6.7 Formas de Erosão</i>	44
<i>2.6.8 Ação Antrópica e os Processos Erosivos</i>	50
2.7 Inundação	51
<i>2.7.1 Alteração das Características do Rio</i>	51
<i>2.7.2 Enfrentar os Problemas decorrentes das Inundações</i>	53
2.8 Obras de Engenharia para Contenção	54
<i>2.8.1 Obras não estrutural</i>	54
<i>2.8.2 Obras com Estrutura de Contenção</i>	61
<i>2.8.3 Parâmetros geotécnicos do solo da cidade de Manaus</i>	65
<i>2.8.4 Análise de Estabilidade de Taludes</i>	69
3 MATERIAIS E MÉTODOS	72
3.1 Pesquisa Bibliográfica e Aquisição de Dados	72
3.2 Procedimento Experimental	73
<i>3.2.1 Etapa de Campo</i>	73
<i>3.2.2 Sondagens à Percussão (SP) - (ABNT NBR 6484)</i>	73
<i>3.2.3 Coleta de Amostras deformadas e indeformadas</i>	75
<i>3.2.4 Ensaios de caracterização do solo</i>	76
3.3 Análise de Inundações	77
3.4 Integração das Informações	78
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	79

4.1 Evolução Temporal de Pontos de Erosão: 2008 x 2015	79
4.2 Estudo de casos de estabilidade de taludes em Manaus	81
<i>4.2.1 Zona Norte e Zona Leste</i>	85
<i>4.2.2 Zona Sul e Zona Centro-Sul</i>	99
<i>4.2.3 Zona Oeste e Zona Centro-Oeste</i>	113
<i>4.2.4 Soluções para as áreas de estudo</i>	118
4.3 Análise Temporal de Inundação na Área Urbana de Manaus	120
<i>4.3.1 Cheias do Rio Negro 2011 – 2015</i>	120
<i>4.3.2 Prevenção e recuperação das áreas de inundação</i>	126
5 CONCLUSÃO	131
5.1 Sugestões para Pesquisas Futuras	132
REFERÊNCIAS	133
OBRAS CONSULTADAS	144

1 INTRODUÇÃO

A erosão acelerada não é um assunto novo, ela acompanha a agricultura desde o seu início, a 4.000 ou 5.000 a.C. Na ocasião, a erosão representava um perigo pequeno devido ao tamanho das áreas de cultivo, mas, com o passar do tempo e o crescimento populacional, o fenômeno passou a ganhar importância, sendo hoje um problema universal, uma ameaça visível à sobrevivência e que acompanha o homem ao longo do tempo.

Em vários lugares no mundo encontram-se problemas gerados pelo movimento de massas e inundações que ocorrem principalmente em países subdesenvolvidos, agravando os problemas pela falta de estrutura para evitar ou controlar os desastres. A ocupação de áreas de risco, seja para moradia ou lazer, serve como exemplo de situações que aumentam de frequência e magnitude dando ensejo a grandes desmoronamentos (SELBY, 1982; CHORLEY, SCHUMM, SUGDEN, 1984).

No Brasil, as regiões mais afetadas pelos deslizamentos são as mais densamente povoadas, principalmente em encostas, em canais a céu aberto e em ruas não pavimentadas. Nas cidades, esse problema é danoso socialmente, desalojando pessoas; economicamente, destruindo a infraestrutura urbana; e, ambientalmente, assoreando lagos e cursos d'água. Esse assoreamento é um problema proveniente de erosão, assim, ocorrendo uma grande chuva, surgem problemas diversos a serem solucionados nas grandes cidades do Brasil: as inundações (CONCIANI, 2008).

Ao longo dos anos vem sendo desenvolvidos estudos, pesquisas, métodos e modelos com o fito de se obter uma estimativa das erosões; são trabalhos muito importantes, pois oferecem conhecimento de caracterização de solo, estimativas de perda de solo, ações de prevenção e controle de acidentes e delimitações de áreas de riscos. Mesmo com tantos estudos e métodos desenvolvidos, o Brasil é considerado um país com baixo conhecimento, em relação à prevenção desses desastres naturais ou antrópicos. Culpa do povo ou do descaso das autoridades locais?

Enquanto não se encontra essa resposta, pela pouca atenção e desenvolvimento da prevenção, uma minoria segue realizando estudos detalhados com implantação de obras e benfeitorias, buscando prevenir e ajustar. Mas, para ocorrer a implantação dessas ideias é preciso definir as diretrizes legais, planos de ocupação de solo, código de águas e outras legislações afins. O futuro dessas obras é de grandes investimentos em recuperação e remediações.

Os estudos para investigar as vulnerabilidades naturais para movimentos de massas podem ser realizados a partir de informações como: declividade do terreno, conhecimento geológico-geotécnico desses locais, etc. Com isso, podem-se apresentar mapas que demarcam áreas de maior e menor risco e também apresentar um planejamento de reconstituição do local, a fim de se evitar futuras movimentações. Esses movimentos podem ser catastróficos, gerando um custo elevado com reparo de danos, realocação de estruturas, manutenção de obras, instalações de obras de contenção, além dos indiretos, que atingem toda uma sociedade (ESPÓSITO et al., 2010).

Este trabalho utiliza os conhecimentos conceituais dos riscos geológicos, dos acidentes naturais e/ou antrópicos: movimento de massa, erosões, voçorocas, deslizamentos, inundações de locais com pouca ou quase nenhuma atividade de prevenção e orientação, na cidade de Manaus. O crescimento populacional desordenado da cidade ocorreu devido à criação da Zona Franca e do Distrito Industrial, no final da década de 1960.

Com as mudanças e crescimento da cidade, as áreas que apresentavam densa cobertura vegetal foram desmatadas, virando os loteamentos e ocupações para futuramente, surgirem as formas resultantes de processos erosivos, as quais provocam danos ambientais e urbanos. Uma das causas para o surgimento dessas incisões é a forma como o espaço é utilizado na urbanização. Não apenas o local onde são construídas as edificações, mas também o direcionamento que é dado às águas pluviais, sendo preciso realizar a correlação dessas ações antrópicas com o conjunto dos mecanismos físicos naturais existentes em Manaus (VIEIRA, 2008).

Portanto, é necessária uma ampliação do volume de informações sobre o meio físico, dando possibilidade de planejamento urbano, com implantação de políticas de desenvolvimento sustentável da região.

1.1 Objetivos

Salientam-se nesta dissertação os respectivos objetivos geral e específicos:

1.1.1 Objetivo Geral

Identificar as áreas de risco a grandes erosões e inundações na área urbana de Manaus, para propor as respectivas obras de contenção que permitam a prevenção, estabilização e, se possível, a reconstituição das áreas atingidas e/ou em risco.

1.1.2 Objetivos Específicos

- A) Descrever os fatores que atuam na evolução de processo erosivos dos locais atingidos;
- B) Avaliar os dados de sondagens, realizando o estudo de estabilidade de taludes, para criar mapa de distribuição de pontos de deslizamento e voçorocas em cada zona administrativa da cidade;
- C) Examinar dados de inundações em Manaus para identificar a faixa de risco, em busca de melhores soluções para os problemas decorrentes.
- D) Propor soluções para os principais problemas identificados.

1.2 Justificativa

O desenvolvimento industrial e crescimento urbano da cidade de Manaus deu início à degradação de muitas áreas que apresentavam densa cobertura vegetal, dando lugar a loteamentos, ocupações domésticas e industriais. Hoje em dia existem áreas de risco, na cidade, que abrigam grandes voçorocas, umas com mais frequências que outras, em avanço constante. Utilizando o zoneamento geotécnico, tem-se o conhecimento das características básicas do meio físico, capaz de subsidiar o desenvolvimento de planos de contenção e técnicas adequadas, do planejamento urbano e ambiental de locais atingidos e de novos locais para serem ocupados sem risco.

Tanto os deslizamentos quanto as inundações que ocorrem na cidade de Manaus atingem diretamente a comunidade, dividida no grupo que contribui economicamente para ajudar os prejudicados por tais problemas, outro é composto pelos que tem baixa renda financeira e quando as inundações chegam às portas de suas lojas, ou suas casas são atingidas com o deslizamento, e o grupo governamental, que todo ano desenvolve planos de auxílio e resgate, insuficiente para prevenções futuras. Tais problemas vêm deixando um rastro de danos ambientais e urbanos significativos nos últimos anos, aumentando os danos econômicos para os dois lados: sociedade e governo.

No Brasil existe vários locais com problemas de deslizamentos, o que motivou o desenvolvimento de inúmeros estudos mostram as formas erradas de ocupação, os grandes desastres, os mapas de riscos e os planejamentos de ocupações adequadas. Mas, o mais importante desses trabalhos são os dados das formas de distribuição social, ocupacional, caracterização geotécnicos e geológicos dessas cidades abordadas em cada pesquisa, sendo

indispensável para compreender a origem dos problemas em questão e auxiliar para que sejam tomadas medidas de prevenção e de reabilitação desses locais destruídos.

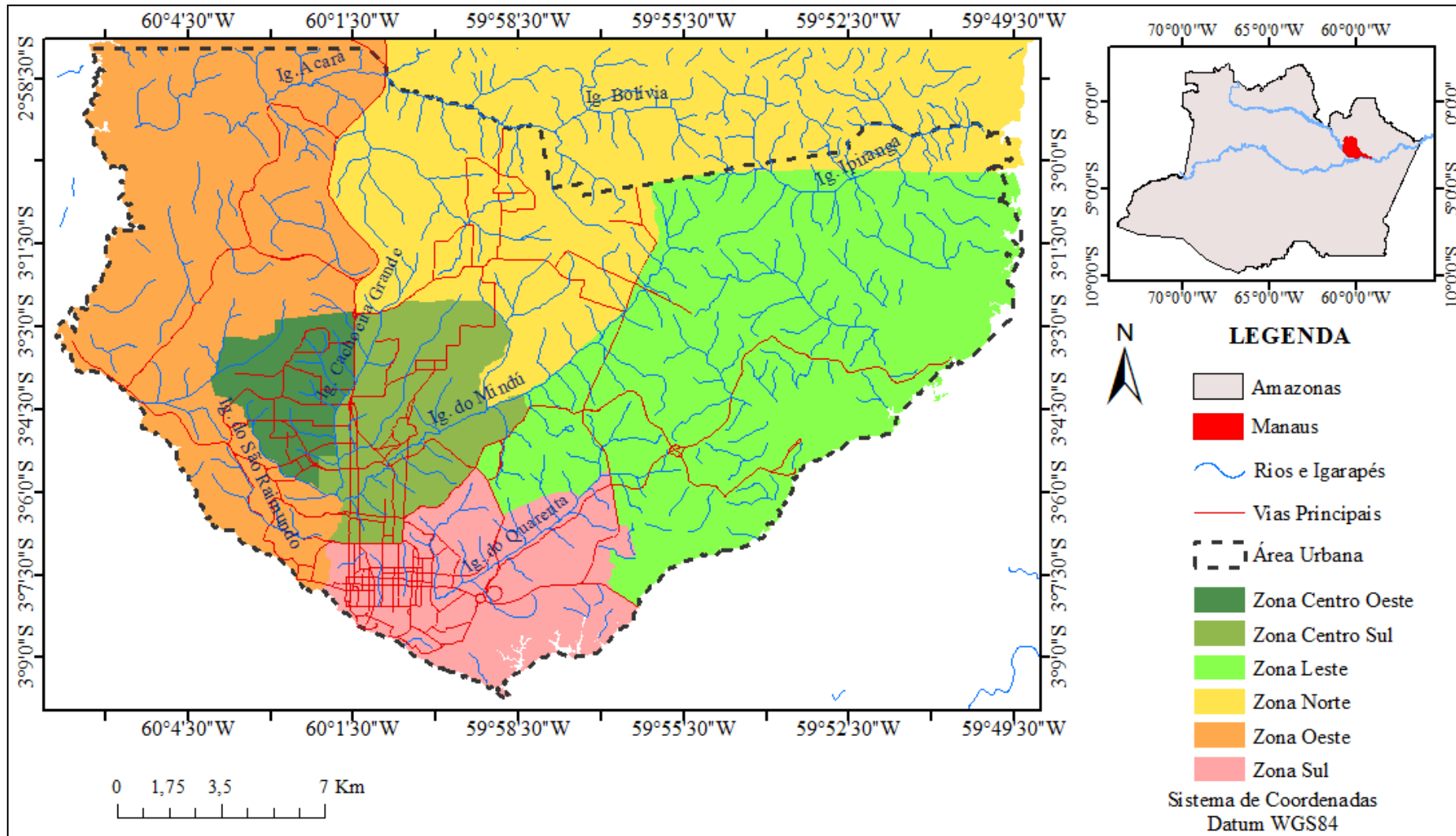
Não se pode deixar de salientar os fatores primários que geram tais problemas (erosões e cheias do Rio Negro) que atingem a área urbana de Manaus e possuem formas de ocorrência natural o que é necessário reconhecer e correlacionar é: Até que ponto é causa natural do processo? Em que momento ocorre a ação antrópica? Pois o risco aparece quando não se analisa adequadamente as informações do funcionamento dos sistemas naturais, de erosão, de solo, de cheia e vazão dos rios e igarapés e o que influencia os terrenos com maior ou menor tendência à erodibilidade. São essas as características chaves nesses trabalhos desenvolvidos, pois não obedecem à classe social ou de renda, contribuindo para que todos sejam atingidos de alguma forma.

O presente trabalho fornece estudo da área urbana de Manaus, permitindo uma visão integrada de informações, individualizadas em zonas de baixo, médio e alto risco de erosão e inundações que permitem uma base de reconhecimento inicial para novo planejamento de obras de contenção economicamente viável e adequado para redução de danos à comunidade. Com isso, as instituições competentes aplicarão os cuidados e obras sugeridas nas etapas preliminares com foco urbano e ambiental, iniciando com um direcionamento à educação ambiental, desocupação dos locais de risco existentes, visando um resultado positivo para a sociedade.

1.3 Localização da Área de Estudo

A área de estudo é limitada à área urbana da cidade de Manaus, situa-se entre as coordenadas 2°57' e 3°10' latitude Sul e 59°53' e 60°07' longitude Oeste, com tamanho de aproximadamente 377 km². O município de Manaus está situado na microrregião denominada Médio Amazonas, na confluência do rio Negro com o rio Solimões, (Figura 1).

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo, localizado em Manaus – AM.



Fonte: CPRM (2001); CPRM (2002); IBGE (2003).

1.4 Estrutura do Trabalho

Esta dissertação está organizada em capítulos conforme a seguinte sequência lógica:

Capítulo 1 – Introdução do tema com dados bibliográficos, separando os objetivos gerais e específicos, justificativa, localização da área de estudo com limites, coordenadas e um tópico com os principais termos e conceitos utilizados.

Capítulo 2 – Descrição da fundamentação teórica do trabalho: Contexto geológico local com breve descrição da formação geológica da cidade, com características e origem, também são feita uma pequena abordagem da geotectônica de Manaus. Em seguida, é mostrado um histórico do crescimento e desenvolvimento da cidade de Manaus, com descrição dos aspectos físicos e urbanos.

A parte conceitual sobre riscos geológicos e o processo de movimentos de massa, descrevendo um pouco no histórico desse processo no Brasil e em Manaus; Seguimos para o tópico de inundações de forma geral, as descrições dos vários tipos de obras de engenharia para contenção, finalizando com parâmetros geotécnicos de solo e análise de estabilidade.

Capítulo 3 – Aborda os procedimentos metodológicos e materiais utilizados para obter os dados necessários para análise de resultados;

Capítulo 4 – Apresenta os resultados finais do trabalho que são relativos às delimitações de áreas de risco para correlação com as preexistentes, descrição de campo realizado na comunidade Grande Vitória e bairro Distrito II, análise dos dados de ensaios de solo e sondagens à percussão, descrição de dados atuais de inundações ocorridas em Manaus, desenvolvimentos de estudo de estabilidade de algumas áreas em Manaus e apresentação do quadro de obras de contenção desenvolvido para cada caso estudado.

Capítulo 5 e 5.1 – Conclusões do trabalho e sugestões para novas pesquisas .

Capítulo 6 – Apresenta as referências bibliográficas.

1.5 Termos e Conceitos

Para melhor compreensão conceitual dos termos utilizados nesta dissertação, definidos pelo Glossário de Defesa Civil e Estudos de Risco e Medicina de Desastres:

Risco: 1. Medida de dano potencial ou prejuízo econômico expressa em termos de probabilidade estatística de ocorrência e de intensidade ou grandeza das conseqüências previsíveis. 2. Probabilidade de ocorrência de um acidente ou evento adverso, relacionado com a intensidade dos danos ou perdas, resultantes dos mesmos. 3. Probabilidade de danos

potenciais dentro de um período especificado de tempo e/ou de ciclos operacionais. 4. Fatores estabelecidos, mediante estudos sistematizados, que envolvem uma probabilidade significativa de ocorrência de um acidente ou desastre. 5. Relação existente entre a probabilidade de que uma ameaça de evento adverso ou acidente determinado se concretize e o grau de vulnerabilidade do sistema receptor a seus efeitos.

Área de risco: Local onde existe a possibilidade de ocorrência de eventos adversos.

Movimento de massa: Todo e qualquer movimento coletivo de materiais terrosos e/ou rochosos, independentemente da diversidade de processos, causas, velocidades, formas e demais características. O mesmo que escorregamento, no seu sentido amplo.

Erosão: Desagregação e remoção do solo ou de rochas, pela ação da água, vento, gelo e/ou organismos (plantas e animais).

Erosão acelerada ou antrópica: Erosão que se desenvolve de forma rápida, devido às alterações no equilíbrio natural, provocada principalmente por atividades humanas (desmatamento, agricultura, cortes do terreno etc.)

Voçorocas: Escavação, rasgão, fenda profunda no solo ou rocha decomposta, oriunda de diversos e complexos mecanismos, tais como enxurradas e desmoronamentos provocados por erosão subterrânea e causados por águas pluviais que se infiltram em terrenos permeáveis e pouco consistentes, ao atingirem superfícies de menor permeabilidade. As voçorocas são de difícil contenção e geralmente causam graves danos econômicos. Constituem-se no estágio mais avançado da erosão linear e ocorrem quando o aprofundamento das ravinas atinge e ultrapassa o nível do lençol freático. A interseção do fundo da ravina com o nível do lençol freático incrementa o processo erosivo, inclusive da erosão interna, que remonta através do interior do terreno, carreando material em profundidade e intensificando a formação de veios ou tubos (pipes) vazios, no interior do solo. Esses vazios, ao atingirem proporções significativas, provocam colapsos e desabamentos que intensificam o fenômeno. As voçorocas são frequentes em países de clima tropical úmido caracterizado pela existência de uma estação chuvosa, na primavera-verão, e outra de estio, no outono-inverno.

Deslizamento: Fenômeno provocado pelo escorregamento de materiais sólidos, como solos, rochas, vegetação e/ou material de construção ao longo de terrenos inclinados, denominados encostas, pendentes ou escarpas. Caracteriza-se por movimentos gravitacionais de massa que ocorrem de forma rápida, cuja superfície de ruptura é nitidamente definida por limites laterais e profundos, bem caracterizados. Em função da existência de planos de fraqueza nos horizontes movimentados, que condicionam a formação das superfícies de

ruptura, a geometria desses movimentos é definida, assumindo a forma de cunha, planar ou circular.

Escorregamento: O mesmo que deslizamento. 2. Termo genérico referente a uma ampla variedade de processos envolvendo movimentos coletivos de solo e/ou rocha, regidos pela ação da gravidade. Os escorregamentos constituem-se num dos principais riscos geológicos do Brasil. As áreas atingidas são passíveis de zoneamento, podendo ser monitorizadas a partir do acompanhamento de dados de precipitações pluviométricas, principal agente deflagrador do processo. Esse fenômeno pode ocorrer: isoladamente, no tempo e no espaço, característica de escorregamento esporso; e simultaneamente com outros movimentos gravitacionais, característica de escorregamento generalizado.

Enchente: Elevação do nível de água de um rio, acima de sua vazão normal.

Inundação: Transbordamento de água da calha normal de rios, mares, lagos e açudes, ou acumulação de água por drenagem deficiente, em áreas não habitualmente submersas. Em função da magnitude, as inundações são classificadas como: excepcionais, de grande magnitude, normais ou regulares e de pequena magnitude. Em função do padrão evolutivo, são classificadas como: enchentes ou inundações graduais, enxurradas ou inundações bruscas, alagamentos e inundações litorâneas. Na maioria das vezes, o incremento dos caudais de superfície é provocado por precipitações pluviométricas intensas e concentradas, pela intensificação do regime de chuvas sazonais, por saturação do lençol freático ou por degelo. As inundações podem ter outras causas como: assoreamento do leito dos rios; compactação e impermeabilização do solo; erupções vulcânicas em áreas de nevados; invasão de terrenos deprimidos por maremotos, ondas intensificadas e macarés; precipitações intensas com marés elevadas; rompimento de barragens; drenagem deficiente de áreas a montante de aterros; estrangulamento de rios provocado por desmoronamento.

Alagamento: Água acumulada no leito das ruas e no perímetro urbano por fortes precipitações pluviométricas, em cidades com sistemas de drenagem deficientes.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Contexto geológico local

2.1.1 Grupo Javari

O Grupo Javari (EIRAS et al., 1994) reúne clásticos flúvio-lacustres que integram a Sequência Cretácea–Terciária, cuja evolução encontra-se vinculada à atividade orogênica andina. Reúne duas principais Formações: Alter do Chão e Solimões, presente nas bacias Amazonas e Solimões.

2.1.1.1 Formação Alter do Chão

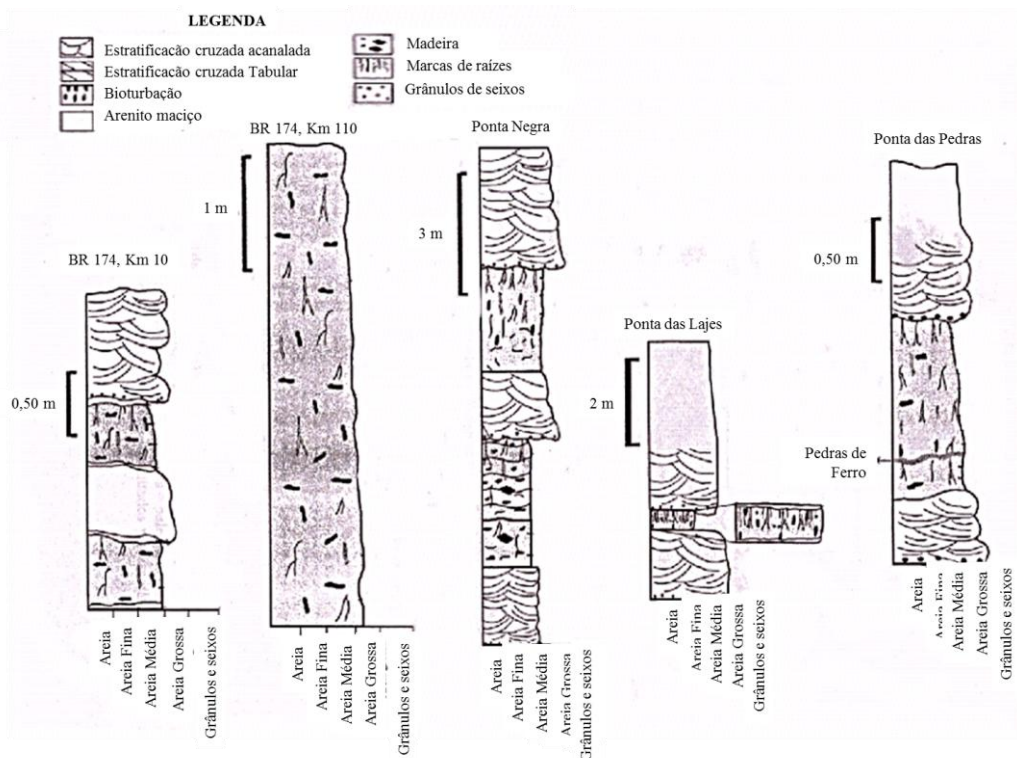
A unidade mais representativa da região de Manaus é a Formação Alter do Chão, que teve seu primeiro registro feito por Derby (1879 *apud* VIEIRA, 1999) embasado no relatório de Hartt (1870). Constituída por uma variedade de arenitos e argilitos, com subordinada fração conglomerática (KISTLER, 1954). É uma unidade de sistema deposicional continental que ocorre em discordância a algumas unidades paleozóicas das bacias Amazonas e Solimões.

Vários estudos caracterizam essa formação, são esses voltados à faciologia de seus depósitos sedimentares (VIEIRA, 1997), ao trato dos perfis de alteração desenvolvidos sobre suas principais litologias (HORBE et al., 2001), ao arranjo neotectônico que a articula (BEMERGUY et al., 1999; COSTA, 2001) e à distribuição dos depósitos minerais resultantes dos produtos residuais ou formacionais que a unidade registra e que têm atendido à área da construção civil (D'ANTONA et al., 2006).

É constituída arenitos finos a médios, com níveis argilosos, caulíníticos, contendo grânulos de seixos de quartzo esparsos, com estratificação cruzada e plano-paralela. Tem morfologia de superfícies tabulares e colinosas, a sucessão inferior é predominantemente arenosa e apresenta ciclos de ambientes fluviais anastomosados com retrabalhamento eólico.

A sucessão superior é predominantemente pelítica e de um ambiente progradacional flúvio-deltaico em ambiente lacustre (DINO; SILVA; ABRAHÃO, 1999). Apresenta uma camada de arenito silificado e ferruginoso descontínuo, denominado de “Arenito Manaus” por Agassiz (1867), terminologia comumente usada na região e embora tenha denominação própria não é considerado um membro ou fácies da Formação Alter do Chão. É caracterizado por arenitos e siltitos silificados, em geral avermelhados, por vezes esbranquiçados, compacto, possui estruturas sedimentares preservadas, contendo fragmentos de madeira, restos de carvão preservados e marcas de raízes, distribuídos, nas margens dos rios e igarapés da região (SILVA, 2005), (Figura 2).

Figura 2 - Seções estratigráficas da Formação Alter do Chão.



Fonte: Silva (2005).

Os autores Franzinelli, Igreja e Rossi (2003) caracterizam o “Arenito Manaus” como supermaturo, homogêneo, com granulação média a grossa, pobremente selecionado, com quantidades variadas de cimento e constituído por agregados de quartzo associado à matriz de caulinita, estando no topo da Formação Alter do Chão, expostos na parte central da bacia do Amazonas, nas margens do baixo rio Negro e igarapés de Manaus. Os autores defendem a origem da silicificação desse nível estratigráfico na unidade, sugerindo três fases de modificações diagenéticas: a) durante a fase deposicional (eogênese), b) durante o

soterramento (mesogênese) e c) por soerguimento e erosão (telogênese), sob influência de fatores deposicionais, climáticos, tectônicos e de intemperismo.

Nogueira et al. (2003), consideram esses corpos como silcretes de clima úmido, formados durante o processo de pedogênese e ou eodiagênese, com fase mesodiagênese pouco desenvolvida. A tonalidade vermelha foi atribuída ao ferro devido a flutuações do lençol freático, assimilado das soluções silicosas posteriormente. Geralmente, os paleossolos são encontrados acima desse nível silicificado, com aspecto mosqueado e avermelhado, com abundantes traços-fósseis de moldes de raízes, preenchidos por arenitos finos a grossos (NOGUEIRA; TRUCKENBRODT; SOARES, 1999).

No KM-15 da BR-174 e na orla fluvial da praia da Ponta Negra, em Manaus, encontram-se marcas de raízes com espessura de até 60 cm, essas características indicam exposição subaérea e épocas de não deposição e erosão desse nível estratigráfico. Esses dois horizontes (arenito litificado e o paleossolo) representem uma faciologia da Formação Alter do Chão, a ser individualizada. As camadas arenosas e argilosas intemperizadas da Formação Alter do Chão, situadas acima do nível silicificado e do paleossolo, tipicamente são encontradas na cidade de Manaus e em exposições nas rodovias da região, são pacotes de arenitos caulíníticos com lentes argilosas, estratificação plano-paralela e cruzada de pequeno porte, sotoposto pela cobertura argilo-arenosa amarela do solo e a crosta laterítica.

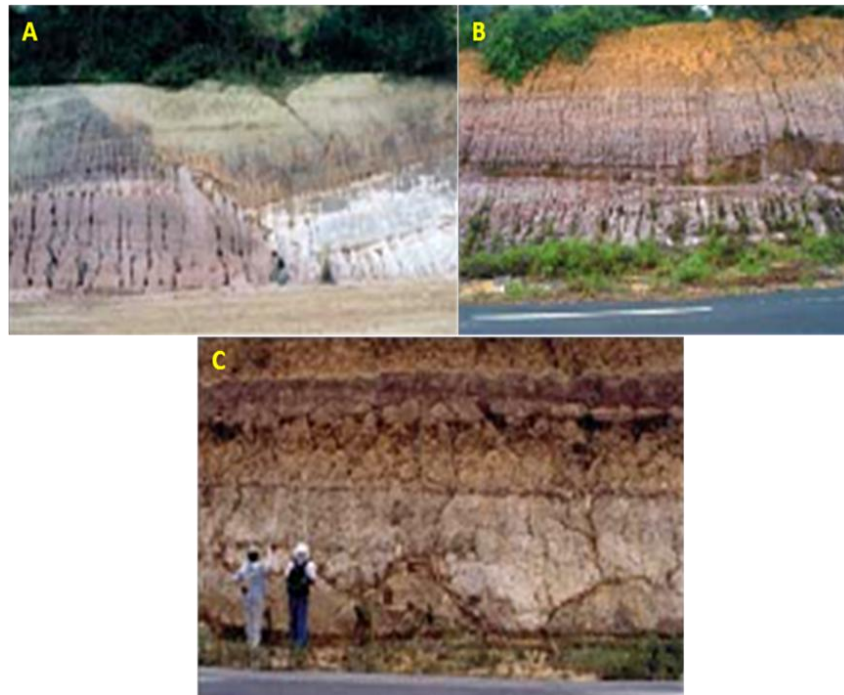
Nas áreas pouco deformadas ou sem deformação tectônica, as camadas da Formação Alter do Chão são sub-horizontais, contínuas e mergulham suavemente para Sul-Sudoeste, com maior espessura na direção da calha da bacia, conforme comentou Neves (1990), com base em dados de poços.

O predomínio de camadas arenosas estratificadas e caulíníticas, com aparência esbranquiçada e ambiente fluvial são características peculiares do Alter do Chão. Além de pacotes avermelhados devidos ao processo de intemperismo, cuja cor resulta da alteração em ambiente oxidante, onde as flutuações do lençol freático foram efetivas na precipitação do ferro.

De acordo com Silva (2005) essa caracterização é importante, pois é comum o contato tectônico de níveis caulíníticos com outros goethíticos, como no caso do afloramento do bairro da Colônia Oliveira Machado, em Manaus, onde camadas areno-argilosas avermelhadas estão em contato lateral por falha com o nível caulínítico (Figura 3A), permitindo posicionar o empilhamento desses níveis, no qual o caulínítico está situado no topo da sequência subjacente à camada de arenito estratificado avermelhado. Essa variação de cores, produto da atuação do intemperismo em clima tropical, marca as deformações

tectônicas certamente ocorridas no Cenozóico. A Formação Alter do Chão é sobreposta por um manto de intemperismo representado pela crosta laterítica ferruginosa e bauxítica e o solo amarelo (Figuras 3B e 3C).

Figura 3 - Contato por falha entre os níveis caulínico e ferruginoso da formação Alter do Chão (bairro Colônia Oliveira Machado-Manaus) (A). Cobertura argilo-arenosa que sobrepõe a Formação Alter do Chão (B) com crosta laterítica (C).



Fonte: Silva (2005).

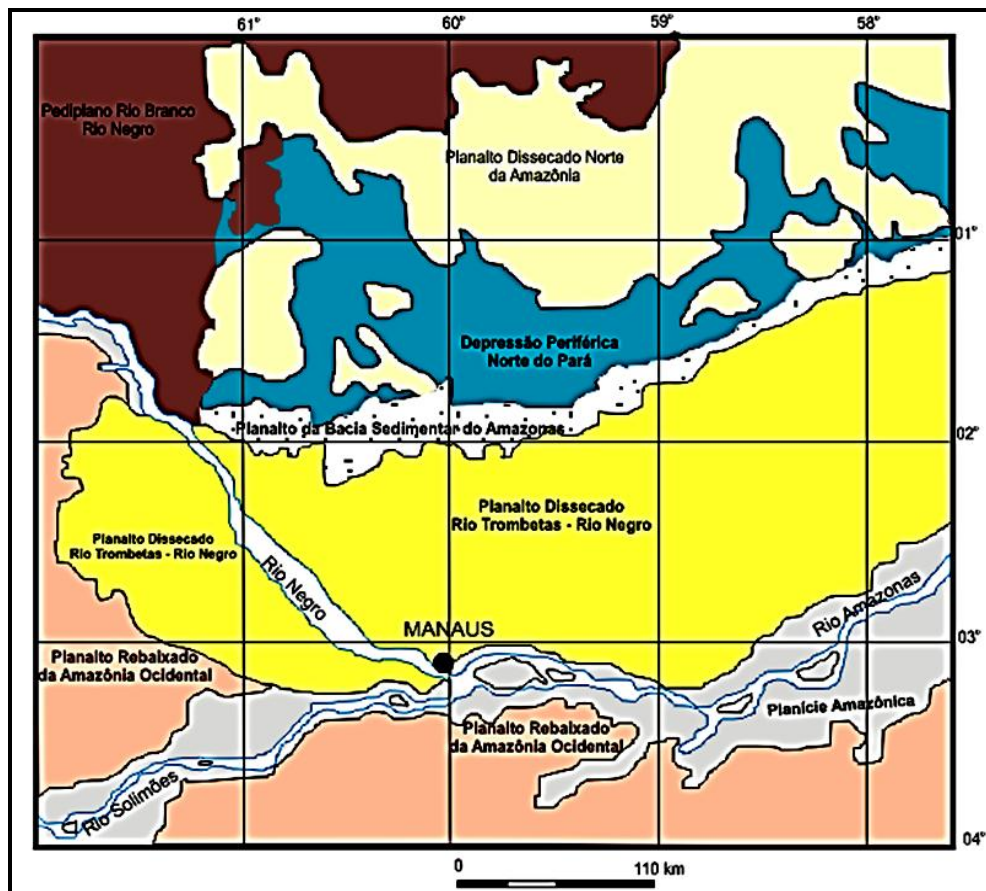
A descoberta de um dente de dinossauro Theropoda & Price (1960) determinou idade Cretáceo para essa unidade. Nos estudos micropaleontológicos de Daemon & Contreras (1971), Daemon (1975) e Dino et al. (1999) foi estabelecida idade no Neoptiano e Cenomaniano. Porém, Caputo (2011) assinala estudos paleobotânicos e geofísicos (COSTA, 2002; MAURO FILHO & EIRAS, 1994; DUARTE, 1987) confirmando cobertura sedimentar Cenozóica na Bacia do Amazonas, com dois pacotes pós-jurássicos discordantes entre si.

2.2 Geomorfologia de Manaus

Manaus é caracterizada pelo domínio morfoestrutural do Planalto Dissecado Rio Trombetas - Rio Negro (NASCIMENTO; MAURO; GARCIA, 1976), Planalto Rebaixado da Amazônia Ocidental (VENTURA; D'AVILA; BARBOSA, 1975) e a Planície Amazônica (BARBOSA; RENNÓ; FRANCO, 1974) (Figura 4).

Sendo caracterizada por interflúvios e colinas tabulares dissecadas e topografia não superior a 120 m, corresponde à área de afloramento da Formação Alter do Chão. Essa superfície tabular é elemento de armazenagem de água da chuva, uma vez excedida essa capacidade, o fluxo que se forma segue em direção à encosta. A unidade morfológica compreende o relevo de colinas pequenas e médias dissecadas (em processo de erosão), onde os vales são estreitos e fechados e a drenagem é do tipo subdendrítica (SILVA, 2005).

Figura 4 - Mapa de unidades geomorfológicas.



Fonte: Nascimento, Mauro, Garcia (1976); Costa, Natali Filho, Oliveira (1978).

Nas margens dos rios Negro e Amazonas, predominam a morfologia de falésias fluviais, com cerca de 40 metros de cota, destacando que as colinas e os interflúvios tabulares, que terminam em encostas côncavas, convexas a retilíneas, se apresentam bem dissecados e alongados nas direções NW-SE e NE-SW. Na cidade, a zona Leste se destaca pela existência de platôs que terminam em encostas de grande declividade, curtas e com predominância da forma convexa, enquanto a zona Oeste apresenta platôs mais extensos e com encostas retilíneas, longas e de baixa declividade. As outras zonas se assemelham entre si, com

encostas variando entre côncavas a convexas, declividade variando de grande a baixa e com extensões também variadas. Na Planície Amazônica estão localizados os depósitos quaternários de planície de inundação, situados, no canal dos rios Solimões e afluentes, a uma altura inferior a 30 m.

Segundo Silva (2005), os lineamentos de relevo compreendem escarpas de falhas com direção NE-SW que se caracterizam por segmentos com comprimentos menores onde estão encaixados os tributários das drenagens principais e os interflúvios das sub-bacias, assim vários lineamentos foram destacados e também definidos os principais elementos e compartimentos morfoestruturais no relevo da região, baseado principalmente pela individualização das superfícies, na posição altimétrica relativa a abatimentos e ao basculamento dos blocos.

A paisagem na cidade de Manaus, por exemplo, está compartimentada em altitudes de 50 m a 100 m, destacando-se relevos de colinas e interflúvios orientados nas direções NW-SE e NE-SW. Os setores Norte e Sul da cidade são marcados por colinas estreitas e alongadas NE-SW, principalmente nas zonas de interflúvios das bacias dos igarapés do Quarenta (afluente do igarapé dos Educandos) e Mindu (afluente do igarapé do São Raimundo) e pelo limite leste da cidade na margem do rio Amazonas, com desníveis topográficos da ordem de 30 metros ou mais. Os interflúvios com direção NW-SE são fortemente concordantes com a borda Oeste da cidade à margem do rio Negro. Destaca-se, próximo ao Aeroporto Internacional Eduardo Gomes, áreas colinosas com direção ENE-WSW e NS, pouco realçado no relevo da região (SILVA, 2005).

2.3 Falhas Geológicas em Manaus

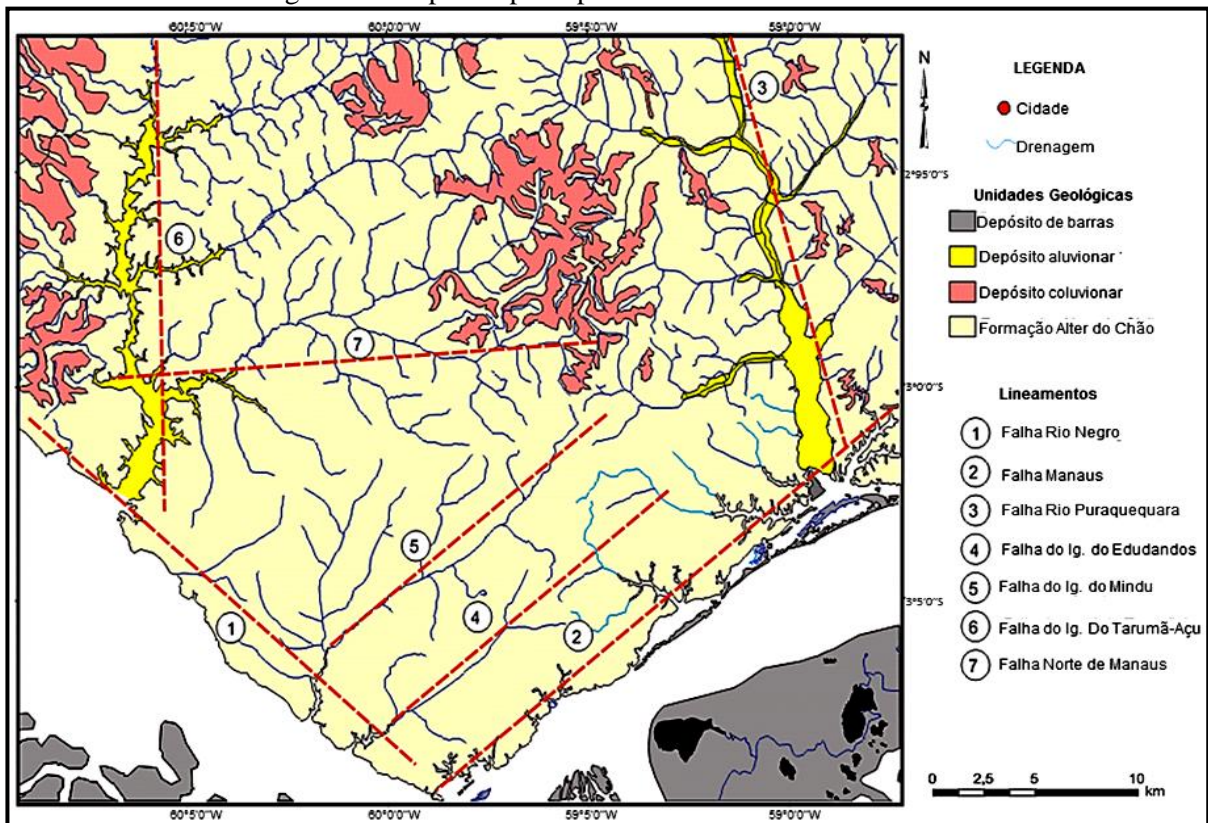
As principais falhas geológicas que ocorrem em Manaus são observadas na Ponta Negra, Avenida do Turismo, Dom Pedro, região da Cidade Nova, Cachoeirinha, Praça 14, Grande Circular, Distrito Industrial, Colônia Oliveira Machado e Mauazinho, dentre outros locais, (SILVA, 2005). Essas falhas correspondem a importantes lineamentos tectônicos que exercem um controle efetivo no sistema de relevo e na drenagem dessa cidade. O padrão estrutural desse conjunto de falhas obedece às direções NW-SE, NE-SW, N-S e E-W, cuja principal estrutural se relaciona à Falha do Rio Negro, com direção N30W e à falha da margem leste da cidade (Falha Manaus) com orientação próxima a E-W (Figura 5).

Os igarapés do Educandos e a bacia São Raimundo – Mindu são controlados por falhas orientadas segundo NE-SW, e seus tributários seguem zonas de fraturas orientadas

NW-SE. Os igarapés Puraquequara, na borda leste da cidade, e o Tarumã-Açu, estão condicionados à falha N-S. Todos os rios e igarapés da região de Manaus e adjacências são condicionados em falhas geológicas recentes (SILVA, 2005).

Grande parte dessas falhas compreende um sistema de falhamento normal que afeta a Formação Alter do Chão em sistema lístrico e/ou planar. A geometria dos blocos abatidos descreve um conjunto de hortas e grábens alternados, onde a sua distribuição e localização coincidem com a morfologia do terreno atual. O fato de essas falhas deslocarem camadas arenosas e argilosas da Formação Alter do Chão, a crosta laterítica e o horizonte de solo demonstram que essas estruturas são quaternárias. Certamente, essa estruturação possui relação com o sistema de relevo e drenagem da cidade de Manaus, denotado pelo controle das margens na cidade.

Figura 5 – Mapa das principais zonas de falhas de Manaus.



Fonte: Silva (2008).

2.4 Caracterização Física da Área de Estudo

2.4.1 Crescimento Demográfico e Urbano de Manaus

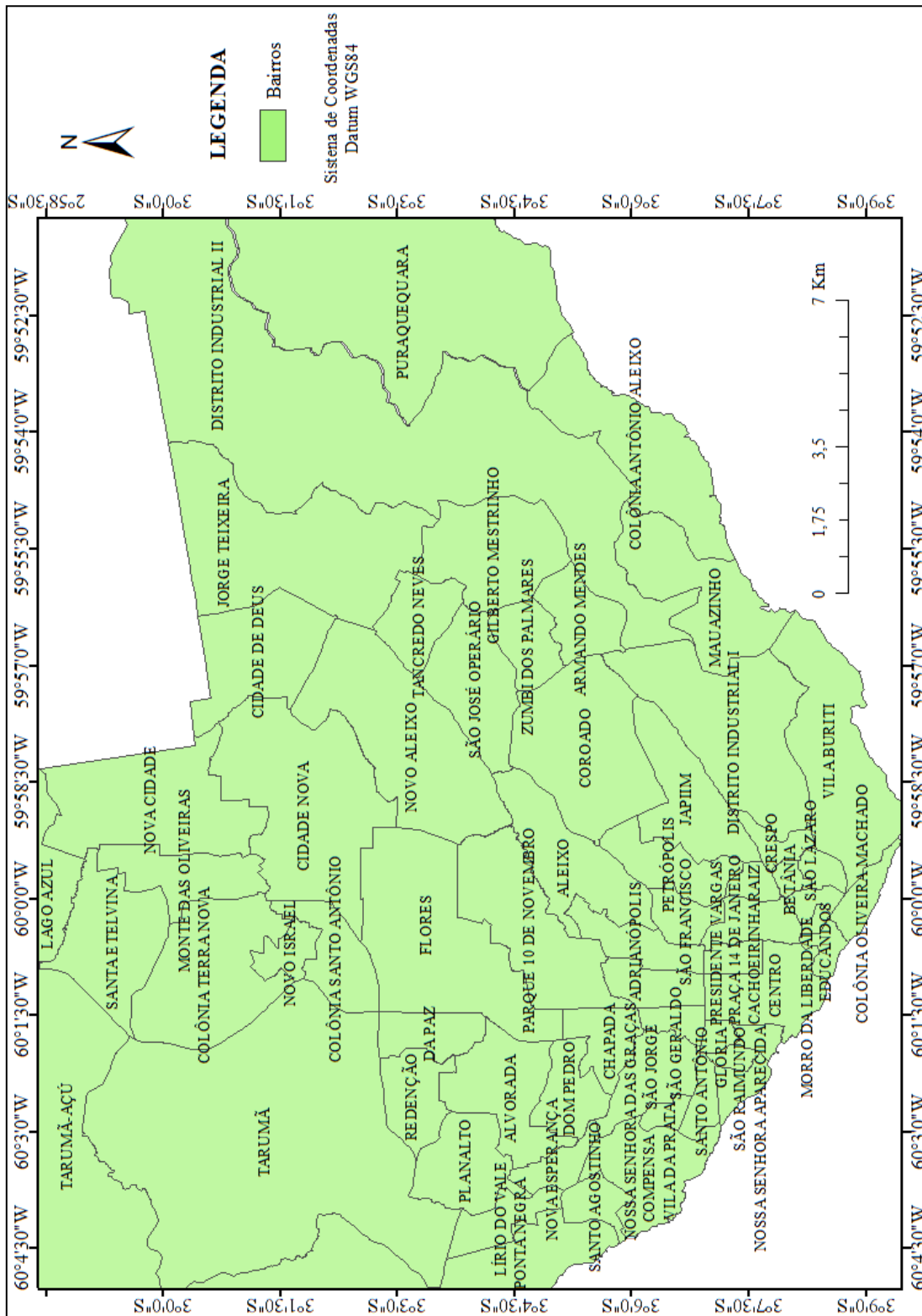
A cidade de Manaus viveu dois períodos distintos (ROQUE, 2006):

- a) Marcado pelo início da atividade extrativista na região tendo como o principal produto o látex, a economia prosperou baseada na comercialização da borracha, resultando em grandes transformações urbanas;
- b) 1920: a cidade enfrentou um período de decadência econômica e estagnação populacional e somente em 1967, com a instalação da Zona Franca de Manaus essa situação seria revertida.

A partir de 1967, Manaus passa a ser um polo de intensa atividade industrial e comercial, atraindo um grande número de pessoas que se originavam principalmente do interior do Estado e da região Nordeste. Antes da implementação industrial a cidade só tinha passado por mudanças de luxuosas construções com o comércio do látex. Com a crise econômica extrativista começaram a surgir os problemas sociais, infraestrutura, financeiros, alto índice de desemprego, e, com todos esses problemas, além da nova era de dificuldades, foram surgindo as ocupações ao longo das margens de igarapés com moradias precárias, que segundo IMPLAN (1996) no assentamento do Igarapé do Educandos existiam 2.200 habitantes. Nessa fase ocorreu a formação de inúmeros bairros, com moradias de baixa renda que se desenvolveram ao longo de outros igarapés (Figura 6).

A década de 1970 foi marcada por um forte incremento populacional atingindo valores em torno de 7,35% ao ano. No ano de 1980 existiu um desajuste do crescimento normal da região, decorrente do caos da infraestrutura urbana e serviços sociais. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a população de Manaus em 1967 era de 242.000 habitantes e em 2005 estava em torno de 1.644.690 habitantes, um crescimento total de aproximadamente 579%, desde a implantação do Distrito Industrial. De 2014 para 2015, Manaus teve um aumento de 37.410 habitantes, representando 1,8% a mais que a última estimativa do órgão, sendo contabilizado em 2.057.711 habitantes IBGE (2015).

Figura 6 - Mapa dos bairros de Manaus – AM.



Fonte: IBGE (2003).

Bento (1998) indicou que a mancha urbana de Manaus evoluiu no período de 1982 a 1995 em 191,94%, 43.000 ha, sendo em torno de 1840% maior que a levantada em 1965, dois anos antes da instalação da Zona Franca de Manaus, que era 2.029 ha.

Em um curto período de tempo ocorreu uma intensa expansão urbana, gerando ocupação territorial sem planejamento, com invasão de encostas e dos vales pelas construções de palafitas, enquanto que os interflúvios são ocupados por construções de alvenaria.

2.4.2 Hidrografia

A cidade de Manaus está situada na bacia hidrográfica do rio Amazonas, à margem esquerda do rio Negro, principal afluente do Amazonas, sendo também o rio que contorna a cidade, funcionando como limite natural para expansão da cidade em direção ao Sul, assim como os rios Tarumã-Açu, a Oeste, e o Puraquequara, a Leste, e possui um percentual de infiltração maior do que o escoamento superficial, o que resulta em solos pouco férteis, devido ao carregamento das substâncias solúveis durante a percolação da água (BENTO, 1998).

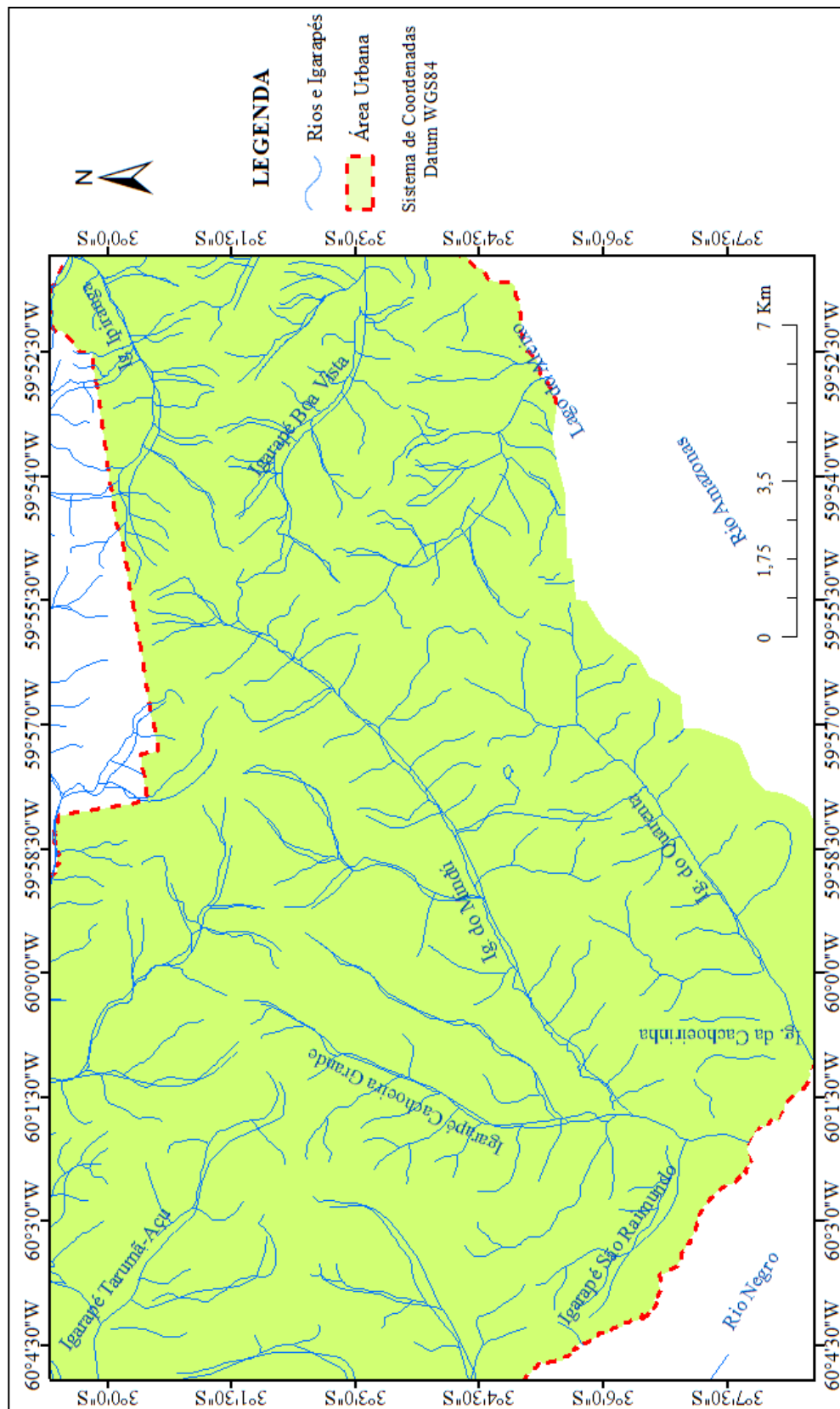
Inúmeros são os igarapés que banham Manaus (Figura 7), com destaque para as bacias, formadas pelos Tarumã-Açu e Cuieiras. Na área urbana, os vales são considerados afogados, com superfície que variam de 25 km² a 66 km², exemplo igarapé do Mindu.

São divididas mais ou menos dezenove bacias no espaço urbano de Manaus, classificadas em função da localização de suas desembocaduras, destacando-se 6 bacias no interior do sítio de Manaus: Tarumã-Açu, São Raimundo, Educandos, Mindú, Quarenta, Cachoeira Grande, Puraquequara (Figura 8).

A soma das áreas das bacias existentes no sítio urbano de Manaus é 512,13 km², maior que a própria área urbana, porque algumas bacias extrapolam o limite do urbano, como a bacia do igarapé do Tarumã-Açu e algumas bacias do Leste.

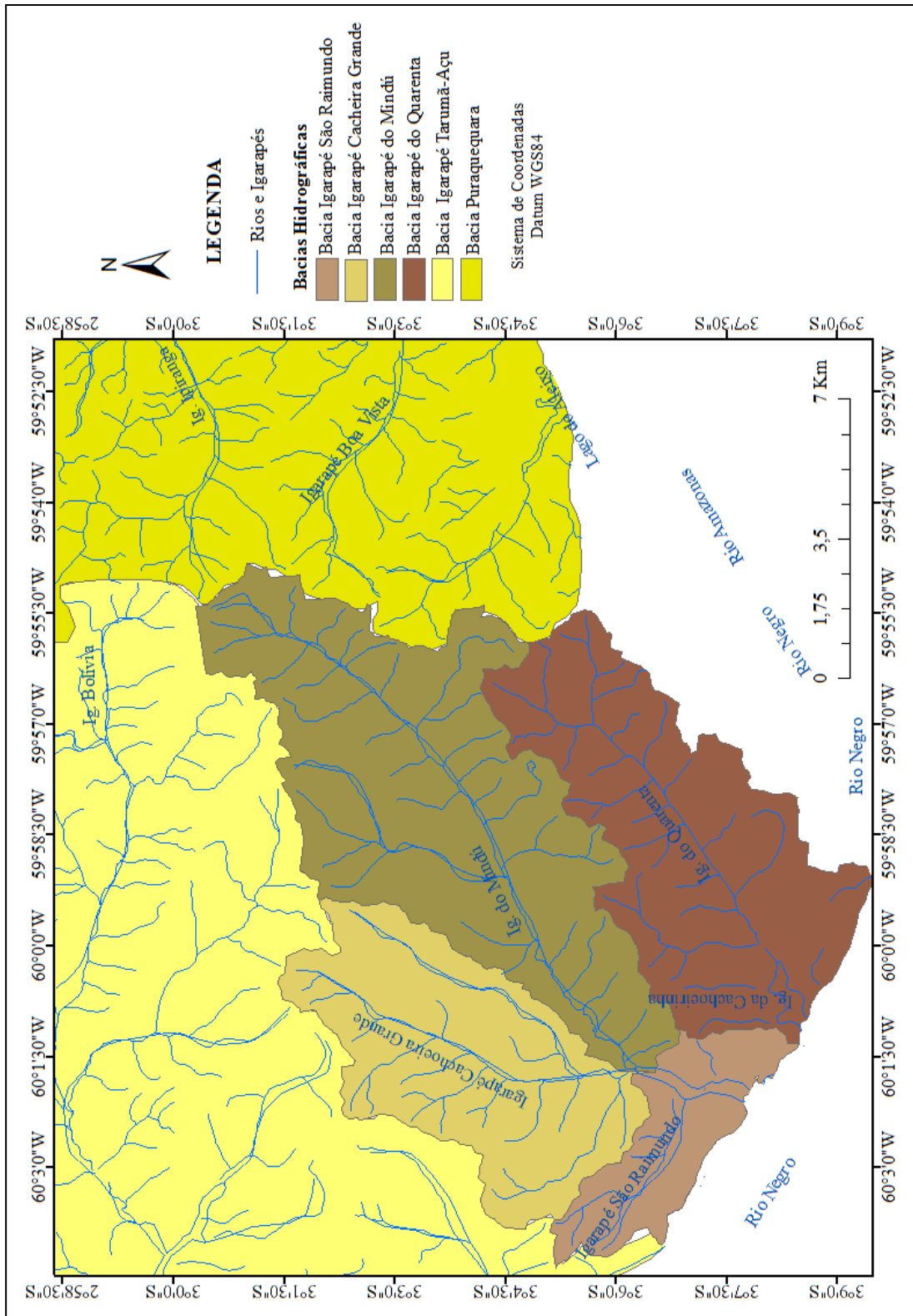
Essas bacias apresentam vários de seus respectivos tributários localizados na área da Reserva Florestal Adolfo Duke, localizada fora do limite urbano (VIEIRA, 2008).

Figura 7 - Mapa de drenagem de Manaus – AM.



Fonte: Silva (2005).

Figura 8 – Mapa das principais bacias hidrográficas de Manaus – AM.



Fonte: Silva (2005).

2.4.3 Solo

A região de Manaus é constituída de três classes de solo: Latossolos, Espodossolos e Argissolo. Quimicamente, esses 3 tipos de solos apresentam baixos teores de cátions trocáveis, com isso, são sujeitos a intenso processo de lixiviação (LEAL, 1996).

Latossolos: com variações de cor amarela a vermelho-amarela, de constituição bastante argilosa, é solo de maior representatividade em Manaus e predominante na Amazônia (Vieira; Santos, 1987). São solos bem envelhecidos, profundos, de cor amarelada, tipicamente caulíníticos, frequentemente agregados com grande coerência, sendo quase sempre álicos, de textura argilosa, areno-argilosa ou argilo-arenosa e arenosa. Leal (1996) descreve a plasticidade e pegajosidade do latossolo, em relação ao Argissolo, embora em termos de estruturação, os dois perfis sejam iguais.

Espodossolos: Surgem nas bordas das encostas e acompanha os principais cursos d'água, tem horizontes de areia branca que podem atingir alguns metros de espessura, com consistência solta. É associado à vegetação do tipo campinarana, menos densa e exuberante do que a floresta equatorial (LEAL, 1996);

Argissolo: É frequente em Manaus, apresenta horizonte B nodular de aproximadamente 1 m de espessura, encontrado a 1,3 m de profundidade, consistência muito dura, porosa e com moderada drenagem (LEAL, 1996).

Nos estudos realizados por Lima (1999), utilizando tradagem em latossolo:

- Bairro da Cidade Nova / Conjunto Canaranas, Zona Norte, Lima: 12 m de profundidade, descrevendo solo bastante argiloso até a profundidade de 10 m, em seguida tornando-se arenoso;
- Indústria SIDERAMA, Bairro Vila Buriti, Zona Sul: 12 m de profundidade, apresentou solo bastante argiloso até 3 m, em seguida, tornando-se arenoso e siltoso;

O trabalho de Lima (1999), realizado em amostras de cinco voçorocas em Manaus, classifica a partir da relação de dados mineralógicos com dados de plasticidade: o latossolo da Zona Norte é altamente plástico; o latossolo da Zona Sul varia de altamente plástico à fracamente plástico, à medida em que aumenta a profundidade; o Argissolo na Zona Oeste é classificado como fracamente plástico.

Sob a análise de diversas erosões distribuídas na cidade de Manaus, Lima (1999) encontrou similaridades nas propriedades e características geotécnicas ao longo do perfil ou em cotas semelhantes. Propôs então um perfil típico único para os solos da área, caracterizado pela predominância do solo argiloso no topo passando para uma matriz arenosa, conforme se aproxima da base. Dessa forma, também se conseguiu relacionar a existência do comportamento laterítico com a profundidade, verificando que a sua ocorrência normalmente está associada aos solos mais superficiais.

Baseado em critérios morfológicos, Lucas (1989) divide os perfis estudados na Zona Norte de Manaus em três assembleias:

1. Inferior: São os sedimentos da Formação Alter do Chão, com a neoformação de caulinita como principal processo pedogenético atuante;
2. Mediana: Caracterizada pelo fundo móvel, evidenciando um processo de pedoplasmação e também a presença de nódulos ferruginosos e gibsíticos;
3. Superior: São os latossolos argilosos formados pela dissolução dos nódulos ferruginosos e gibsíticos da assembleia anterior.

A região de Manaus apresenta perfis de natureza laterítica dos tipos imaturos autóctones e alóctones desenvolvidos sobre os sedimentos da Formação Alter do Chão (FERNANDES FILHO; AMARAL, 1996).

- Perfil autóctone: é estruturado da base para o topo, segundo os horizontes transicional, argiloso, ferruginoso, esferolítico e latossolo.
- Perfil alóctone: um perfil truncado na altura do horizonte transicional ou argiloso, com formação de linha de pedra.

2.5 Risco Geológico

O risco expressa possibilidade de perdas materiais ou sociais, através da ocorrência de um acidente. Uma área onde ocorreu um deslizamento pode ficar naturalmente estabilizada, cessando o movimento da encosta ou reduzindo a sua intensidade, nesse caso, o próprio acidente pode eliminar ou reduzir o risco.

Os processos geológicos naturais só criam situações de risco quando as pessoas ocupam os locais onde eles ocorrem. Deslizamentos, erosões e inundações já ocorreram em várias partes do mundo, alterando as paisagens e os materiais terrestres, sem causar danos às pessoas e algumas vezes não sendo sequer detectados, caracterizando apenas com um evento natural (IGCE / DGA / PROIN / CAPES, 2000).

2.5.1 Pontos de Risco

São assim denominados taludes de corte ou encostas naturais que apresentam problemas de estabilidade, podendo vir a causar acidentes. São definidos por uma análise local do problema, que se dá no dia a dia da Defesa Civil, voltada para as condições da barreira e da moradia. A atenção se volta para as evidências de erosão e de movimentos de massa, como fissuras e fendas, ressaltos no terreno, rupturas de tubulações, inclinação de árvores, surgências de água, embarrigamento de muros, entre outros (IGCE/DGA/PROIN/CAPES, 2000).

Os pontos de risco são classificados em: - Ponto de risco ou Ponto de alto risco: são os locais mais perigosos; - Ponto de risco iminente: são aqueles com alta probabilidade de ocorrência de acidente em curto prazo.

Essa classificação é diferente da aplicada aos mapas de risco, que utilizam escalas de intensidades. Esses mapas mostram os graus de risco em: alto, médio e baixo. São realizados com base na análise dos fatores geológicos, morfológicos, climáticos, hidrológicos e antrópicos, a partir de levantamento de campo e posteriormente integrados pela aplicação de modelos qualitativos e/ou quantitativos. É importante realizar esse tipo de estudo para um bom planejamento, com indicação de áreas mais seguras para o crescimento e fundamentar projetos para captação de recursos para obras de segurança desses pontos de risco, se possível (ALHEIROS et al., 2003).

2.6 Erosão: Processos e Feições

Das muitas formas de conceituar erosão, pode-se dizer que a erosão é um processo natural de desprendimento e arraste das partículas do solo causado pelas intempéries e agravadas pela ação antrópica.

O surgimento de feições erosivas, e conseqüentemente de voçorocas, estão ligadas à ação de fatores controladores, como os processos hidrológicos, as propriedades físicas dos solos, a erodibilidade, as características da encosta, a cobertura vegetal (GUERRA, 1994).

Alguns dos principais fatores controladores de erosões por voçorocas são relatados no trabalho de Valentin, Poesen, Yong Li (2005):

- Características topográficas: gradiente da encosta e solos encrostados, área crítica de drenagem;

- Solos e controles litológicos: fatores geomorfológicos, encrostamento do solo, piping;
- Uso da terra: mudanças atuais relativas ao uso da terra, abertura de estradas e ampliação de lotes urbanos, uso da terra no passado e mudanças climáticas;

Os processos existentes nas voçorocas, principalmente na cabeceira, variam desde escoamento superficial, escoamento subsuperficial, erosão em cascata, queda em blocos, movimentos de massa diversos até erosão por salpicamento, a erosão por percolação e erosão em dutos, descritos nos trabalhos de Dietrich & Dunne (1993) e Oliveira & Meis (1985), entre outros.

2.6.1 Processos Hidrológicos

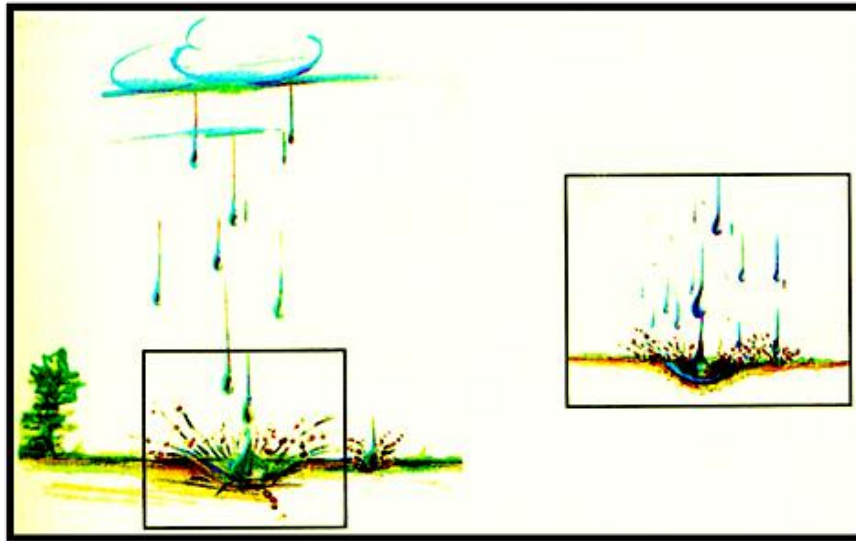
Segundo Coelho Neto (1998), a erosão em regiões tropicais pode ser concebida como um fenômeno de natureza hidrológica, desencadeado pela ação de escoamentos superficiais laminar e/ou canalizado e subsuperficiais, em dutos e túneis. Sendo um produto de comportamento das águas, frente à resistência dos materiais disponíveis nos domínios de encostas e margens fluviais.

2.6.2 Ação das Gotas de Chuva

A energia de uma gota de água no seu impacto com solo é a mecânica, que tem dois componentes: energia potencial e cinética. A energia potencial é função do peso de uma gota de água e da altura de onde ela se desprende. Quanto mais próximo do impacto, menor a energia potencial e maior a energia cinética, pois se a gota d'água perder altura, ela também ganha velocidade (CONCIANI, 2008).

Essa energia de impacto realiza o trabalho de destacar a partícula (Figura 9). A partir dessa variação de energia pode-se dizer que se a energia mecânica da chuva for suficiente para realizar um trabalho então haverá erosão. O impacto das gotas de chuva destrói os agregados do solo em partículas menores, as quais são lançadas em várias direções a uma distância que vai de milímetros a dezenas de centímetros (NEBOIT, 1983; EVANS, 1984).

Figura 9 – Destacamento pelo impacto de uma gota de água.



Fonte: Conciani (2008).

Então, a física e o trabalho de energias existentes explicam porque as chuvas mais intensas causam maior erosão, pois quanto maior for a gota d'água, mais massa ela tem, portanto, maior energia do impacto da gota de chuva no solo e maior o trabalho de destacamento das partículas.

2.6.3 Infiltração de Água no Solo

A água precipitada no terreno pode infiltrar no solo em velocidade que depende das condições de chuva, intensidade e volume; das características do solo e cobertura vegetal (SILVEIRA; LOUZADA; BELTRAME, 1993).

A permeabilidade é um fator de primeira ordem na formação de processos erosivos. Quanto maior a permeabilidade, menor será a quantidade de água para escoar na superfície do solo. Uma vez que o solo é permeável e profundo, uma parte da água que se precipita é infiltrada no solo indo se acumular em horizontes mais profundos e alimentar o lençol freático.

2.6.4 Erodibilidade

É uma medida que abrange todas as características intrínsecas do solo, que considera as questões estruturais, texturais, permeabilidade, teor de matéria orgânica, plasticidade, etc. Dependendo da classe de solo o valor de erodibilidade pode variar de 0 a 10 de acordo com o Quadro 1. (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1999).

Quadro 1 - Relação de erodibilidade com a classe pedológica de solos.

Classe	Índice de Erodibilidade	Classe pedológica
1	8,1 - 10,0	Cambissolos; Neossolos; Espodossolos; Neossolos Quartzarênicos.
2	6,1 - 8,0	Luvissolos Crômicos.
3	4,1 - 6,0	Argissolos; Latossolos Vermelhos - Amarelos de textura argilosa.
4	2,1 - 4,0	Latossolos de textura média; argissolos Vermelho escuro; Chernossolos.
5	0,0 - 2,0	Gleissolos; Neossolos Aluviais e/ou Hidromórficos; Planossolos.

Fonte: Bertoni & Lombardi Neto (1999).

Algumas das propriedades do solo que influenciam os processos erosivos são: textura (combinação granulométrica dos solos), a densidade aparente (compactação do solo), a estabilidade dos agregados e o teor de matéria orgânica. Não deixando de considerar o estado inicial dos solos, que pode variar ao longo do tempo, produzindo modificações na erodibilidade (SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA, 1975; GUERRA, 1994; LOZET & MATHIEU, 2002).

2.6.5 Características das Encostas

Bigarella & Mazuchowski (1985) afirmam que a topografia é um fator importante na erodibilidade do solo, onde quanto maior a declividade do terreno, maior o seu potencial de ser erosivo. Nas encostas com acentuado grau de declividade, a água tem menos tempo de infiltrar, assim como os obstáculos e as resistências ao escoamento da água são menores, possibilitam o escoamento superficial.

Portanto, declividade, comprimento e forma (SCHULTZ, 1983; CUNHA et al., 1991), são características específicas das encostas (Quadro 2), que são analisados em conjunto também com as propriedades do solo (WISCHMEIER & SMITH, 1962).

As formas do relevo expressam o estágio de equilíbrio entre os processos naturais exógenos e os tipos de materiais expostos às transformações. Nos climas quentes e úmidos, os relevos maduros (estáveis) mostram formas sinuosas com colinas arredondadas e vales abertos em forma de “U”. Os relevos imaturos (instáveis, ainda em construção), mostram tabuleiros com vales verticalizados em forma de “V” e cabeceiras de drenagem ativas.

Quadro 2 - Comprimento da encosta e perda do solo.

Comprimento da (metros)	Perda relativa de solo por unidade de superfície (toneladas métricas)
0 - 22	0,91
23 - 46	1,65
46 - 69	2,13
69 - 92	2,52
Média para 0 - 92 m	1,8

Fonte: Wischmeier e Smith (1962).

As principais consequências da inclinação de terrenos são a maior velocidade de fluxos de água concentrados e a maior quantidade de partículas do terreno arrancadas de seu lugar e transportadas para perto ou longe de seu ponto de origem (FAO, 1967). Mas, outros autores discordam dessa afirmação, pois constataram que nas encostas muito íngremes, a erosão pode diminuir pela falta de material disponível (MORGAN, 1986), e ainda destaca a importância das cristas longas, com encostas curtas convexas, como sendo características morfológicas que propiciam a erosão dos solos. Encostas convexas com topo plano podem armazenar água que, se liberada em fluxos concentrados, pode dar origem a ravinas e até mesmo voçorocas (GUERRA, 1994).

São mais suscetíveis aos deslizamentos as encostas que se apresentam: mais altas, mais extensas, com perfil côncavo, com baixa sinuosidade, com alta declividade.

Do ponto de vista geotécnico, topos e encostas são áreas com diferentes graus de suscetibilidade a deslizamentos (ALHEIROS, 1998), onde: - Encostas exigem cortes e aterros para a sua ocupação; - Topos podem ser ocupados com pouco, ou nenhum movimento de terras.

2.6.6 Movimento de Massa

Segundo Alheiros et al. (2003), os movimentos de massa são processos gravitacionais, envolvendo sedimentos, solos e blocos de rocha, a partir da desestabilização de terrenos inclinados ou encostas. Podem assumir diferentes magnitudes, desde movimentos lentos de solos (rastejo), a outros rápidos e catastróficos (corridas de lama ou areia, rolamentos e quedas de matacões ou blocos de rochas, deslizamentos de solos).

2.6.6.1 Rastejo

São movimentos lentos (poucos centímetros por ano) e superficiais, retomados a cada período chuvoso, em massas pouco consolidadas de solos, como os colúvios, por exemplo. Fendas superficiais e inclinação progressiva de postes e árvores são indicadores desses movimentos.

2.6.6.2 Corridas de Areia ou de Lama

São movimentos muito rápidos, envolvendo grandes quantidades de água misturadas ao solo, formando um fluido viscoso com características próprias de escoamento (Figura 10). São comuns em áreas de relevo forte e têm grande poder destrutivo em virtude da trajetória mais longa do fluxo, se comparadas aos deslizamentos.

Figura 10 - Corrida de areia, em Córrego do Desastre, Camaragibe.



Fonte: Alheiros et al. (2003).

2.6.6.3 Deslizamento

Os deslizamentos são movimentos gravitacionais de massa, mobilizando solos e/ou rochas, de modo brusco, em decorrência de rupturas nesses materiais, deixando uma cicatriz de geometria plana ou ligeiramente côncava. Diferente da erosão, na qual existe um fluido (água) transportando as partículas do solo, os deslizamentos causam maior impacto pelo caráter brusco da ruptura de parte da encosta.

Os fatores considerados na análise de estabilidade de encostas são as cargas externas, o peso próprio, a pressão da água e a resistência do solo. A água de chuva infiltrada no terreno aumenta os valores do peso próprio, da pressão da água e reduz a resistência do solo. Em

decorrência dessa redução das forças de resistência, diminui o fator de segurança do talude (Figura 11).

Figura 11 - Deslizamento em Córrego do Boleiro, Recife/PE.



Fonte: Alheiros et al.(2003).

Fendas e desníveis nos solos, trincas em paredes, estufamento de muros e revestimentos, postes ou árvores inclinados e surgências de água nas encostas são evidências de um processo de deslizamento em curso.

2.6.7 Formas de Erosão

2.6.7.1 Erosão Pluvial por Arrastamento

Segundo Seixas (1984), pode-se considerar esse tipo de erosão como uma decorrência lógica da erosão pluvial por impacto, pois as partículas de solo soltas e desagregadas por este tipo de erosão ficam em condições de serem facilmente carregadas. Pode-se distinguir três modalidades de erosão pluvial por arrastamento: laminar, ravinas e voçorocas.

2.6.7.2 Erosão Laminar (Intersulcos)

É um processo erosivo ocasionado pelo fluxo superficial de água que, ao descer a encosta, pode levar a superfície do terreno como um todo, sem a formação de canais

definidos, também chamada de erosão em lençol, é caracterizada pela distribuição do desgaste em camadas de solo com profundidade relativamente uniforme e de área bastante extensa (SEIXAS, 1984).

A erosão laminar causa os maiores prejuízos aos campos de cultura, pois age de maneira sub-reptícia, levando e arrastando contínuas e delgadas camadas de solo, carreando o seu horizonte mais fértil.

2.6.7.3 Erosão Linear

É causada pela concentração das linhas de fluxo das águas de escoamento superficial, disto resultando pequenas incisões nas superfícies do terreno em forma de sulcos, que podem evoluir para ravinas e voçorocas.

Para Guerra (1999), na medida em que há formação de fluxo concentrado, em pontos aleatórios da encosta, a profundidade desse fluxo aumenta e a velocidade diminui, havendo queda de energia causada pelo movimento de partículas transportadas por esses pequenos canais em formação. A estabilização da energia ocorre quando a escavação atinge um gradiente insuficiente para remover as partículas. Quanto à forma de desgaste desse tipo de erosão pode ser classificado em: sulcos, ravinas e voçorocas.

2.6.7.3.1 Sulcos (*rills*)

São pequenos canais na superfície do solo, com alguns centímetros de profundidade, formados pela concentração de linhas de fluxo d'água de escoamento superficial, podendo evoluir tomando a forma de uma ravina (SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA, 1975).

A gradação desse tipo de erosão é avaliada pela profundidade dos sulcos, pela frequente e pequena distância entre eles (SEIXAS, 1984). Os sulcos resultam de pequenas irregularidades na declividade do terreno e atingem volume suficiente para formar riscos mais ou menos profundos (Figura 12). Na sua fase inicial, podem ser desfeitos com as operações normais de máquinas agrícolas ou obras de engenharia.

Figura 12 - Sulcos localizados em área de expansão do Conj. Habitacional Francisca Mendes. Zona Norte. Manaus – AM.



Fonte: Vieira (1998).

2.6.7.3.2 Ravinas

Quando ocorre o aumento nas dimensões das incisões no solo, que são causadas pela concentração das águas da chuva, a erosão passa a se chamar de erosão em ravinas (Figura 13). Diferente dos sulcos, a ravina apresenta profundidade superior a 0,5 m formada por escoamento superficial. Tem forma retilínea, alongada e estreita, e é constituída por perfil transversal em “V” (CANIL et al., 1995).

Para Guerra (1999), o surgimento da maioria das ravinas acontece a uma distância crítica do topo da encosta, onde o escoamento das águas se torna canalizado. Porém, quando formadas próximas a base das encostas, as pequenas incisões crescem em direção do topo das mesmas.

Em relação à voçoroca, além do perfil transversal em “V”, a ravina não apresenta processos de desmoronamento das paredes expostas da incisão, como a queda em bloco.

Figura 13 - Diferentes vistas de ravinas.



Fonte: Conciani (2008).

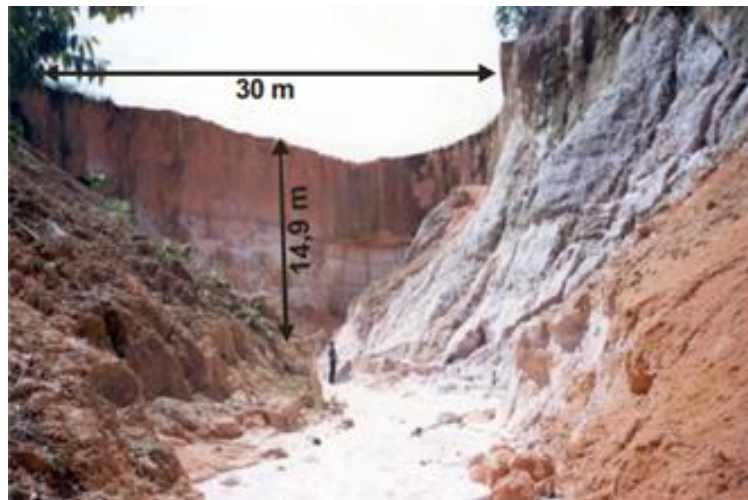
2.6.7.3.3 Voçoroca

Na classificação utilizada pelo IPT, as voçorocas se caracterizam principalmente pela queda em bloco e pelo afloramento do lençol freático e/ou surgência de água, não estando neste último caso sua definição ligada a parâmetros dimensionais, como comprimento, largura e profundidade (SÃO PAULO, 1990).

Canil et al. (1995) descrevem as voçorocas como canais profundos que apresentam paredes irregulares e perfil transversal em “U” resultantes da ação combinada de escoamento superficial e subterrâneo. Oliveira (1999) descreve as ravinas e voçorocas como incisões resultantes de desequilíbrios naturais ou induzidos pela ação antrópica.

Segundo Vieira (1998), a voçoroca, como incisão erosiva, apresenta queda em bloco das camadas do solo, paredes verticais e fundo plano, formando secção transversal em U e profundidade superior a 1,5 m (Figura 14).

Figura 14 - Voçoroca no Distrito Industrial. Zona Sul. Manaus – AM.



Fonte: Vieira (1998).

Lozet e Mathieu (2002) definem voçoroca como depressão originada pela ação do escoamento concentrado da água. As dimensões variam de 1 a 12 m de profundidade, com largura que pode ultrapassar 30 m.

Segundo Guidicini & Nieble (1984), as voçorocas se originam ao longo das linhas de drenagem superficiais, o que resulta inicialmente em ravinas no solo com seção típicas em “V”. Se essas ravinas continuarem a se desenvolver, podem atingir o lençol freático, quando então passa a existir uma contribuição das águas subterrâneas no avanço erosivo. Em solos coluviais e porosos de baixa coesão, a ação das águas pluviais e do lençol aumentam o

processo erosivo fazendo com que a voçoroca adquira a seção em “U”, momento em que a voçoroca cresce mais para os lados do que para montante. Pode atingir dimensões de alguns metros de largura e profundidade, até quilômetros de comprimento, evoluindo rapidamente, sem respeitar limites, podendo atingir prédios, estradas, etc.

Segundo Carvalho (2002), a ravina transforma-se em voçoroca no momento em que alcança o lençol freático (Figura 15). Mas as conceituações de voçoroca por critérios geométricos ou hidráulicos esbarram em problemas.

Figura 15 - Voçoroca no município de Alto Araguaia – MT, interceptando o lençol freático, observa-se a forma de “U” da escavação.



Fonte: Conciani (2008).

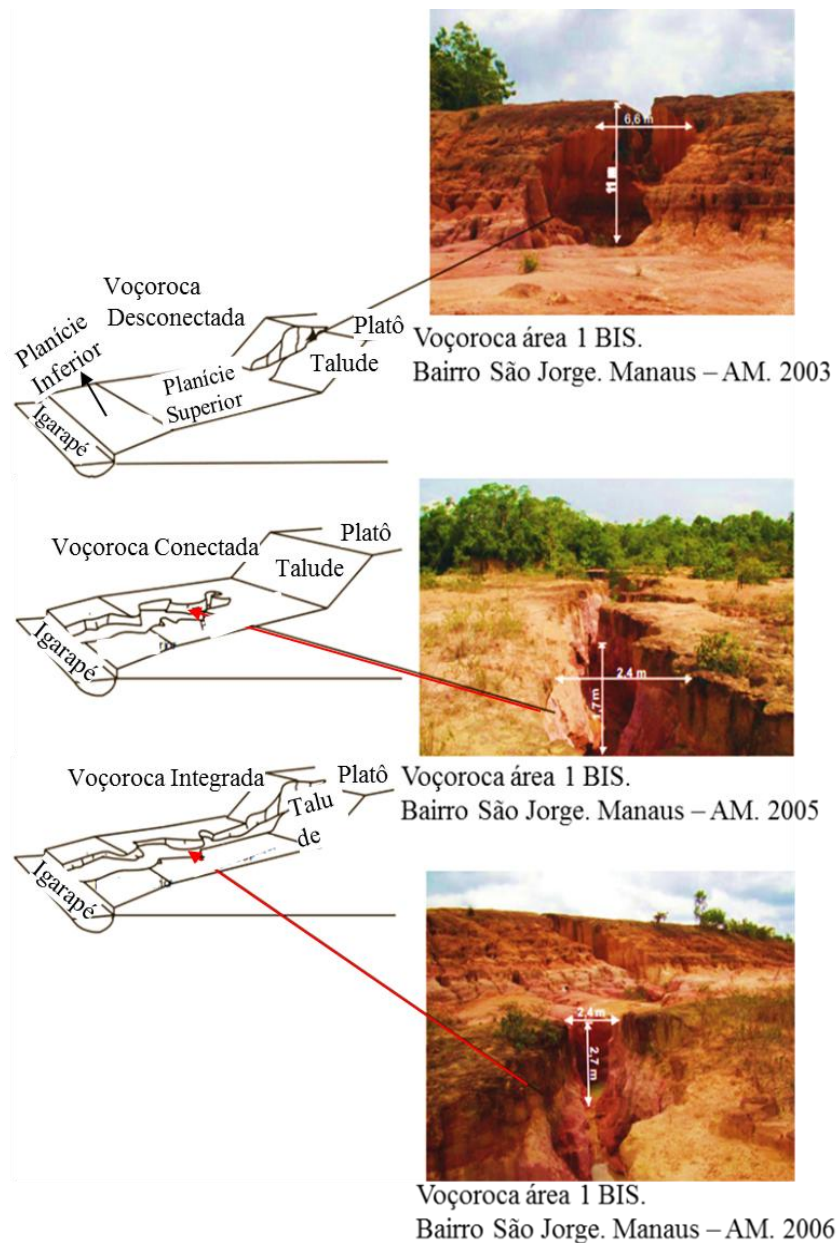
Alguns autores, como Oliveira et al. (1987), dão um peso maior à ação antrópica no surgimento de voçorocas urbanas, as quais dependem menos da coexistência de fatores naturais favoráveis do que da interferência na circulação das águas superficiais. Embora o aparecimento de voçorocas esteja atualmente muito relacionado à interferência antrópica, os fatores naturais devem ser considerados, as voçorocas correspondem a um estágio mais avançado e complexo de erosão, com poder destrutivo local superior ao das outras formas erosivas e de mais difícil contenção.

2.6.7.3.4 Classificação de Voçorocas

De acordo com Oliveira (1989), as voçorocas podem ser classificadas por tipo: conectadas, desconectadas e integradas (Figura 16).

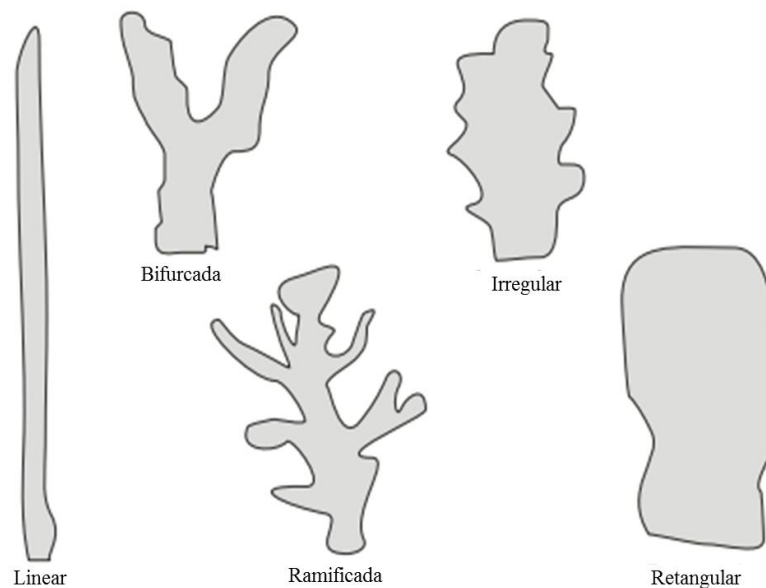
- Conectadas: se associam ao escoamento hipodérmico e/ou subterrâneo nas partes baixas da encosta, podendo ser consideradas canais de primeira ordem;
- Desconectadas: encontrando-se na parte superior da encosta, estão ligadas ao escoamento superficial e/ou a movimentos de massa e não poderiam ser considerados canal de primeira ordem, por não estarem ligadas a nenhuma rede de drenagem;
- Integradas: são na verdade a junção das duas formas anteriores (voçorocas conectadas e voçorocas desconectadas), formando uma só incisão erosiva.

Figura 16 - Tipos de voçorocas segundo o nível de evolução.



As voçorocas também podem ser classificadas a partir das formas: bifurcada, irregular, ramificada, linear (VIEIRA, 1998) (Figura 17). Cada forma é resultante de processos específicos e de condições ambientais características de seu local de ocorrência, tais como: geologia, relevo, solo, cobertura vegetal e sistema de drenagem superficial ou subsuperficial.

Figura 17 - Principais formas de voçorocas encontradas em Manaus.



Fonte: Vieira (2008).

2.6.8 Ação Antrópica e os Processos Erosivos

Os processos erosivos são associados a diversos fatores naturais, que variam no tempo e no espaço, sendo assim processo natural diretamente ligado a condicionantes naturais, podendo ter seus efeitos ampliados por algum evento episódico ou ainda pela intervenção do homem.

De todos os fatores analisados e descritos, a ação antrópica é a mais difícil de avaliar, pois a ação do homem sobre a natureza é bastante diversa e pode tanto ajudar como pode destruir.

É importante discutir a relação das características naturais com o tipo de intervenção realizada pelo poder público, pela iniciativa privada e pelas ações populares no surgimento e na expansão das voçorocas em Manaus. Como não existe uma homogeneidade na distribuição das voçorocas, ocorre uma variação de influência natural e antrópica de acordo com o local.

2.6.8.1 Erosão na Área Urbana de Manaus

Vertamatti e Barancoski (1987) descrevem os problemas relacionados à voçoroca em Manaus. Destacam que nas obras do Aeroporto Internacional Eduardo Gomes Manaus – AM, vários pontos de lançamento da rede superficial de drenagem não foram levados até os igarapés. Num deles, a cerca de 50 m de uma das cabeceiras da pista, formou-se uma voçoroca de 30 m de profundidade e 60 m de comprimento, devido ao lançamento de um grande volume de água da pista de pouso e adjacências sobre um talude quase vertical.

A partir desse trabalho vêm surgindo outros trabalhos: Vieira e Lima (1995); Vieira (1996; 1998; 1999); Nava (1999); Lima (1999); Vieira (2002); Santos Junior (2002); Vieira, Molinari, Muniz (2004); Vieira e Albuquerque (2004); Molinari e Vieira (2004); Muniz, Vieira e Albuquerque (2004); Vieira e Molinari (2005), entre outros, que contribuem para a melhor compreensão do problema, sempre com dados novos ao estudo das voçorocas de Manaus.

2.7 Inundação

A inundação é o transbordamento das águas de um canal de drenagem, atingindo as planícies de inundações, quando a vazão é superior à capacidade de descarga da calha. A planície de inundação funciona como um regulador hidrológico, absorvendo o excesso de água nos períodos de intensas chuvas e cheias.

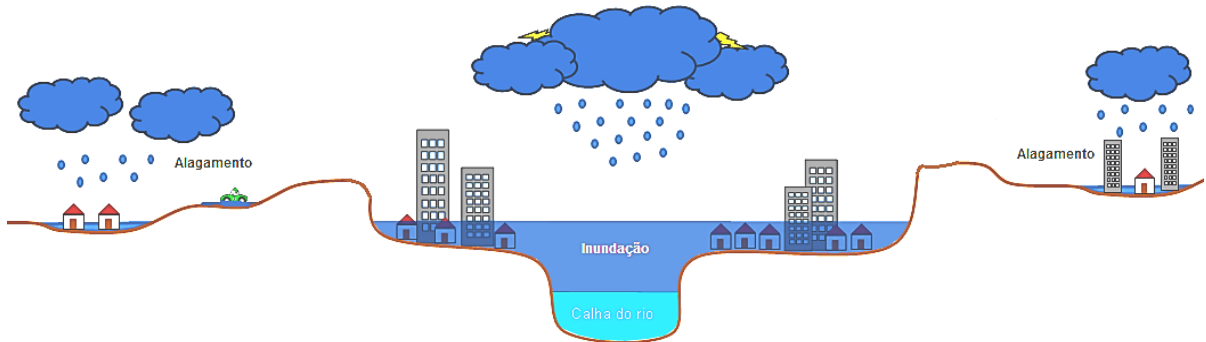
Todo e qualquer rio tem sua área natural de inundação. As inundações passam a ser problema para o homem quando ele deixa de respeitar esses limites naturais dos rios.

2.7.1 Alteração das Características do Rio

Uma das formas de inundação ocorre com a retirada de cobertura vegetal do terreno e introdução de obras que propiciam a impermeabilização do solo, como a construção de casas, calçamentos, ruas, rodovias e estradas, barrando ou alterando os fluxos da água (OLIVEIRA, 2010). Perde-se, com isso, a capacidade de retenção da água, por meio da vegetação e a capacidade de infiltração dessa água no solo. Assim, os volumes de água que atingirão os rios serão maiores e os prejuízos das inundações também.

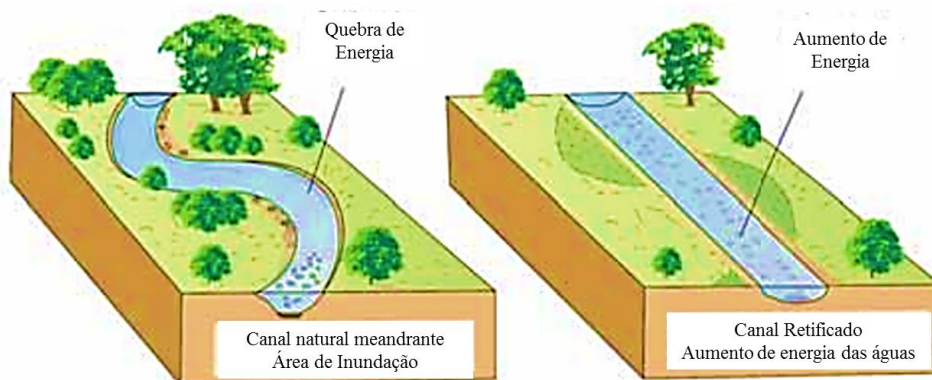
A ocupação urbana desordenada sobre as áreas naturalmente sujeitas à inundação constitui um dos principais agentes deflagradores e potencializadores do processo, principalmente quando não se adotam medidas preventivas contra as cheias nas áreas urbanas (Figura 18).

Figura 18 - Ocupação urbana em áreas de inundação.



A urbanização, acompanhada da retirada da mata ciliar, remoção da vegetação e impermeabilização do solo, alteram o escoamento natural das águas de superfície com a redução no tempo de concentração das águas pluviais, em virtude dos sistemas de drenagem urbana, cuja função é captar o mais rapidamente possível as águas para jusante, em direção aos cursos d'água, acrescentando considerável volumes de água nos rios, o que potencializa as inundações (Figura 19).

Figura 19 - Retificação do canal de um rio aumentando a vazão, o que pode gerar áreas de inundações e represamento a jusante.



Fonte: Murck, Skinner e Porter (1995).

Há outros motivos que agravam as inundações, sobretudo nas cidades, entre os quais se destacam:

- Despejo de resíduos sólidos urbanos (lixo), provocando o entulhamento dos vales em quaisquer tipos de drenagem;
- Desmatamentos de extensas áreas;
- Execução de cortes e aterros nas planícies de inundação;

- Ausência de saneamento básico, permitindo o escoamento de pequenas drenagens, águas pluviais e até mesmo esgoto sanitário, através de valas negras;
- Barramentos artificiais provocados pelas estradas que funcionam como diques elevados, em relação aos terrenos adjacentes, dificultando o escoamento da rede de drenagem.

A ocupação dos baixios, além de causar o desequilíbrio ambiental de uma região, traz consigo sérios problemas de natureza socioeconômica, principalmente no setor de saúde pública e infraestrutura, afetando principalmente a população de mais baixa renda.

As áreas de inundação estão geralmente ocupadas por sedimentos aluvionares e/ou solo hidromórficos, que mostram o seguinte perfil:

- Camada superficial orgânica escura / solo turfoso ou turfa;
- Argilas plásticas moles;
- Areias e cascalhos basais.

Esses sedimentos, dado o seu péssimo comportamento mecânico, são considerados problemáticos para a engenharia e merecem, por esta razão, atenção especial no processo de planejamento urbano. A porção superior do perfil constitui-se de solos extremamente moles, com baixa capacidade de suporte de carga, o que pode inviabilizar tecnicamente qualquer obra de engenharia sobre os mesmos (OLIVEIRA, 2010).

2.7.2 Enfrentar os Problemas decorrentes das Inundações

Existem basicamente três formas de enfrentar tais problemas:

1. Não ocupar as áreas de inundação;
2. Não alterar - ou alterar o menos possível - as características da bacia hidrográfica;
3. Implantar obras de contenção de cheias, como a construção de barragens, reservatórios, diques para a proteção de áreas de alto risco de inundação, entre outras, além da adoção de medidas estruturais complementares, incluindo o desassoreamento dos rios e a ampliação de seus leitos.

No entanto, todas essas obras têm uma característica em comum: são extremamente onerosas para a sociedade e, embora apresentem certo grau de eficiência, pode-se dizer que não são absolutamente eficazes porque, mesmo contando com elas, sempre haverá um evento

de chuva ou de cheia que provocará uma inundação maior que aquelas para as quais essas obras foram projetadas.

Araújo (1992) sugere ações de caráter preventivo para minimizar os efeitos das inundações e preservar os fundos de vale, tais como:

- Realocação de moradores situados em áreas impróprias ou realização de estudos de alternativas técnicas para a proteção da população contra as inundações e, nas áreas não ocupadas, prever usos possíveis, como lazer e recreação, por meio de parques lineares, garantindo a manutenção da flora e da fauna;
- No caso de aprovação de novos loteamentos em que não houver interesse das prefeituras em executar parques lineares, permitir que os fundos de vale sejam incorporados aos lotes, desde que respeitadas as drenagens e áreas de preservação permanente, de forma a evitar invasões nas margens dos córregos;
- Elaboração de zoneamento das áreas das várzeas, definindo os usos compatíveis, considerando os aspectos geológicos, geotécnicos, geomorfológicos e hidrológicos;
- Nos casos críticos de inundação, efetuar desapropriações de áreas e implantar parques municipais com lagoas de contenção de cheias;
- Implantação de redes de drenagem prioritariamente em áreas com problemas de escoamento.

Sugere-se também uma boa preparação da comunidade no sentido de se organizar e aprimorar a qualidade do auxílio externo nos casos de severas inundações, prestando rápida e eficiente assistência às populações atingidas.

2.8 Obras de Engenharia para Contenção

2.8.1 Obras não estrutural

As soluções estruturadoras são aquelas que possibilitam condições de estabilidade, que só se viabilizam quando a encosta é tratada como um todo, com soluções combinadas de retaludamento, de proteção superficial com materiais naturais e artificiais e de drenagem adequada à microbacia em questão, além de obras de estrutura de contenção, tais como muros de arrimo, quando necessários (ALHEIROS et al. 2003).

O controle de erosão não é feito apenas com uma obra ou ação, existe uma correlação de diversas ações que se integram, chamada de integração de soluções. Zoccal (1998) apresentou uma integração de soluções na recuperação de estradas vicinais da região Oeste de São Paulo. Ele indicou a recomposição de taludes, a elevação do leito carroçável, o parcelamento do trecho em várias secções para captação de águas pluviais, implantação de lombadas para redução de velocidade da água, construções de canais que impedem a entrada da água na estrada. Todas essas integrações de soluções visando diminuir a quantidade e velocidade da água no leito carroçável.

Ao iniciar um projeto de contenção de área é indispensável a visita de inspeção, para identificar as características particulares de cada lugar, como: litologia, morfologia e drenagem. As principais técnicas empregadas nas intervenções para estabilização de encostas são agregadas em três grandes grupos: Obras sem estrutura de contenção; obras com estrutura de contenção; proteção para massas movimentadas (ALHEIROS et al. 2003).

É necessária essa inspeção para poder determinar com precisão o tipo de trabalho a ser realizado para conter os riscos do lugar. Como exemplo se tem:

- Obras pontuais: mesmo aquelas que utilizam muros de arrimo, podem perder sua eficácia em pouco tempo, chegando a serem destruídas, pela falta de harmonia com o restante da área. Focos de erosão ou infiltração na descontinuidade de obra/solo surgem rapidamente após a sua conclusão e isso ocorre devido ao diagnóstico inicial mal realizado, ou, até mesmo, a ausência desse estudo;
- Avanço de massas já escorregadas ou resultantes de corridas: as soluções são encontradas em barreiras naturais ou artificiais, feitas com vegetação ou muros convencionais, a movimentação de blocos fraturados ou de matacões, podem ser resolvidas através de telas para sua retenção, ou apenas pela sua remoção, quando for tecnicamente viável.

2.8.1.1 Retaludamento

O retaludamento pode destinar-se a um talude específico ou à alteração de todo o perfil de uma encosta. São intervenções para a estabilização de taludes, através de mudanças na sua geometria, particularmente através de cortes nas partes mais elevadas, visando regularizar a superfície e, sempre que possível, recompor artificialmente condições topográficas de maior estabilidade para o material que as constitui (Figura 20). Muitas vezes

são combinados a aterros compactados para funcionar como carga estabilizadora na base da encosta (ALHEIROS et al. 2003).

Figura 20 - Retaludamento utilizando mudança de geometria para regularizar a superfície.



Fonte: Conciani (2008).

2.8.1.2 Proteção Superficial

Segundo Alheiros et al. (2003), quando a população é consultada sobre o que acha que segura as encostas, a maior parte das respostas é: muros de arrimo. Entretanto, dependendo da forma como for construído, os muros serão uma péssima escolha, ocorrendo acidentes de queda desses muros, decorrentes de construções incorretas e mal dimensionadas, muitas vezes concebidas e construídas pelos próprios moradores, sem a orientação ou mesmo sob a responsabilidade do poder público, por falta de fiscalização e controle de qualidade da obra executada.

Embora seja uma solução indispensável para a contenção de encostas, quando se aplicar ao caso, os muros de arrimo não precisam ser a primeira opção nas situações de redução e prevenção do risco. (Figura 21).

Em sua grande maioria, taludes naturais ou de corte têm nas soluções de revestimento e drenagem as respostas mais eficientes, de mais rápida execução e com mais baixo custo para a sua estabilização. Os desmatamentos e a remoção das camadas superficiais dos solos, expondo os terrenos à erosão e à infiltração da água, são a principal causa dos desmoronamentos e deslizamentos que ocorrem nos morros.

Figura 21 - Muro de Arrimo em Pedra Rachão Parcialmente Destruído.



Fonte: Alheiros et al. (2003).

A proteção superficial de taludes tem um papel fundamental na sua estabilização, impedindo a ocorrência de processos erosivos e reduzindo a infiltração de água nas superfícies desprotegidas. Os revestimentos para essa proteção podem utilizar materiais naturais ou materiais artificiais, em função das características do solo e da topografia local, ambos com resultados positivos e duradouros, a depender da manutenção que recebem, (ALHEIROS et al. 2003).

O revestimento superficial tem a função de reduzir o volume da água de infiltração, fazendo, portanto, com que aumente o volume das águas de escoamento superficial. Daí a importância de um projeto que considere a encosta no contexto da sua microbacia, buscando resolver o escoamento superficial através de um sistema de microdrenagem, com canaletas e dissipadores de energia compatíveis com as vazões e os caminhos naturais da água.

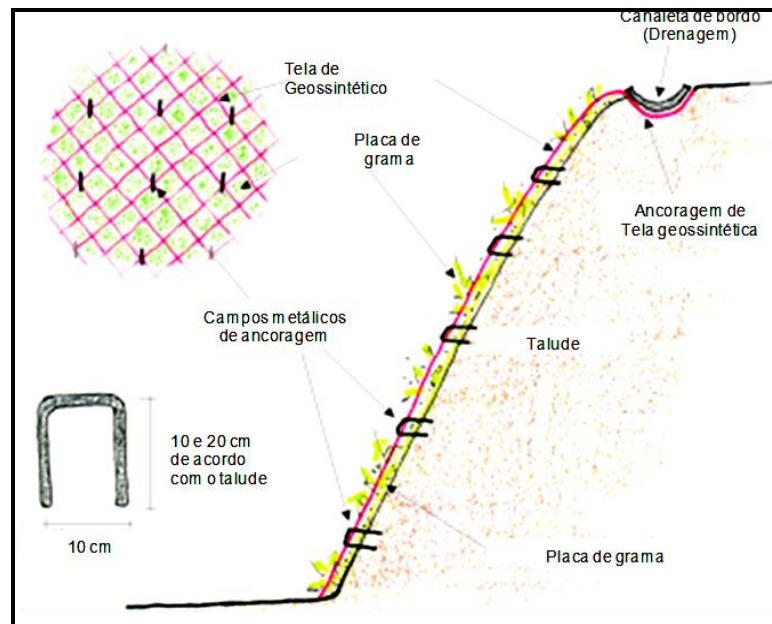
2.8.1.2.1 Revestimento com Gramíneas

A vegetação herbácea é o revestimento vegetal mais indicado para a proteção de taludes de corte ou encostas desmatadas para ocupação urbana.

A utilização do revestimento em grama armada é recomendada para taludes que apresentem inclinações e/ou presença de solos áridos que impossibilitem o plantio de vegetação em curto espaço de tempo (Figura 22). Para evitar o deslizamento, a montagem das placas de grama armada deve ser feita no talude, de baixo para cima, fixando-as imediatamente com tela geossintética presa por grampos.

A confecção dos grampos metálicos deve ser feita em aço comum utilizado na construção civil. Após a fixação da tela geossintética sobre o talude, pode-se adicionar terra vegetal para propiciar melhor desenvolvimento da grama aplicada.

Figura 22 - Detalhe do processo de fresagem/reciclagem.



Fonte: Cunha (1991).

2.8.1.2.2 Revestimento com Vegetação Arbórea

Segundo Mesquita (1996), as encostas que tiveram sua cobertura natural removida podem sofrer deslizamentos ou erosão, oferecendo risco para redes e equipamentos públicos. A recomposição da vegetação de maior porte é, muitas vezes, indicada para restaurar a mata natural, melhorando as condições de estabilidade pela presença das raízes e para proteger o solo da erosão e infiltração excessivas.

Um importante efeito mecânico da vegetação é a estruturação do solo através do sistema radicular, o sistema formado pelo entrelaçamento das raízes retém o solo, inserindo-se em espaços vazios, agregando grânulos, seixos e até blocos maiores aos materiais mais finos, com um efeito importante sobre a resistência ao cisalhamento dos solos.

2.8.1.2.3 Proteção Superficial com Material Artificial

Os revestimentos artificiais para impermeabilização mostram melhor rendimento e vida útil, quando executados juntamente com retaludamento e microdrenagem, tratando o talude de modo completo. É importante que o revestimento seja parte de um tratamento estruturador para o local, onde a drenagem, os acessos e a contenção sejam solucionados em conjunto (Figura 23). Em grande parte dos casos, o tratamento dispensa a construção de muros de arrimo, sendo a solução baseada essencialmente na impermeabilização e no sistema de microdrenagem e vias de acesso (ALHEIROS et al., 2003).

Figura 23 - **A)** Revestimento completo com drenagem; **B)** Revestimento Parcial sem Solução de Drenagem.



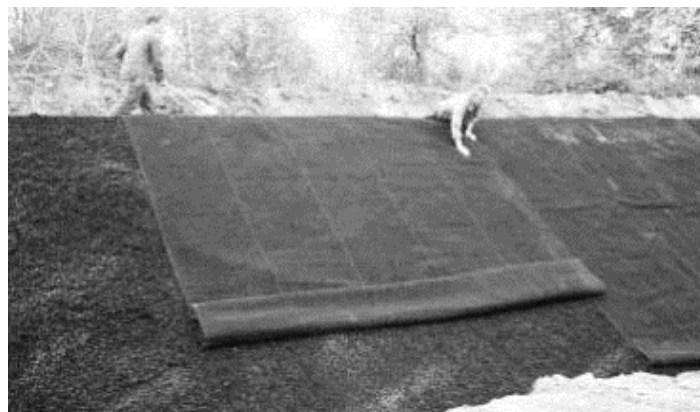
Fonte: Alheiros et al. (2003).

A escolha do tipo de revestimento depende da natureza do material (rocha, solo) e da declividade do talude: Solos mais argilosos respondem melhor à fixação das telas que os arenosos; Lajotas em taludes verticalizados podem provocar acidentes.

2.8.1.2.4 Revestimento com Geomanta e Gramíneas

A geomanta atua como proteção contra erosões superficiais provocadas pelo impacto das chuvas e fluxos superficiais, durante o período de desenvolvimento e fixação dos vegetais. Essa solução apresenta a vantagem de utilização, quando não se dispõe de tempo suficiente para implantação da cobertura vegetal, e/ou quando a inclinação do talude dificulta solução com o plantio de gramíneas (Figura 24).

Figura 24 - Revestimentos. A) Geomanta.



Fonte: MACCAFERRI do Brasil Ltda. (2015).

2.8.1.2.5 Revestimento com Tela Argamassada

A tela argamassada consiste no preenchimento e revestimento de uma tela galvanizada por uma argamassa de cimento Portland e areia, no traço 1:3 (Figura 25).

Figura 25 - Tela argamassada para revestimento de taludes.



Fonte: MACCAFERRI do Brasil Ltda. (2015).

A ancoragem das telas de aço galvanizado é feita sobre a superfície do talude regularizado, com traspasse, em todas as extremidades, de 20 cm, e fixadas ao terreno com ganchos de ferro de 3/8", instalados a cada 1,00 m, em todas as direções. Deverão ser instalados drenos em tubos de PVC de 4", com filtro de geotêxtil (ou bidim com 20 cm x 30 cm x 20 cm) na parte interna, e fixados com profundidade de 20 cm. Desse modo, seguem algumas recomendações:

- Solos argilosos são mais adequados que os solos arenosos para receber telas argamassadas, já que implicam maior retenção de umedecimento interno;
- Solos arenosos, cujo maior problema é a erosão, podem receber revestimentos simples (cimentados, solo-cimento);
- As superfícies dos taludes deverão se apresentar planas, sem ressaltos nem cavidades. Os sulcos de erosão, provocados pelas águas pluviais, deverão ser preenchidos com solos e compactados com soquete.

2.8.1.3 Revestimento com Muro de Alvenaria Armada

É um muro de flexão com funcionamento similar ao de concreto armado, formado por uma parede de alvenaria armada assentada com argamassa de cimento e areia (1:3), apoiada em uma base de concreto enterrada. A sua utilização é recomendada para alturas inferiores a 3,00m. A alvenaria deve ser executada com blocos vazados de concreto simples para alvenaria com função estrutural e a armação deve ser feita com CA 50 ou CA 60, com bitolas e espaçamentos definidos em projeto específico (FIDEM, 2001).

O preenchimento das células da alvenaria em que estão posicionadas as armações deve ser executado com concreto, e a base (sapata) deve ser executada em concreto armado com dimensões e armações de acordo com projeto específico (Figura 26).

Figura 26 - Muro de alvenaria armada.



Fonte: FIDEM (2001).

2.8.2 Obras com Estrutura de Contenção

2.8.2.1 Muro de Arrimo

Segundo Cunha (1991), os muros de arrimo ou de gravidade são obras de contenção que têm a finalidade de restabelecer o equilíbrio da encosta, através de seu peso próprio, suportando os empuxos do maciço. O atrito de sua base contra o solo deve ser suficiente para assegurar a estabilidade da obra e sua geometria trapezoidal destina-se a evitar o tombamento por rotação em torno da aresta externa da base. São indicados em situações de solicitações reduzidas já que, para atender a esforços elevados, passam a demandar maior espaço para a implantação da base.

2.9.2.2 Muro de Solo-Cimento Ensacado (“Rip-Rap”)

Os muros são constituídos por camadas formadas por sacos de poliéster ou similares, preenchidos por uma mistura cimento-solo da ordem de 1:10 a 1:15 (em volume). O solo utilizado é inicialmente submetido a um peneiramento em uma malha de 9 mm, para a retirada dos pedregulhos. Em seguida, o cimento é espalhado e misturado, adicionando-se água em quantidade 1% acima da correspondente à umidade ótima de compactação proctor normal.

No local de construção, os sacos de solo-cimento são arrumados em camadas posicionadas horizontalmente e, a seguir, cada camada do material é compactada de modo a reduzir o volume de vazios, em geral realizada manualmente com soquetes.

Essa técnica tem se mostrado promissora devido ao baixo custo e pelo fato de não requerer mão de obra ou equipamentos especializados. Um muro de arrimo de solo-cimento com altura entre 2 m e 5 m tem custo da ordem de 60% do custo de um muro de igual altura executado em concreto armado (MARANGON, 2006).

2.8.2.3 Muro de Concreto Armado

Os muros de concreto armado podem ser de vários tipos e têm como principal vantagem diminuir o volume da estrutura de arrimo, embora tenham como fator limitante o seu custo bem mais elevado que as demais modalidades de muros de gravidade. A sua estabilidade é garantida pelo peso do retroaterro, que age sobre a laje da base fazendo com que o conjunto muro-aterro funcione como uma estrutura de gravidade (ALHEIROS et al. 2003).

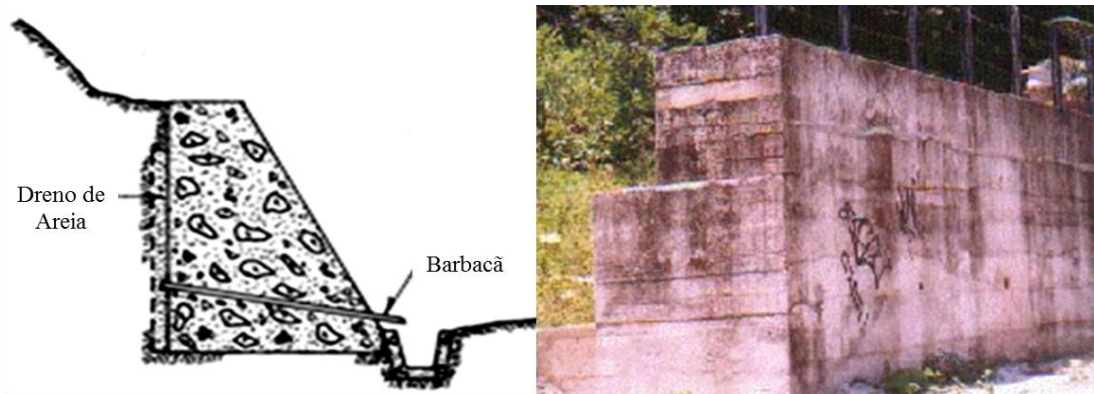
Muro em “T” invertido ou em “L”: Os muros em “T” invertido ou em “L” são constituídos por uma laje-base enterrada no terreno e uma face vertical. A sua execução é mais simples e é recomendada para alturas acima de 5,00 m.

Muro com contrafortes: Os contrafortes devem ser inclinados de acordo com projeto específico, que leva em consideração os esforços atuantes e faz variar também a espessura dos contrafortes e do paramento frontal.

2.8.2.4 Muro de Concreto Ciclópico

Estes muros são, em geral, economicamente viáveis apenas quando a altura não é superior a cerca de 4 m (Figura 27). O muro de concreto ciclópico é uma estrutura construída mediante o preenchimento de uma forma com concreto e blocos de rocha de dimensões variadas. Devido à impermeabilidade deste muro, é imprescindível a execução de um sistema adequado de drenagem (ALHEIROS et al. 2003).

Figura 27 - Muros de concreto ciclópico (ou concreto gravidade).



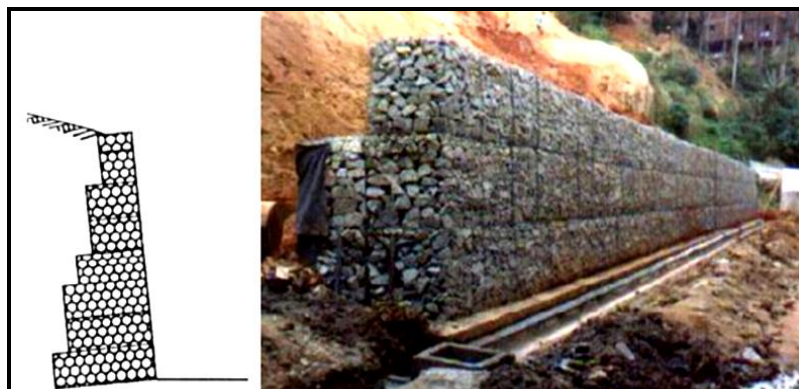
Fonte: Alheiros et al. (2003).

2.8.2.5 Muro de Gabião

Os muros de gabões são constituídos por gaiolas metálicas preenchidas com pedras arrumadas manualmente e construídas com fios de aço galvanizado em malha hexagonal com dupla torção (Figura 28). No caso de muros de grande altura, gabões mais baixos (altura = 0,5 m), que apresentam maior rigidez e resistência, devem ser posicionados nas camadas inferiores, onde as tensões de compressão são mais significativas. Para muros muito longos, gabões com comprimento de até 4 m podem ser utilizados para agilizar a construção (ALHEIROS et al. 2003).

A principal característica dos muros de gabões é a flexibilidade, que permite que a estrutura se acomode à permeabilidade.

Figura 28 - Muro de gabião.

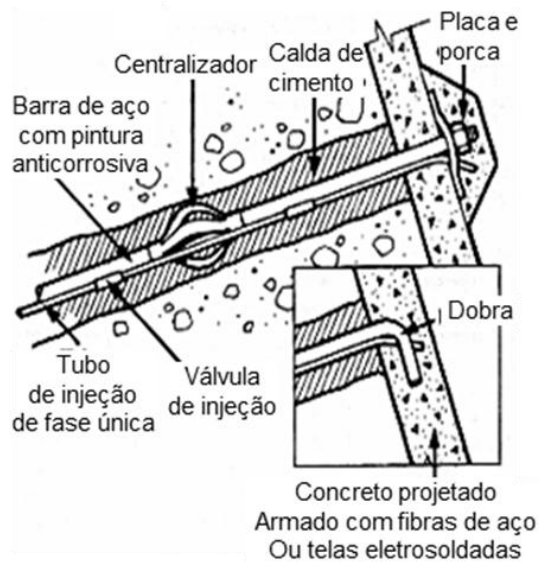


Fonte: Alheiros et al. (2003).

2.8.2.6 Solo Grampeado ou Pregado

Consiste na introdução de barras metálicas, revestidas ou não, em maciços naturais ou em aterros. Sua execução é composta das seguintes fases: perfuração do maciço, introdução da barra metálica no furo e preenchimento do mesmo com nata de cimento. A cabeça do prego pode ser protegida, bem como a face do talude, com argamassa de cimento ou com concreto jateado. Os grampos não são protendidos, sendo solicitados somente quando o maciço sofre pequenos deslocamentos. (Figura 29).

Figura 29 - Talude grampeado – Detalhes dos grampos.



Fonte: Dyminski (2012).

2.8.2.7 Cortina Atirantada

Consiste numa parede de concreto armado, em que o maciço é perfurado sendo introduzidas nos furos barras metálicas (tirantes). Após o posicionamento destas barras, é introduzida nas perfurações nata de cimento sob pressão, que penetra nos vazios do solo, formando um bulbo, e ancorando as barras metálicas. Passado o tempo de cura da nata de cimento, os tirantes são protendidos e presos na parede de concreto, o que faz com que esta estrutura seja “empurrada” contra o maciço.

2.8.3 Parâmetros geotécnicos do solo da cidade de Manaus

De acordo com a experiência local, através de inúmeros ensaios de cisalhamento direto e triaxiais, e pelas características do material encontrado ao longo do perfil geotécnico, constituído de sedimentos laterizados, é comum adotarem-se os valores expostos no Quadro 3, para fins de correlações entre os parâmetros geotécnicos do solo e o N_{SPT} .

O quadro 3 indica os valores dos parâmetros de resistência ao cisalhamento (coesão e ângulo de atrito) e de peso específico do solo de Manaus, baseado em ensaios laboratoriais e a experiência dos autores com o solo local (CAMPELO et al., 2001).

Deve-se atentar ao fato de que os valores do quadro são menores do que os estimados na bibliografia nacional. Em adição, a coesão (c) máxima foi limitada a 60 kPa, enquanto o ângulo de atrito interno (ϕ) máximo foi limitado a 35° e o peso específico (γ) em 20 kN/m^3 . Dessa feita, os coeficientes de segurança encontrados nas distintas análises efetuadas propiciaram resultados mais conservadores. Segundo os autores, as argilas laterizadas apresentam ângulos de atrito interno maior do que o normalmente esperado – talvez decorrente do fato que o concrecionamento forme um pseudo grão de areia, ao passo que a coesão experimenta uma diminuição.

Quadro 3 - Correlações entre parâmetros geotécnicos do solo e o N_{SPT} .

Classificação do solo	N_{SPT}	γ (kN/m^3)	c (kPa)	ϕ ($^\circ$)
Areia argilosa	< 10	< 15	< 5	< 25
	10 a 20	15 a 17	5 a 15	25 a 30
	20 a 30	17 a 19	15 a 25	30 a 34
	> 30	20	30	35
Areia arenosa	< 10	< 13	< 10	< 15
	10 a 20	13 a 15	10 a 30	15 a 27
	20 a 30	15 a 18	30 a 55	15 a 27
	> 30	19	60	28

Fonte: Campelo et al. (2001).

Dependendo da extensão e da gravidade dos escorregamentos, é definido um número mínimo de campanha de sondagens de simples reconhecimento, com medidas do índice de resistência à penetração N_{SPT} .

O Quadro 4 indica os estudos levados a cabo, pelos autores, sobre a estabilidade de taludes de maciço de solo de Manaus. Alguns dos taludes localizam-se às margens do rio Negro, em regiões de falésia e sofrem a influência direta da sua variação de enchente e vazante, na verdade, pequenos cursos d'água que cortam a cidade de Manaus também obedecem ao ciclo de variação daquele rio (Figura 30).

Algumas análises levaram em conta a influência de uma linha piezométrica arbitrária que partia das cotas das maiores vazantes e cheias, até encontrarem o nível d'água subterrâneo, determinado pelas sondagens. Os taludes, em sua maioria, apresentavam erosões superficiais e outros, até mesmo um processo mais adiantado de voçorocamento.

Destaca-se a elevada altura de alguns taludes analisados que, acrescida à grande declividade mormente nas áreas das falésias à margem do rio Negro, fazem com que o fator de segurança não seja rigorosamente alto, acima de 1,5.

Campelo et al. (2001, 2002, 2004, 2005 e 2009) afirmaram que os taludes apresentavam estabilidade satisfatória, em sua condição natural. Todavia, devido ao uso indevido do solo, induzido por “invasões” irregulares, com o consequente desmatamento e a infraestrutura básica (água potável esgoto doméstico, drenagem urbana, vias pavimentadas) deficiente – e até mesmo inexistente -, o processo erosivo iniciava-se e, paulatinamente, progredia até as primeiras rupturas superficiais ocorrerem. Com o passar do tempo, as erosões aprofundam-se indo encontrar, em alguns casos, o nível de água subterrâneo, originando as voçorocas na região. Portanto, a ação antrópica é uma das causas de instabilização dos taludes.

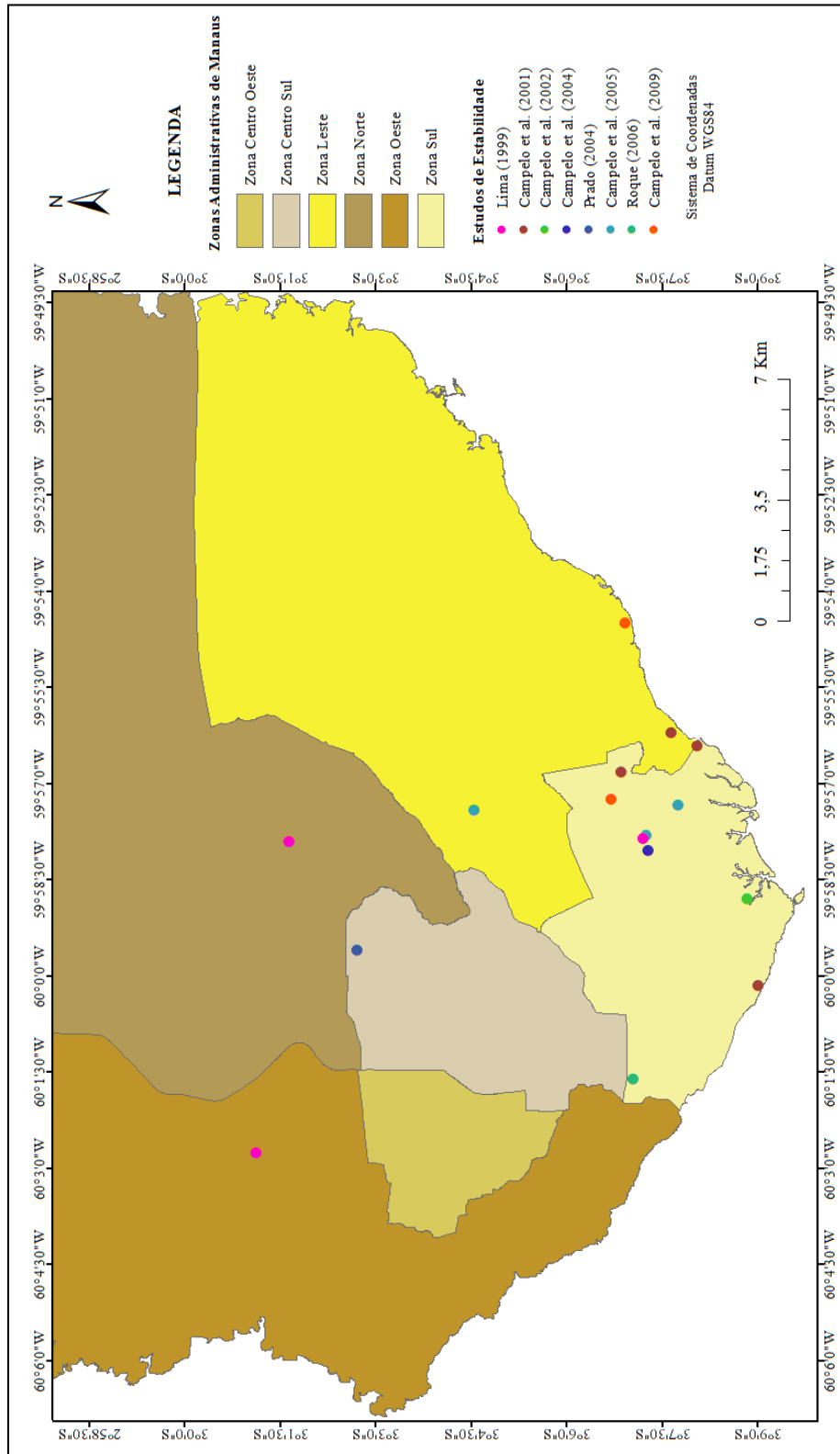
Corroborando com a assertiva acima, fora relatado pelos autores que as erosões eram localizadas, e não contínuas, numa mesma região. A existência de espessas camadas de solo arenoso ou siltoso – muitas vezes próximas aos pés dos taludes – e a elevada incidência pluviométrica na região contribuem para a aceleração do processo erosivo, aliada à ausência de cobertura vegetal no maciço de solo.

Quadro 4 - Alguns estudos levados a cabo para taludes naturais na cidade de Manaus.

Condições de Análise Efetuada	Identificação do Local	Altura do Talude (m)	Fator de Segurança	Fonte
Erosões superficiais e profundas (voçorocas) ocorridas em três taludes naturais, localizados na orla do rio Negro, e em um talude situado na região do Distrito Industrial (D.I.) I de Manaus	1- Petróleo Sabbá (*)	18 a 22	2,30	Campelo et al. (2001)
	2- Escola Estadual Berenice Martins (*)	48 a 52	1,18	
	3 – Vila Humaitá – Marinha do Brasil (*)	28 a 32	2,33	
	4 – W.H. do Brasil	40 a 48	1,36	
Conjunto de cinco erosões superficiais e profundas (voçorocas), ocorridas em taludes naturais, localizados a cerca de 1 km afastadas da orla do rio Negro, na região do D.I. I de Manaus	5 - GavEx	28 a 46	0,86 a 2,12	Campelo et al. (2002)
Duas seções de estudo, em talude natural de corte, localizado em uma indústria do Distrito Industrial (DI) I de Manaus, sob a influência de carregamento de três prédios vizinhos	6 – Moto Honda da Amazônia	12	1,14 e 2,11	Campelo et al. (2004)
Conjunto de três erosões superficiais e profundas (voçorocas), ocorridas em taludes naturais, localizados na região do D.I. I e da zona Leste de Manaus	7 – L.G. Electronics da Amazônia	16	0,92	Campelo et al. (2005)
	8 – Sony Brasil	10	0,86	
	9 – Shopping São José	25	0,82	
Conjunto de três erosões superficiais e profundas (voçorocas), ocorridas em taludes naturais, localizados na região do D.I. I e da zona Leste de Manaus	10 – Valfilm Amazônia	24	0,52	Campelo et al. (2009)
	11 – Parque Encontro das Águas (*)	65	0,86	
Confecção de banco de dados georeferenciado com informações geológico-geotécnicas a partir da análise de 241 relatórios técnicos de sondagens SPT e poços tubulares profundos.	12 – Área urbana de Manaus	XX	XX	Roque (2006)
Caracterização dos materiais inconsolidados para mapeamento geotécnico, com o uso de procedimentos sistemáticos da fotointerpretação.	13-Município de Manaus e parte dos municípios Rio Preto da Eva, Presidente Figueiredo, Iranduba, Manacapuru e Careiro da Várzea.	XX	XX	Prado (2004)
Ensaios geotécnicos em 4 voçorocas, em três zonas de Manaus.	14 – Distrito Industrial, Canaranas e Tarumã.	15 m; 10 a 13 m	XX	Lima (1999)

(*) Talude de falésia, à margem esquerda do rio Negro.

Figura 30 - Mapa de identificação de estudos de estabilidade na cidade de Manaus.



2.8.4 Análise de Estabilidade de Taludes

O estudo da estabilidade de taludes em forma científica iniciou-se pelo engenheiro sueco Wolmar Fellenius (1876-1957), em 1936, como resultado da análise de rupturas de taludes constituídos de argilas sensíveis, na Suécia. É também denominado de método das fatias ou das Lamelas. Sua forma simples de análise permitiu-lhe uma rápida disseminação no meio geotécnico, desde então. Reduz a resolução da estabilidade do talude a uma estrutura estaticamente determinada e, uma vez que não leva em conta a interação das forças horizontais (compressão e cisalhante) nas lamelas, produz o menor valor do fator de segurança, entre todos os outros métodos de análise, sendo, portanto, o mais conservador.

Para a análise da estabilidade, são consideradas as forças do peso próprio das lamelas e da água (se houver coluna d'água no interior do maciço) e as forças resistentes cisalhantes na base da lamela (devidas à coesão e ângulo de atrito interno do solo). Os momentos resistentes são gerados pela resistência do solo, na base da lamela, em contato com a provável superfície de ruptura. Os momentos atuantes são gerados pelos pesos próprios do solo e da água.

As condições de estabilidade de um talude são quantificadas pelo seu Fator de Segurança (FS). As formas de definição do fator de segurança são:

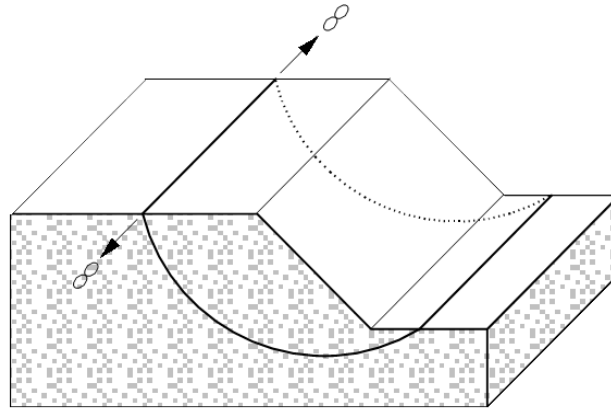
- Relação entre forças (ou tensões) resistentes e mobilizadoras do deslizamento;
- Relação entre parâmetros de resistência do solo disponíveis e requerido para manter o equilíbrio;
- Relação entre somatórios de momentos resistentes e mobilizadores do deslizamento;
- Composição de forças que mantêm o equilíbrio (fechamento de polígono de forças).

Os métodos usuais de análise da estabilidade dos taludes empregam o conceito de Equilíbrio Limite, ou seja, à igualdade entre os momentos das forças resistentes e atuantes. Os métodos convencionais admitem condições de deformação plana (Figura 31).

Quanto à superfície de ruptura, tem-se:

- Superfície plana;
- Superfície circular;
- Superfície com forma qualquer.

Figura 31 - Análise de estabilidade de talude em seção transversal de maciço de solo (deformação plana).



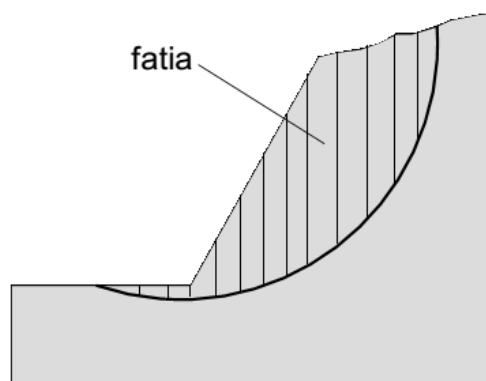
Fonte: Palmeira (2014).

Os métodos mais tradicionais de análise de estabilidade de taludes são:

- Método de Fellenius (ou método Sueco ou das Lamelas);
- Método de Bishop Modificado (ou Simplificado);
- Método de Janbu;
- Método de Morgenstern e Price;
- Método de Spencer;

Esses métodos baseiam-se na divisão da massa de solo deslizante em fatias (Figura 32).

Figura 32 - Divisão da seção transversal do talude em fatias ou lamelas



Fonte: Palmeira (2014).

Fellenius despreza a ação das forças laterais nas fatias, contudo, os demais métodos levam em consideração tais forças, fazendo-se o equilíbrio das forças e momentos, na determinação de FS (Figura 33).

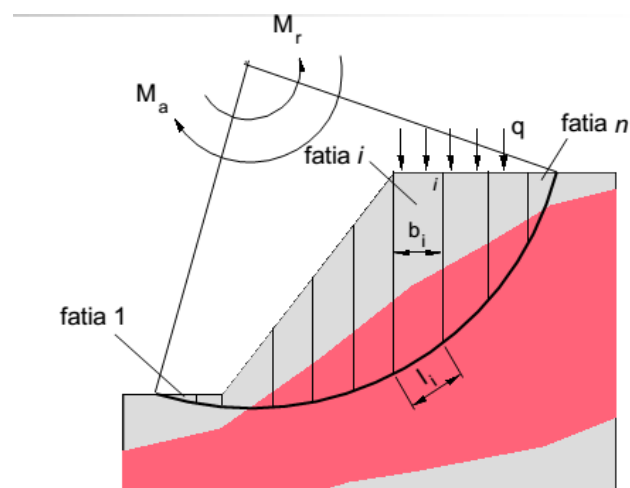
Figura 33 – Fator de Segurança (FS) por Fellenius.

$$F = \frac{\sum_1^n M_{r_i}}{\sum_1^n M_{a_i}}$$

FS = fator de segurança;

M_{r_i} = momentos das forças contrárias ao deslizamento na fatia “i” em relação ao centro do círculo

M_{a_i} = momentos das forças mobilizadoras do deslizamento na fatia “i” em relação ao centro do círculo.

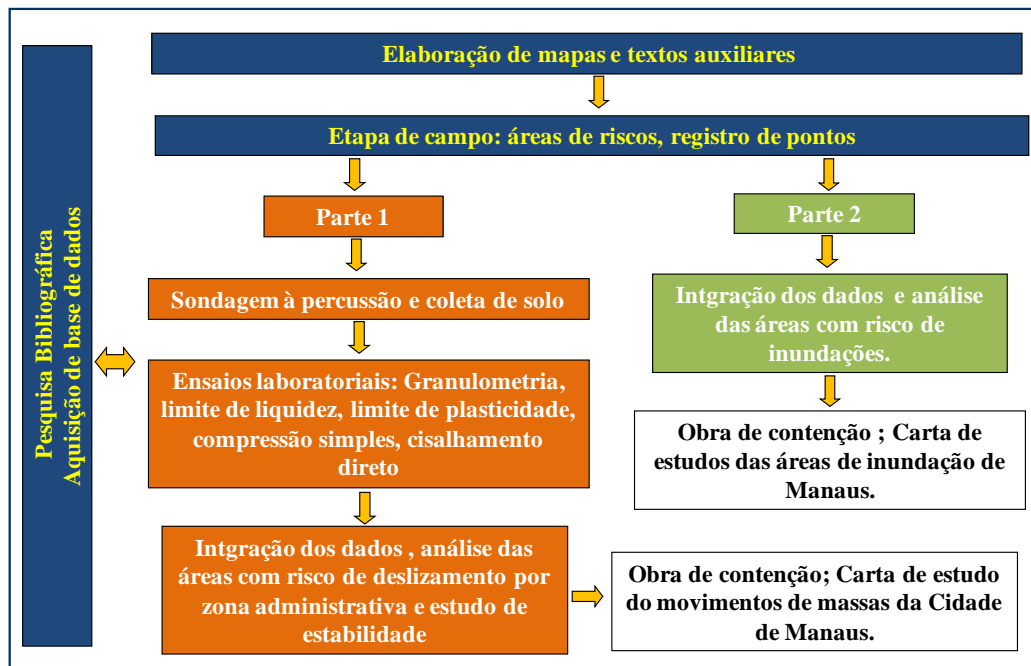


Fonte: Palmeira (2014).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Os procedimentos adotados para o desenvolvimento desta pesquisa podem ser observados na figura 34.

Figura 34 - Fluxograma dos procedimentos utilizados no trabalho.



3.1 Pesquisa Bibliográfica e Aquisição de Dados

Na fase inicial da pesquisa, foi realizado o levantamento bibliográfico, pertinente aos dados geológicos e geotécnicos existentes, a leitura de temas relacionados ao objeto da pesquisa e a aquisição de material cartográfico, mapas temáticos e imagens de satélite da área de Manaus.

As cartas digitais utilizadas, na escala 1:10.000, da cidade de Manaus foram obtidas da base cartográfica da área urbana realizada pelo convênio IMPLAN/CPRM (1995), serviram de apoio para a confecção dos mapas temáticos, drenagem e vias urbanas. Os Modelos Digitais de Elevação SRTM utilizados para elaboração do mapa de declividade, os mapas geológicos foram obtidos de Bizzi et al. (2001) e o de Silva (2005). Os mapas geomorfológicos foram obtidos da base do IBGE (2001) e os de unidades de relevo, em formato digital, do IBGE (2003).

3.2 Procedimento Experimental

O trabalho é dividido em duas partes que abordam visitas técnicas, registro de coordenadas geográficas e fotográficas, além dos ensaios laboratoriais, análises das sondagens e da ocorrência das cheias na cidade.

3.2.1 Etapa de Campo

A atividade de campo compreendeu visita técnica de reconhecimento da área com maior atividade de deslizamentos de terra em Manaus: Comunidade Grande Vitória, no bairro Distrito II, com registro das coordenadas geográficas dos pontos de deslizamentos e risco. Outras visitas foram realizadas durante a cheia do rio Negro em 2015, em igarapés dentro da área urbana de Manaus, em algumas comunidades descritas nos resultados e aos pontos de deslizamentos para coleta e integração dos dados com os já existentes, em bibliografias, para melhor análise de causas e precaução.

Houve dificuldade de acesso e segurança nas visitas em alguns locais de deslizamento e os de inundações, pois são áreas com alto índice de violência e de difícil acesso (falta de escadas, passagens), dificultando a coleta de amostras e até mesmo de anotações de campo mais específicas, como descrição de perfil geológico.

3.2.2 Sondagens à Percussão (SP) - (ABNT NBR 6484)

A empresa E.B. Geotecnia e Consultoria disponibilizou o acesso ao acervo digital de sondagens, permitindo a realização do estudo de estabilidade das áreas de estudo. Iniciou-se com as escolhas das sondagens realizadas nessas áreas de risco, seguindo para a determinação das camadas que os parâmetros geotécnicos de solo seriam aplicados e, só então, foram definidas as seções topográficas de cada ponto escolhido.

Também foi obtido o resultado de duas sondagens de percussão em talude no bairro Colônia Oliveira Machado. A primeira na crista, SP-1, que atingiu o impenetrável à percussão, encontrado a 34,10 m (Figura 35), a segunda realizada na base do talude, SP-2, atingiu 8 m de profundidade (Figura 367).

Figura 35 - Aprofundamento da sondagem com o uso das hastes de ferro e uso de ferramentas (chave inglesa) para desatarraxar seções das hastes (A). Motor da sonda (B). Execução de sondagem – SP1 (C e D).



Fonte: Acervo da pesquisa.

Figura 36 - Execução de Sondagem SP2, na base do talude.



Fonte: Acervo da pesquisa.

3.2.2.1 Análise de Estabilidade

Os programas computacionais empregados nas análises das estabilidades dos taludes foram o UTEXAS2 (DUNCAN & WRIGHT, 1986), SLOPE/W (GEO-SLOPE) - versões 2004 e 2007 -, e GGU-GABION e GGU-STABILITY (CIVILSERVE, 2008).

Os programas permitem uma série de simulações, com dados de entrada de carregamentos externos, camadas do maciço de solo (parâmetros de resistência e peso específico dos materiais), nível de água subterrâneo, método de cálculo, etc. Como dados de

saída, permitem a visualização gráfica das superfícies de ruptura pesquisadas, inclusive a que produziu o fator de segurança mínimo.

Foi também feita a coleta de amostra desse solo para análise geotécnica, em forma de blocos indeformados, desde o nível do terreno até a profundidade de 5,45 m, na crista do talude, descrito a seguir.

3.2.3 Coleta de Amostras deformadas e indeformadas

O estudo laboratorial para caracterização das propriedades geotécnicas do maciço de solo foi realizado em amostras de solo deformadas e indeformadas (Figura 37), realizados nos laboratórios de Mecânica de solos do Instituto Federal do Amazonas (IFAM) e no Laboratório de Pavimentação da Universidade Federal do Amazonas (UFAM).

Figura 37 – Processo de retirada das amostras de solo deformado e indeformado: Remoção do piso de concreto para início da escavação (A). Encontrado terceiro nível de piso em concreto (B). Retirada e preparação do solo de amostra indeformada (C). Preparação e retirada da amostra indeformada (D). Escavação de material argilo arenoso, possibilitando a retirada de material para ensaio geotécnico (E). Amostra indeformada protegida dentro de uma caixa de madeira (F). Material retirado na escavação (G). Material sendo recolocado no local da escavação (H), (I).



Fonte: Acervo da pesquisa.

O material coletado foi preparado de acordo com as normas exigidas em cada ensaio descrito (Figura 38).

Figura 38 - Preparação do corpo de prova tomando as medidas normatizadas.



Fonte: Acervo da pesquisa.

3.2.4 Ensaios de caracterização do solo

Os ensaios abaixo selecionados foram realizados no laboratório de pavimentação da Faculdade de Tecnologia da UFAM:

– Análise granulométrica (ABNT NBR 7181): consiste distribuição dos diâmetros dos grãos de solos ou agregados através de um jogo de peneiras com malhas de abertura normatizadas. A partir dessa análise pode-se determinar a classificação dos solos em pedregulho, areia, silte e argila.

– Limite de liquidez (LL) para solos argilosos (ABNT NBR 6459): é o teor de umidade que indica a passagem do estado plástico para o estado líquido. Está relacionado com a capacidade do solo em absorver água, sendo realizado no aparelho de Casagrande; a cuba do aparelho é preenchida como solo úmido, procurando-se obter uma espessura constante de 1cm, aproximadamente. Com um cinzel é feita uma ranhura no centro. Gira-se então a manivela do aparelho, com uma rotação constante de 2 golpes por segundo, até que a ranhura se feche numa extensão de 1,0 cm, aproximadamente. Anota-se o número de golpes até esse ponto e retira-se uma amostra do local onde o solo se uniu, para determinação do teor de umidade.

– Limite de plasticidade (LP) para solos argilosos (ABNT NBR 7180): é o teor de umidade que indica a passagem do estado semissólido para o estado plástico. Utilizando uma placa de vidro com uma face esmerilhada e cilindro padrão com 3 mm de diâmetro, faz-se uma pasta com o solo passado na peneira 0,42 mm, com um teor de umidade inicial próximo ao limite de liquidez. Em seguida, rola-se esta pasta até que duas condições sejam simultaneamente alcançadas: o rolinho tenha um diâmetro igual ao do cilindro padrão; aparecimento de fissuras. O teor de umidade do rolinho, nesta condição, representa o limite de

plasticidade do solo (LP). Quando não é possível se obter o LP de um solo, ele é denominado não plástico (NP).

Os ensaios abaixo selecionados foram executados no laboratório de mecânica dos solos do Instituto Federal do Amazonas (IFAM):

– Ensaio de compressão simples (ABNT NBR 12025): O ensaio de compressão simples é o método mais simples e rápido para determinar a resistência ao cisalhamento de solos (Figura 39). O ensaio fornece o valor da resistência não drenada de campo do solo, para isso, deve ser feito com amostra indeformada, e conservando sua umidade natural. Pode ainda ser usado para amostras de solos compactados.

– Ensaio de cisalhamento direto: O ensaio de cisalhamento direto foi desenvolvido basicamente para a determinação da resistência ao corte de um corpo de prova de solo, de forma prismática e seção quadrada ou circular e de pequena espessura. Esse ensaio é geralmente não drenado e é mais aplicado ao estudo da resistência ao cisalhamento de solos com estratificações ou xistosidades definidas, ou quando se quer avaliar a resistência entre contatos de diferentes materiais.

Figura 39 - Ensaio de compressão simples.



Fonte: Acervo da pesquisa.

3.3 Análise de Inundações

Realizou-se um levantamento de dados bibliográfico das cheias do rio Negro que ocorreram na cidade de Manaus no período de 2009 até 2015, a partir desses dados, pode-se

analisar o impacto gerado nos locais próximos aos igarapés. Foi feita uma visita de campo durante cheia de 2015, com registro fotográfico para verificação de danos, dos avanços em relação aos outros anos, com a ajuda do relatório de Cheia de 2012 da (CPRM, 2012a). Essa etapa do trabalho serviu para integrar e complementar a proposta final com soluções para o problema existente de inundações e alagamentos.

3.4 Integração das Informações

A interpretação dos dados obtidos (informações bibliográficas, mapas temáticos adquiridos, visitas de campo, ensaios de solos, análise de sondagens e dados de inundações) foram integrados para determinar o comportamento físico e mecânico dos materiais coletados e do avanço da enchente nos bairros.

Com as investigações geológicas-geotécnicas nas análises de sondagens, obteve-se a caracterização do solo e o perfil da massa potencialmente instável para cada área erodida. A partir dos resultados dos ensaios de resistência ao cisalhamento, executados nas amostras indeformadas coletadas no bairro Colônia Oliveira Machado e pela experiência local com o solo da cidade de Manaus (CAMPELO et al. 2001), utilizou-se a correlação entre o índice de resistência à penetração (N_{SPT}) com os parâmetros de resistência do solo (coesão e ângulo de atrito interno) e com o peso específico das camadas do solo.

Com a análise dos dados de cheias do Rio Negro (danos sociais, econômicos e saúde) que atingem os bairros de Manaus e outros municípios, foi possível traçar a área de inundação dentro da cidade, com cota 30 m.

Com esses dados foi feita a elaboração técnica e econômica das obras de contenção dos locais:

- Riscos de deslizamento: Representando os pontos de ocorrência de deslizamento e expondo estudos de estabilidade em cada zona da Cidade;
- Risco de Inundações: indicando a desapropriação e restauração desses locais, delimitando a margem atingida correlacionando com trabalhos já realizados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Evolução Temporal de Pontos de Erosão: 2008 x 2015

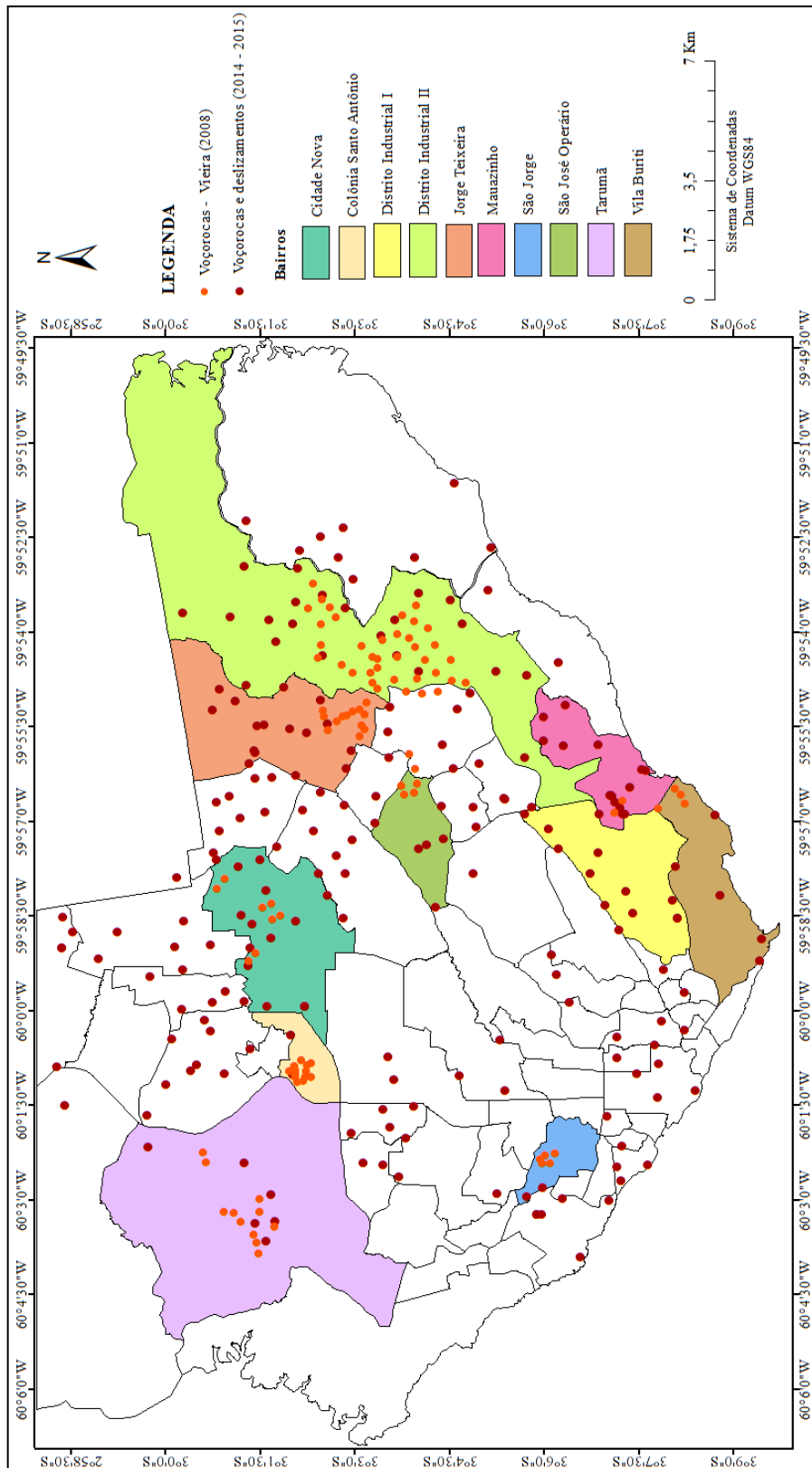
Através da correlação de mapa dos pontos de voçorocas de Vieira (2008) com os dados coletados neste trabalho (2014 à 2015) com auxílio de dados da CPRM (2012b), observou-se o aumento dessas erosões que podem evoluir para futuros deslizamentos, caso não sejam tomadas providencias.

As voçorocas registradas por vieira (2008) ocorriam nas 4 zonas da cidade somando 99 feições, com concentração maior na zona Leste e com menor concentração na zona Sul. Com a irregularidade nas ocupações, construções e desmatamento, é visível o aumento de impacto no meio ambiente por ações antrópicas, visualizadas tanto em trabalhos passados como pode ser também encontrado nos dias atuais, evoluindo para deslizamentos.

Com a integração dos dados de 2008 e os de 2014/ 2015 observa-se o avanço de áreas atingidas com voçorocas e agora com ocorrência de deslizamentos em locais com histórico de invasões, sendo possível achar indícios dos escorregamentos (inclinação de árvores, postes, trincas no solo, degraus ao longo do terreno), a evolução desse processo, cada vez maior, ocorre pelo descaso das pessoas que continuam construindo locais com drenagens domésticas irregulares que saturam o terreno e assim diminui a resistência efetiva do maciço de solo, nas épocas de chuvas intensas favorece o deslizamento de terra, e por mais que o maciço de solo seja natural /e estável, a ação antrópica desestabiliza o talude, provocando os deslizamentos de terra sucessivos (Figura 40).

Citam-se áreas, como o Distrito I e II, que foram desmatadas indevidamente e atualmente geram ocorrências de deslizamento e risco para a comunidade, que influencia no processo de origem e aumento das feições morando nas encostas, sem estrutura básica de drenagem e de coleta o que transforma as voçorocas em depósito de lixo. Outros locais de Manaus que apresentam ocorrência de voçorocas e deslizamentos são: Jorge Teixeira, Grande Vitória, Nova Conquista, Nova Floresta, Comunidade João Paulo II; Tarumã; Canaranas, Cidade de Deus; Colônia Santo Antônio; São Jorge; Vila Buriti; Santa Inês e Mauzinho.

Figura 40 - Carta de distribuição de deslizamentos e voçorocas nos bairros de Manaus



4.2 Estudo de casos de estabilidade de taludes em Manaus

Em geral as voçorocas encontradas na cidade se apresentam ramificadas, profundas, de paredes irregulares e em sua maioria são transversais em “U”. Por estarem localizadas na área urbana, o processo de avanço da estrutura é bem mais rápido, o que gera risco às construções existentes nesses locais. Existe um conjunto de fatores naturais que acarretam o aparecimento e crescimento desse problema, a saber:

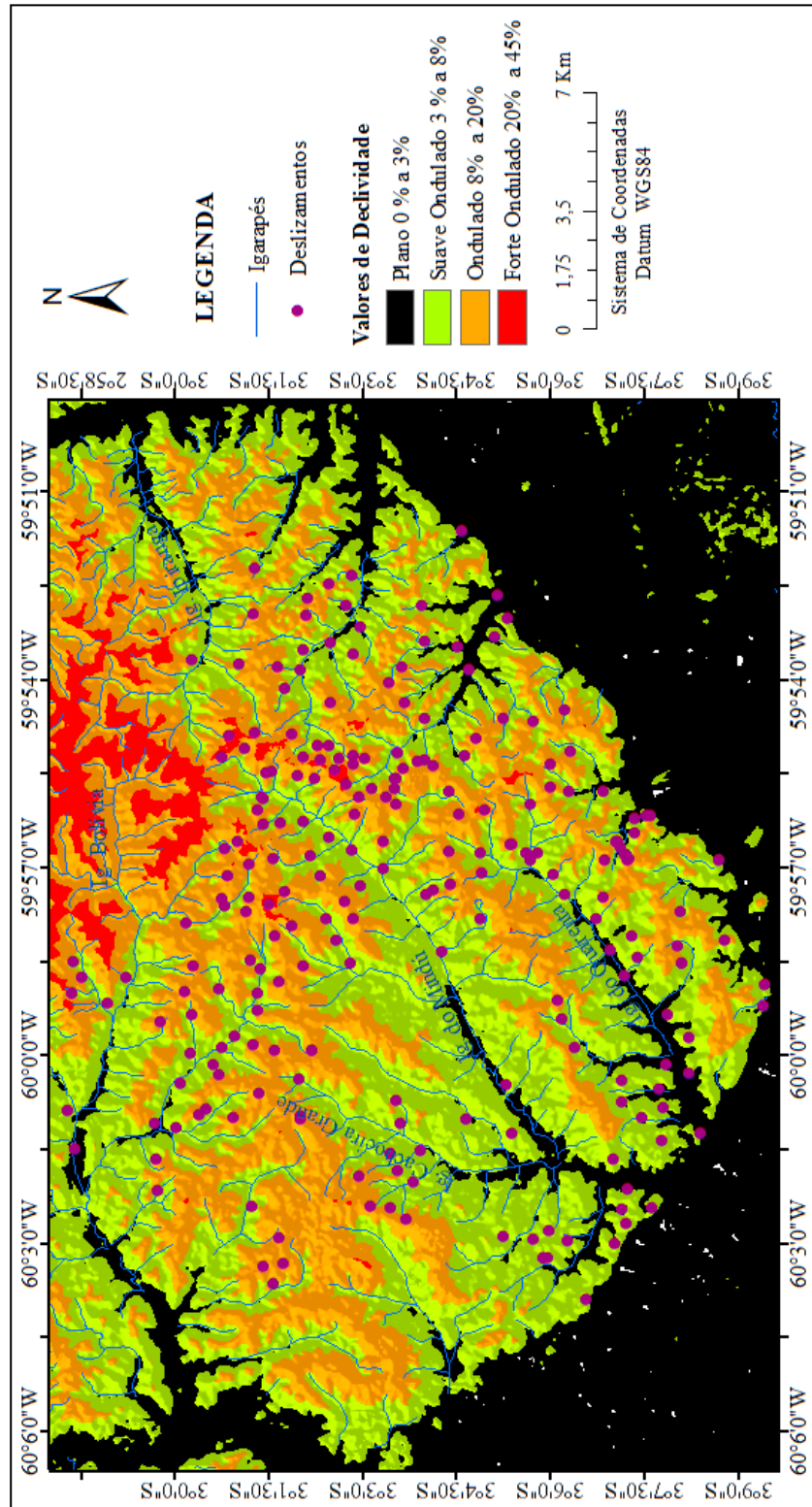
- Chuva: que desagrega as partículas e as voçorocas intensificam-se, em função da oposição entre períodos de deficiência hídrica e períodos de águas excedentes;
- Lençol Freático: a variação rápida do lençol freático, em função da maior infiltração, que intensifica a erosão interna através dos veios vazios;
- Geologia: relação entre depósitos e susceptibilidade à erosão linear. Os depósitos Cenozóicos recentes constituem os substratos que deram origem às formações arenosas superficiais, que concentra grande parte das voçorocas de evolução recente de Manaus. O fluxo hidrológico descendente é favorecido pela elevada permeabilidade e porosidade das formações arenosas e o escoamento é ainda mais facilitado pelas fraturas dos sedimentos.

O grande problema do avanço da área urbana é a falta de planejamento ou o planejamento sem foco nos problemas de deslizamento, que já fazem parte do cotidiano dos que moram nas áreas de expansão das zonas da cidade.

Várias comunidades se desenvolveram em locais com declividade elevada e ao redor de igarapés, e gera um desgaste do solo que não serve para tal acomodação; muitos realizam obras para ocupação de qualquer forma e sem conhecimento, o que altera ainda mais o processo erosivo, provocando deslizamento de terra, causando danos muitas vezes irreparáveis, tornando o espaço ocupado em grandes áreas de risco, (Figura 41).

Inúmeros estudos na cidade de Manaus mostram que as preocupações com os danos causados aos terrenos, pela ação antrópica e também natural, não são recentes, como mostrado no Quadro 4. Os autores lá indicados trabalharam em estudos de estabilidade de terrenos, em relatos quantitativos de estudos do solo para que melhor fosse utilizado em ações de restabelecimento e prevenção.

Figura 41 – Mapa de declividade com destaque de deslizamentos da Cidade de Manaus



Utilizando a correlação dos trabalhos realizados destacados no Quadro 4, com o atual apresentado, podemos começar com o estudo de Campelo et al. (2002) no polo industrial de Manaus, o qual mostrou que os taludes apresentavam razoável resistência do terreno, porém, as atividades antrópicas (desmatamento de vegetação nativa, coleta e distribuição de águas pluviais impróprias), iniciaram o processo erosivo superficial que rapidamente convergiu para as feições em voçorocas. São fatos que hoje em dia continuam agravando os pontos de surgimento das voçorocas e deslizamento na cidade.

Em campo foi verificado que o escoamento em ruas e terrenos sem planejamento de coleta agravaram qualquer tipo de processo erosivo. Os dados dos estudos de estabilidade ajudam na avaliação da resistência desses locais e também para avaliar a gênese e implicações dessas erosões na segurança de vidas humanas e de bens patrimoniais das populações diretamente envolvidas.

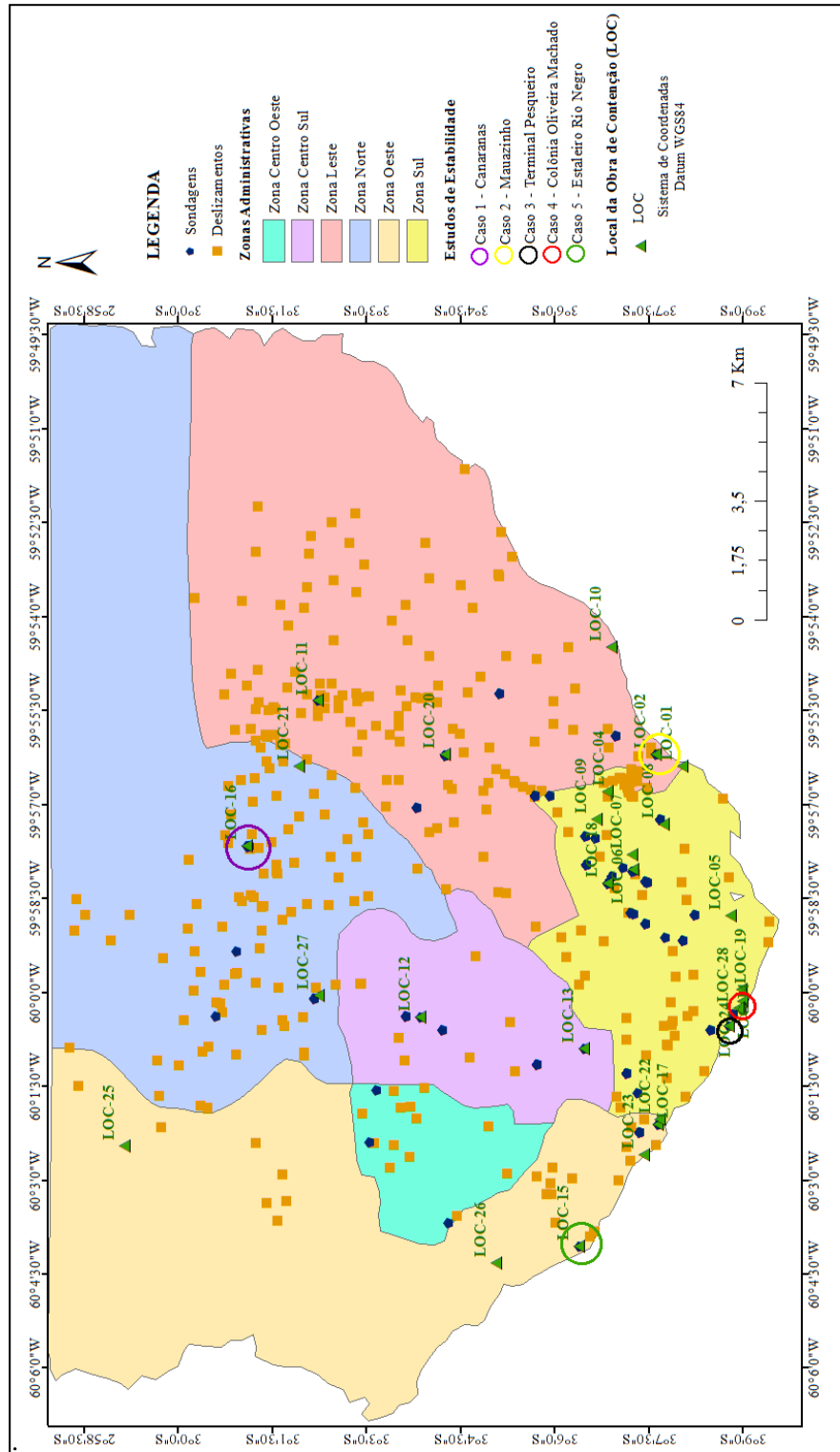
Áreas com relevo acidentado são típicas no polo industrial, conforme observado nos estudos de Campelo et al. (2004) que para realizar a análise e execução da obra no terreno era necessário a escavação do maciço de solo vizinho, formado superficialmente por camada de aterro de baixo grau de compactação. Por se tratar de obra de elevada importância, em que o acontecimento de um sinistro pode acarretar perdas de vidas humanas e bens patrimoniais, a partir desse estudo, optou-se então pela execução de obras de contenção que conduziam à reduzidas deformações do maciço. Projetou-se então uma contenção em cortina atirantada de estacas brocas, pois assim não haveria o estorvo das deformações do maciço decorrentes da escavação do maciço.

Esse tipo de análise, visão futura de prevenção, é o que o atual trabalho chama atenção e não apenas na Zona Sul, mas em todas as zonas da cidade, pois os locais em que foram realizadas as visitas técnicas não apresentam o cuidado de um planejamento adequado para construções e segurança. Os locais de Grande Vitória e Jorge Teixeira III são exemplos de que o descaso com o planejamento adequado está causando danos a longo prazo.

A relação dos trabalhos do Quadro 4 com o atual, são os pontos de causas: Ocupação indevida de locais, com o fato das erosões ocorrerem tanto nas camadas argilosas como nas arenosas, por processos de ação natural e também ação antrópica, em sua maioria localizadas na zona leste e norte, onde há um grande foco de ocupação indevida e expansão da cidade. A integração dos dados analisados (bibliográfico, visitas técnicas, sondagens, laboratório, etc) possibilitou a confecção da carta de estudo dos movimentos de massas em Manaus, destacando casos de estabilidade e locais das obras de contenção, e indica a ação antrópica

como causa principal de origem e/ou avanço nos processos de movimento de massa (Figura 42).

Figura 42 – Carta de estudo do movimentos de massas da Cidade de Manaus, com destaque das sondagens, estudos de estabilidade e locais das obras de contenções.



4.2.1 Zona Norte e Zona Leste

São locais de expansão ocupacional indevida e com grandes casos de deslizamento, sendo nessas zonas detectadas a presença do maior número de voçorocas existentes em Manaus (Figura 43).

Figura 43 - Representação de locais de risco nas zonas norte e leste que dividem o maior número de voçorocas e ocorrências de Manaus.



Com bairros e comunidades desenvolvidos próximos às nascentes em terrenos impróprios e altos, sem um projeto viário, dando origem a um grande número de ruas que não possuem planejamento e ligações, permite que o escoamento de água ocorra na parede das encostas favorecendo o surgimento das voçorocas, criando uma zona de risco por causa das moradias ali existentes.

São locais em expansão urbana e a cada dia que passa aumenta mais as áreas de risco, pois esse crescimento não é acompanhado de expansão da infraestrutura básica, sistema de drenagem eficiente, coleta de lixo e rede adutora de água potável (Figura 44).

Os movimentos encontrados nessas zonas são escorregamentos translacionais, quedas em blocos, e fluxos de terra. Em muitos locais de visita, foi registrado grande

acúmulo de lixo dentro das voçorocas que, somado aos fatores anteriormente descritos, favorecem o aumento da estrutura (Figura 45).

Figura 44 - Tubulações públicas e domésticas expostas despejando água servida na encosta, agravando o processo de voçorocamento.



Figura 45 - Encosta no bairro Mauazinho. A) Descarte de lixo dentro da voçoroca; B) Escorregamento translacional e despejo de água doméstica na parede da encosta.



Em determinados locais foi possível encontrar estruturas de casas, ruas comprometidas pelo avanço da erosão, em áreas de expansão e risco (Figura 46).

A geologia de Manaus é composta de camadas alternando quartzo arenitos avermelhados, argilitos, siltitos conglomerados e brechas sedimentares. Nessas zonas descritas podem-se encontrar arenitos, argilitos e siltitos, e também os horizontes de alteração e crostas laterítica. Muitas comunidades são desenvolvidas nas margens e até mesmo dentro dos igarapés (Figura 47), sendo locais de alto risco, com inúmeras famílias que esperam auxílio do governo.

Figura 46 - Estruturas comprometidas por deslizamentos.



Figura 47 - Casas construídas em cima de igarapés, que alagam e sofrem com os deslizamentos pondo em risco suas vidas.



4.2.1.1 Comunidade Grande Vitória

A comunidade Grande Vitória é um local muito atingido por esse processo, sendo visível em duas das grandes voçorocas o resultado dos impactos sociais, ambientais e urbanos proporcionados por esse problema, devido à grande massa de ocupações indevidas que se divide em casas de alvenarias e de madeira, nos acúmulo de lixos, sistema de drenagem inexistente, o que resulta no risco ambiental dessas ocupações.

No local observou-se o movimento de massa, grandes voçorocas, em um local de relevo bastante erodido, que possui platôs entre 200 m e 1200 m, com término em encostas. De acordo com bibliografia existente classificou-se o grau de declividade dessas encostas em bem acentuada e em sua maioria, convexa.

O ponto 1, localizado na coordenada: -3.047036 / -59.930318, é uma enorme voçoroca, fotografada do outro lado da encosta, utilizando “zoom” para capturar essa imagem mais próxima e tentar de alguma forma ver os detalhes de novos deslizamentos, comparando-se o avanço do processo do ano de 2015 a 2016 (Figura 48). Essa área é um enorme vale ao pé da encosta, apresentando focos de deslizamento e inclinação de árvores; no local existe muitas moradias, e ocorrência do acúmulo de sedimentos carregados em excesso, por chuvas sem direcionamento.

Figura 48 - Área de voçoroca na comunidade Grande Vitória / Manaus – AM.



A grande baixada ou vale é produto de um enorme voçorocamento ainda em atividade, além do assoreamento, colocando em risco as moradias que ali estão instaladas. Em vários pontos, ao longo da comunidade, observa-se o alto grau de intemperismo que atinge o solo já exposto, naturalmente, pelo processo de erosão.

Da figura 48, foram destacados em três “zooms” de locais expostos por voçoroca que pode ser classificada como desconectada; destaca-se um deslizamento logo abaixo de casas no topo da encosta, outro com deslize e acúmulo de muito lixo ao mesmo tempo. O local é de difícil acesso e tem a presença de muita plantação, a figura mostra o intervalo de um ano (2015 – 2016), sendo possível a visualização do avanço do deslizamento e acúmulos de lixo.

A Figura 49 mostra uma grande voçoroca na encosta, de forma côncava, como se tivesse entrando no talude e degradando apenas o centro. Devido às inúmeras plantas, não se consegue ver a base, mas, olhando o topo, é possível verificar que as plantas e o caule estão inclinados para frente, ainda apresentando alguma resistência, pois existe mais solo no topo do que no meio da estrutura.

Figura 49 - Detalhe da voçoroca em estágio avançado.



Fonte: Acervo da pesquisa.

Esses pontos escolhidos para detalhe são os únicos visíveis na encosta, observe a figura 48, pois o restante é recoberto por vegetação. São pontuais, e entende-se como: ocorrência por ruptura naquele local que está recebendo infiltração de água da chuva, água oriunda de casas e da rua, que estão localizadas logo em cima da encosta. Em comparativo com 2016, o mesmo ponto atingido pelo processo de erosão, aumentou mostrando outras partes com novos processos de deslizamento e avanço do processo.

A Figura 50 destaca exatamente o meio da Figura 48, o destaque mostra o que foi identificado como um rastejo, pode-se ver que as partes expostas do solo estão separadas por

uma porção resistente desse mesmo solo, ainda intacto, mas provavelmente, não se sustentará por muito tempo. Em 2016 houve avanço e deslizamentos dessa parte central, um processo que em 2015 estava desenvolvendo-se apenas no topo do talude e que agora em 2016 está avançando para a base, além do descarte de lixo encontrado em todos os pontos aqui mostrados.

Figura 50 - Encosta com deslizamentos pontuais e solo recoberto por vegetação secundária.



Fonte: Acervo da pesquisa.

Observa-se também duas faixas de área recoberta por vegetação secundária e em meio a elas estão os rastejos, sendo possível relacionar esse ponto ao anterior, indicando a existência de rupturas desgastadas por infiltração.

Outros agravantes são o peso das construções, das estruturas das vias, além do tremor dos transportes, fatores que intensificam o avanço do processo. Correlacionando cada elemento identificado, natural e antrópico, a atividade de voçorocamento que ali existe, pode-se sugerir a existência de outros processos de erosão pontual ocorrendo, ou em processo inicial.

A Figura 51 mostra um deslizamento com vasto acúmulo de lixo. O topo desse ponto é a rua e casas, essa foi a única visão do local. A estrutura do talude está parcialmente rompida, apresentando a má realização da obra, com várias casas bem próximas, até mesmo dentro da área de deslizamento, pois algumas moradias já apresentavam suas fundações comprometidas, devido ao carreamento de material pelas chuvas.

Figura 51 - Destaque de deslizamento sendo preenchido por lixo oriundo das casas, rua e comunidade.



Fonte: Acervo da pesquisa.

Aos fundos e abaixo das casas, existe um corte na encosta e vestígios de construção da moradia que está sendo assoreado pelo grande acúmulo de lixo. O local de deslizamento é ponto de descarte do lixo da comunidade, perigosamente atraindo bichos, doenças e poluição. O acúmulo de lixo aumenta o processo de erosão, sendo que as plantas deixam de crescer e as que ainda resistem, estão sujeitas a morrer (Figura 52).

Figura 52 - Pontos de descarte de lixo da comunidade.



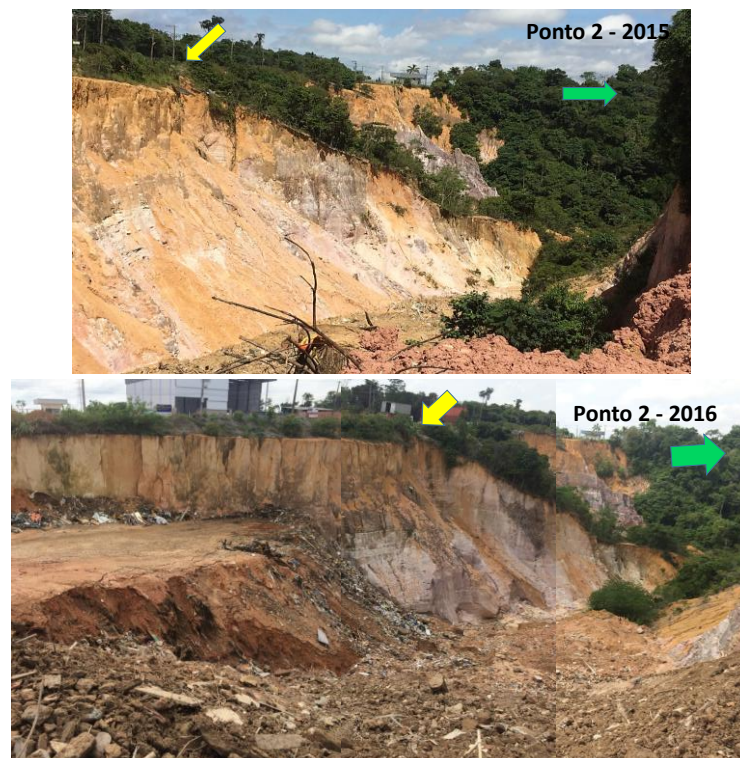
Nesse ponto, pode-se afirmar que existe contribuição antrópica para o avanço do processo, além disso, dos três, é esse o ponto de risco mais evidente. Na nova visita em 2016 foi observado um aumento dessa área de acúmulo de lixo, a construção de mais casas e desmoronamento do terreno.

4.2.1.2 Distrito Industrial II

O ponto 2, localizado na coordenada -3.05605 / -59.903989, representa um deslizamento que segue ativo de uma borda a outra do grande vale, segue toda a extensão da via principal. Na Figura 53, visualiza-se o local com destaque da rua de um lado da borda da estrutura (seta amarela) e direção da outra borda (seta verde).

Esse local fica próximo a algumas fábricas, que estão em limite de risco, e no momento da visita trabalhadores realizavam a retirada de material erodido. Em comparativo de 2015 para 2016 no local, foi realizado um aterro no local de deslizamento numa tentativa de controle e segurança.

Figura 53 - Segundo ponto em área de risco no bairro Nova Vitória, com marcações de locais com risco.



Em 2015 eram visíveis cicatrizes de deslizamento dos três tipos, marcação de fraturas no talude e vasto material solto do corpo de terreno, como um deslize de arraste, seguindo do topo para a base do corpo rochoso e arrastado para o centro do vale, seguindo o caminho de formação do terreno.

A Figura 54 mostra, em detalhe, o material erodido na base, a estrutura de erosão formada no talude com fraturas, que representam ainda processo de deslizamentos ativos, sendo uma cicatriz de deslizamento de base. Acima, destacado em círculo amarelo, marca a estrada que passa na área de risco, e intensifica o grau de perigo de desmoronamento. O material é altamente argiloso e também arenoso em algumas camadas. Em 2016 destaca-se o avanço desse acúmulo de material, resultado do aterro que vem sendo realizado e também das chuvas que carrega o solo para o fundo do vale.

Figura 54 - Desmoronamento de barranco, em destaque a estrada acima do local de risco.



Fonte: Acervo da pesquisa.

A Figura 55 destaca a mistura de material em vale erodido (pequenos blocos de concreto, lixo, vegetação e solo), observando-se a inclinação na base do barranco indicando um arraste direcionado.

Figura 55 - Assoreamento nas proximidades de construções com arraste direcionado.



A figura 56 destaca o material do topo do barranco que desabou, a partir disso se entende que primeiro o material da base desgastou e erodiu; relaciona-se ao enfraquecimento a presença de “pipes”, material poroso, nível de água subterrânea e alagamentos enfraquecendo o solo de base.

Figura 56 - Apresenta enfraquecimento da base do barranco.



4.2.1.3 Estudo de Estabilidade: Caso 1 - Canaranas – Cidade Nova

No conjunto residencial Canaranas, com coordenada: - 3,0182 / -59,9611, existe ocorrência de erosões em taludes de encostas naturais, o que ocasionou um deslizamento com danos . A maioria dessas erosões foi provocada por ação antrópica, quando da construção do referido conjunto, quando não se projetou um sistema de drenagem adequado para a coleta e distribuição das águas superficiais. O talude analisado contém cerca de 30 m de altura, e tem limites com algumas residências no entorno.

Na análise de sua estabilidade, empregou-se os dados de duas sondagens de simples reconhecimento, com medidas do índice de resistência à penetração ao longo do talude, na seção mais inclinada. Nas simulações, a geometria do talude foi estabelecida em função do corte do terreno apresentado na seção transversal mais íngreme.

Em função do corte do terreno, na seção transversal mais íngreme, foram realizadas as simulações em diversas condições de estudo: com e sem sobrecarga na superfície da crista do talude, provenientes das construções próximas ao talude, linha de água subterrânea, à cota 75,50 m, para conhecer a influência de cada elemento na estabilidade global do maciço de solo, e as sondagens não alcançaram o terreno impenetrável à percussão.

O Quadro 5 mostra os parâmetros geotécnicos - coesão (c), ângulo de atrito interno (ϕ) e peso específico (γ) - obtidos por correlações estatísticas com a estratigrafia e o índice de resistência à penetração médio da camada de solo ($N_{méd}$), que são empregados nas análises, uma vez que não se têm dados diretos de ensaios laboratoriais ou de campo das camadas de solo que compõem o perfil litológico do maciço de solo.

Quadro 5 - Parâmetros geotécnicos do solo, em função da correlação estatística com a litologia da camada e do índice de resistência à penetração do solo.

Camada de solo	Litologia	$N_{méd}$	C (kPa)	ϕ (°)	γ (kN/m ³)
1	Argila mole média amarela	11	20	25	17
2	Argila arenosa média branca	8	15	20	15
3	Areia argilosa pouco compacta a medianamente compacta branca	21	10	32	18

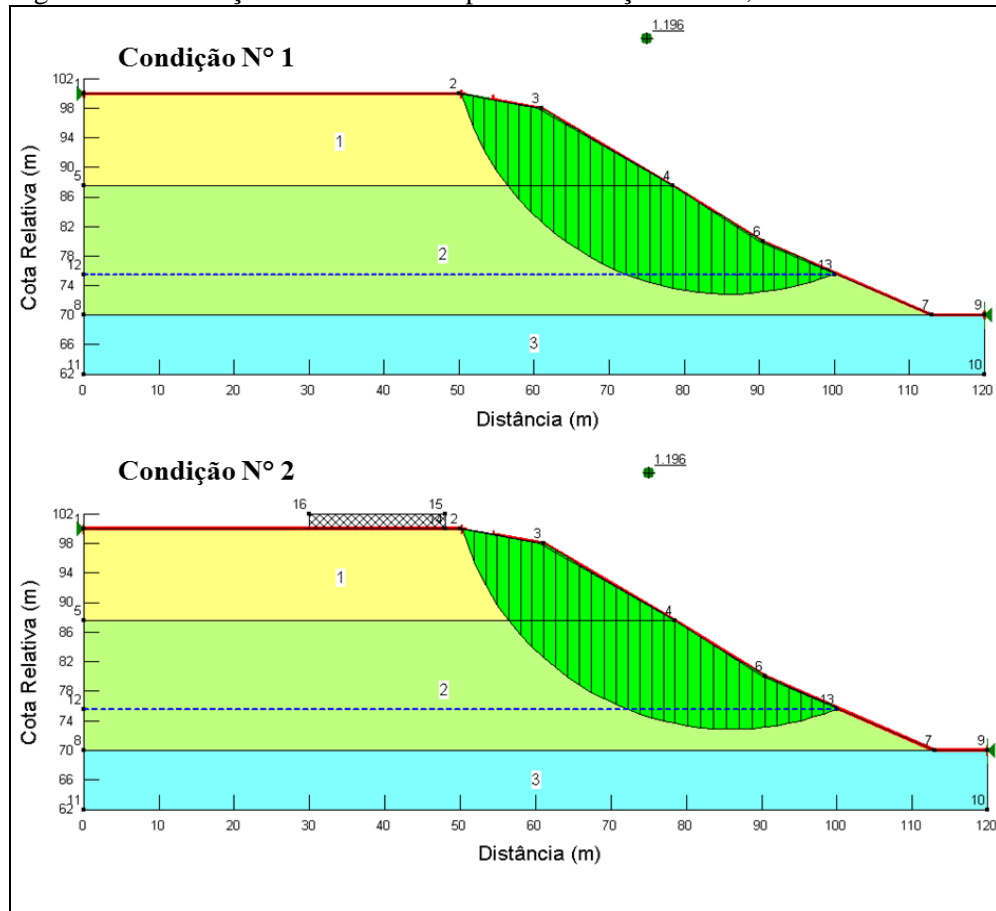
A Tabela 1 mostra que o fator de segurança mínimo (FS_{\min}) encontrado é de 1,077, obtido nas condições de talude com sobrecarga imposta à superfície do terreno de 10 kPa, proveniente das construções próximas existentes. Notou-se que a sobrecarga teve pouca ou nenhuma influência na estabilidade global, uma vez que os coeficientes de segurança foram iguais, com e sem sobrecarga na superfície do terreno. Na Figura 57, pode-se perceber que a superfície de ruptura crítica é profunda. Todos os cinco métodos de análise apresentaram coeficiente de segurança ligeiramente superiores a 1,000.

Tabela 1 - Fatores de segurança do talude analisado por diferentes métodos, na sua seção transversal mais íngreme.

Arquivo	Condições de análise do maciço de solo, sobrecargas, obra de contenção, proteção superficial, etc.	Fator de segurança mínimo pelo método				
		Fellenius	Bishop	Janbu	Morgenstern-Price	Spencer
Cana-1	Uma seção, com linha piezométrica (NA), sem sobrecarga na superfície do terreno.	1,078	1,196	1,077	1,193	1,192
Cana-2	Uma seção, com linha piezométrica (NA), com sobrecarga de 10 kPa na superfície do terreno.	1,077	1,195	1,077	1,193	1,192

De acordo com a análise em sua forma atual é um talude que apresenta riscos aos ocupantes do local e arredores, um corpo instável que já ocasionou acidente com inúmeros danos. Sendo necessário, para obter estabilidade satisfatória do maciço, executar obras de recomposição e de contenção do talude, *e.g.*, retaludamento, cortina de estacas justapostas, cortina atarantada. Sendo a obra de retaludamento a mais viável economicamente de se realizar.

Figura 57 - Simulação da Estabilidade para as condições 1 e 2, descrito na Tabela 1.

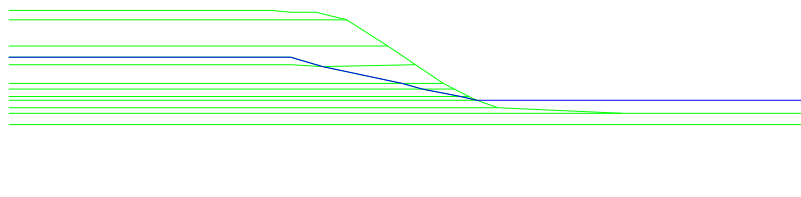


4.2.1.4 Estudo de estabilidade: Caso 2 - Mauazinho

O talude localizado no bairro Mauazinho, com coordenada $-3,1270 / -59,9367$, na orla esquerda do Rio Negro e possui altura variando entre 48 e 52 m. Bem próximo à crista há uma escola estadual e uma torre de alta tensão, ambas impõem à superfície do terreno uma sobrecarga finita de 30 kPa.

A análise de estabilidade do talude foi realizada através do método de Spencer, utilizado o perfil apresentado na Figura 58 e os parâmetros de resistência adotados são apresentados no Quadro 6.

Figura 58 - Perfil utilizado na análise.

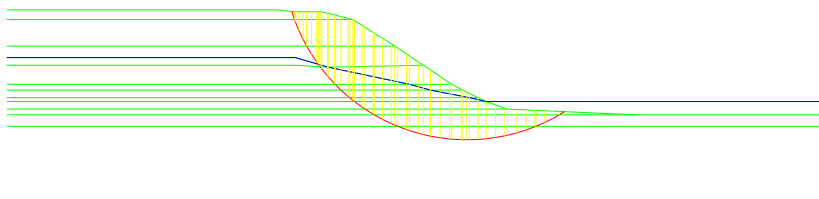


Quadro 6 - Parâmetros de resistência utilizada na análise.

Material	C (tf/m ²)	ϕ (graus)	γ (tf/m ³)
1	2	20	1,6
2	2	35	1,7
3	2	20	1,6
4	0,5	10	1,4
5	2	20	1,6
6	0,5	10	1,4
7	2	20	1,6
8	1,5	25	1,5
9	2,5	40	1,8
10	2,5	40	1,8
11	2	20	1,6
12	1	10	1,4
13	1,5	25	1,5
14	2	20	1,6
15	0,5	10	1,4
16	2	20	1,6

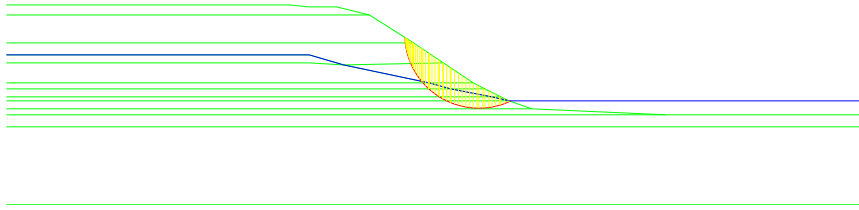
Foram processadas análises estáticas, com busca de superfície crítica global (envolvendo todo o talude) e local (ruptura apenas parcial do maciço). O círculo crítico da verificação de ruptura global apresentou um Fator de Segurança muito abaixo do aceitável de FS=0,991, a superfície crítica global pode ser observada na Figura 59.

Figura 59 - Superfície crítica global (FS=0,991)



Para a busca de uma superfície crítica local, o resultado da análise aponta um Fator de Segurança ainda mais baixo de 0,594 (Figura 60). Os coeficientes de segurança encontrados para este talude foram baixos, devida a presença das duas camadas de argila mole, que sofrem a influência direta do rio Negro.

Figura 60 - Superfície crítica para ruptura parcial do maciço (FS=0,594)



As análises indicam uma situação de possível instabilidade da encosta. Os Fatores de Segurança encontrados estão abaixo do patamar recomendável de 1,5.

Desta forma recomenda-se a realização de ensaios laboratoriais de resistência, para o desenvolvimento de uma solução de estabilização (drenagem, cortina atirantada e ou cortina de estacas), para que o talude se mantenha estável.

4.2.2 Zona Sul e Zona Centro-Sul

Área de terrenos inclinados que a partir do aumento de bairros e indústrias desencadeou as áreas de riscos por causa da remoção de vegetação, construções de galpões e desenvolvimento industrial, que acabam tendo consequências de comprometimento da estrutura por conta do progresso das erosões, identificados por rachaduras em paredes, muros e postes tombando. As voçorocas encontradas na zona sul possuem caneluras originadas pelo escoamento superficial vertical por adesão, consequência da ausência da cobertura vegetal, suas encostas são íngremes, descontínuos e com fraturas. Às margens do igarapé do Quarenta, como exemplo, existem moradias indevidas que estão sujeitas ao alagamento e também ao risco de desabamento, (Figura 61).

Figura 61 - Casas no igarapé do Quarenta com risco de alagações e desmoronamentos.



No bairro Presidente Vargas, também chamado Matinha, existe uma área às margens do igarapé, com inúmeras casas sob risco iminente de desabamento. Muitas já foram removidas, mas ainda existem muitas famílias em uma área grande de risco. São casas precárias com moradores. Existe conjunto de residências, com mais ou menos 6 metros de palafitas, construídas unidas umas às outras sendo esse um risco geral (Figura 62).

No bairro Flores (zona Centro Sul) existe encosta íngreme de cerca de 40 metros de altura e declividade, no topo ocorre acúmulo de chuva e isso origina trincas no solo, favorecendo o risco alto de soterramento das casas na porção inferior do barranco.

Figura 62 - Ocupação indevida as margens do igarapé São Raimundo, bairro Presidente Vargas. A conhecida Matinha com suas palafitas sob o risco de desabamentos.



4.2.2.1 Estudo de Estabilidade: Caso 3 - Terminal Pesqueiro – Educandos

Em um talude de aterro, construído para a implantação do Terminal Pesqueiro no bairro Educandos, com coordenada: -3,1462 / -60,0091, foram escolhidas três seções transversais (duas na direção normal ao rio Negro e uma na direção paralela ao rio Negro), para verificar a potencialidade de ruptura do conjunto aterro-macijo de solo de fundação-estrutura, nas duas direções principais.

As três direções foram adotadas em função da geometria crítica (maior altura de aterro) e da sondagem crítica (menores valores de índice de resistência à penetração). Em meio as vinte sondagens de simples conhecimento, escolheu-se a SP-11, por estar próxima à região de maior altura de aterro, e cuja estratigrafia e respectivos índices de resistência à penetração (N_{SPT}) são os mais críticos.

Nas análises foram utilizados dados das três geometrias do talude de aterro (seções S-80m, S-PL1 e SPL-2) e influência da linha piezométrica (NA) – de acordo com enchente e vazante do rio Negro -, além de sobrecargas na superfície do terreno, provenientes de tráfego de equipamentos e do peso próprio da estrutura do terminal, transmitidas ao aterro e macijo de solo de fundação. Para a distância e de cota absoluta foram adotadas as escalas 1:500 (seção 80 m) e 1: 800 (seções S-PL1 e S-PL2), nos eixos das abscissas e das ordenadas, respectivamente, propiciando melhor visualização da família das superfícies de ruptura, sem distorções, uma vez que não se admite que uma superfície de ruptura passe em uma cota inferior ao topo do arenito.

No Quadro 7 são fornecidos os parâmetros geotécnicos - coesão (c), ângulo de atrito interno (ϕ) e peso específico (γ) - obtidos por correlações estatísticas com a estratigrafia e o índice de resistência à penetração médio da camada de solo ($N_{méd}$), empregados nas análises, uma vez que não se têm dados diretos de ensaios laboratoriais ou de campo das camadas de solo que compõem o perfil litológico do macijo de solo. Foi considerada a ocorrência de quatro camadas de solo, a primeira sendo a do aterro compactado, executado pela contratante, e as demais constituídas pelo solo original, presente antes do lançamento do aterro.

Quadro 7 - Parâmetros geotécnicos do solo, em função da correlação estatística com a litologia da camada e do índice de resistência à penetração do solo: SP-11.

Camada de solo	Litologia	$N_{méd}$	c (kPa)	ϕ (°)	γ (kN/m ³)
1	Aterro compactado argilo-arenoso	15 (*)	15	25	20
2	Argila arenosa média laterizada	9	10	15	16
3	Areia argilosa pouco a medianamente compacta	6	8	20	14
4	Areia siltosa pouco a medianamente compacta	13	5	32	20

Nota: Em função de dados de controle tecnológico de compactação do aterro e de inspeção visual, adotou-se o valor de $N_{SPT} = 15$.

A Tabela 2 mostra as diferentes simulações realizadas em função da geometria da seção, do carregamento no piso do terminal e na rampa de acesso, e, em adição, da linha piezométrica provocada pelo rio Negro. O fator de segurança mínimo ($F_{s_{mín}}$) encontrado é de 1,673, na 3ª condição analisada, na Seção S-80 m, considerando-se a influência da linha piezométrica (NA) e da sobrecarga de 20 kPa na superfície do terreno. Esses coeficientes de segurança são superiores ao mínimo desejável, que é 1,500.

Em uma primeira análise, observa-se que existe estabilidade dos taludes do aterro compactado, juntamente com o maciço de solo de fundação, sob a influência do carregamento imposto pela construção do Terminal, aliado ainda ao ciclo de vazante e enchentes do rio Negro permitindo concluir que o conjunto aterro-maciço de solo-estrutura se encontra estável, sob a ação das solicitações. Entretanto, deve-se atentar:

- Aterro: por mais que seja bem compactado, está sujeito, com o passar do tempo, às interações internas de suas partículas sólidas com as fases líquida e gasosa, presentes entre seus vazios, fazendo com que haja uma deformação do esqueleto sólido e, conseqüentemente, de todo o conjunto que está embutido ou assentado no corpo do aterro.

- Aterro em tela: ficará sujeito à influência do ciclo de vazante e cheia do rio Negro. Na vazante, o solo encontra-se saturado, e, se apresentar a ocorrência de material argiloso, como é no caso do aterro e de algumas camadas do terreno natural, sua permeabilidade é baixa, e, deste modo, não possuindo mais o empuxo da água agindo contra o talude do aterro, o fluxo de água subterrâneo, alimentando o rio Negro, agindo no sentido do aterro para o rio, favorece, então, a redução da tensão efetiva no interior do solo e da sua resistência ao cisalhamento, podendo, induzir à ruptura do conjunto aterro-maciço de solo-estrutura, chamado de “terras caídas”.

- Geologia: No rio Negro, ocorre uma falha geológica, um “graben”, que pode influir na estabilidade do conjunto em análise. Essa depressão de origem tectônica, geralmente com a forma de um vale alongado com fundo plano, formado do afundamento relativo de um bloco, gerando uma estrutura que se distingue dos vales de origem erosiva, pela presença de escarpas de falha em ambos os lados da zona deprimida. Deve-se lembrar das rupturas catastróficas dos portos do Pedrão, da Equatorial e do Passarão, com perdas materiais significativas e de vidas humanas, sendo necessário tomar algumas precauções, para se evitar problemas futuros.

Tabela 2 - Fatores de segurança dos taludes analisados por diferentes métodos, nas seções transversais normal (S-PL1 e S-PL2) e longitudinal (S-80 m), para diversas condições de geometria de seção, linha piezométrica e sobrecargas, na implantação do Terminal Pesqueiro de Manaus.

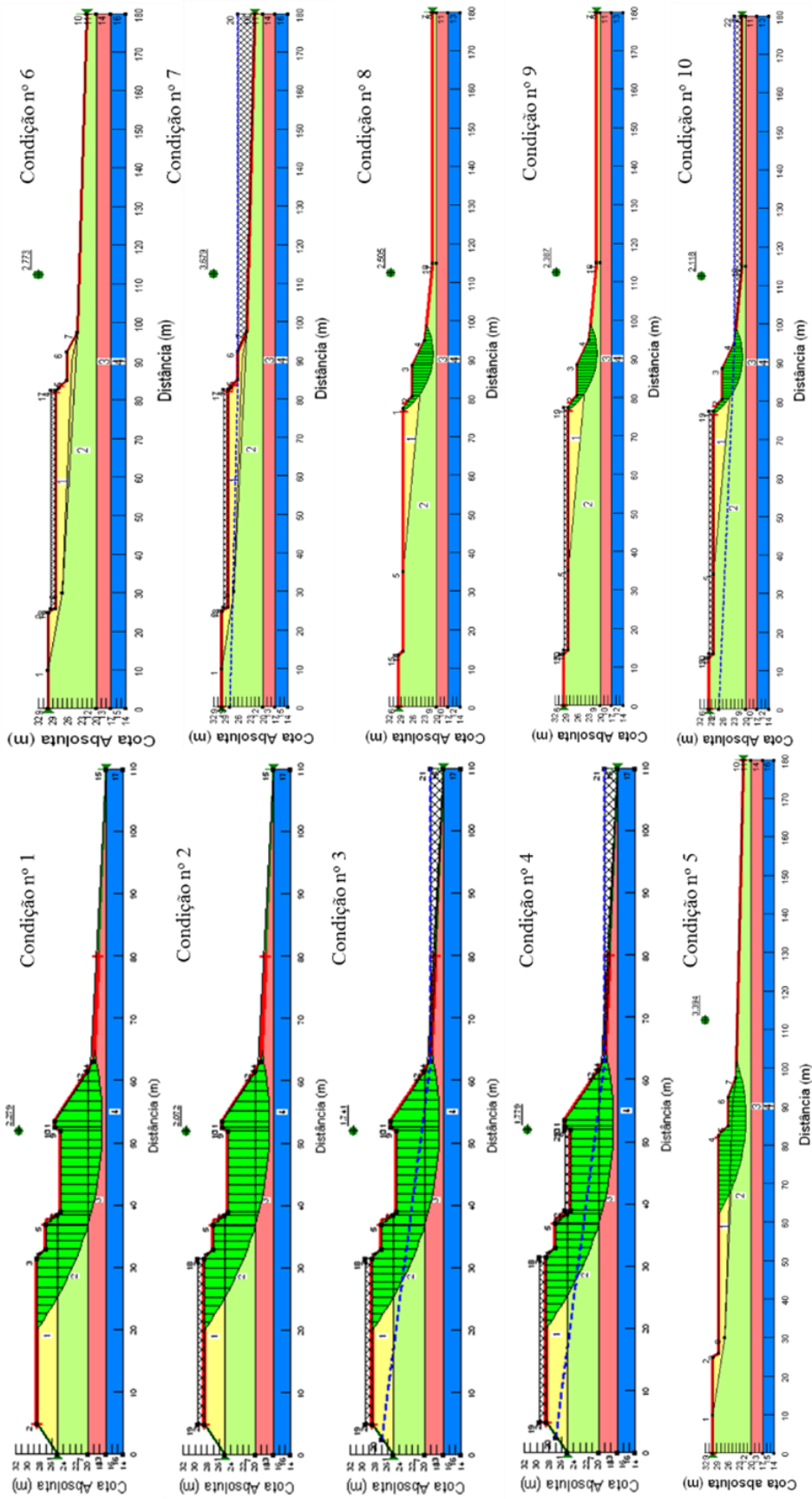
Arquivo	Condições de análise do maciço de solo, sobrecargas, linha piezométrica, alteamento do aterro, interferências, etc.	Fator de segurança mínimo pelo método				
		Fellenius	Bishop	Janbu	Morgenstern-Price	Spencer
Erin1	Seção S-80 m, sem linha piezométrica (NA), sem sobrecarga na superfície do terreno	2,211	2,271	2,187	2,279	2,277
Erin2	Seção S-80 m, sem linha piezométrica (NA), com sobrecarga de 20 kPa na superfície do terreno	2,001	2,064	1,980	2,072	2,069
Erin3	Seção S-80 m, com linha piezométrica (NA), com sobrecarga de 20 kPa na superfície do terreno	1,677	1,734	1,673	1,741	1,739
Erin3A	Seção S-80 m, com linha piezométrica (NA), com sobrecarga de 20 kPa na superfície do terreno, no piso do Terminal e na rampa de acesso	1,717	1,773	1,710	1,779	1,778
Erin4	Seção S-PL1, sem linha piezométrica (NA), sem sobrecarga na superfície do terreno	3,319	3,395	3,314	3,394	3,393
Erin5	Seção S-PL1, sem linha piezométrica (NA), com sobrecarga de 20 kPa na superfície do terreno	2,687	2,800	2,503	2,773	2,773
Erin6	Seção S-PL1, com linha piezométrica (NA), com sobrecarga de 20 kPa na superfície do terreno	3,608	3,698	3,402	3,679	3,679
Erin7	Seção S-PL2, sem linha piezométrica (NA), sem sobrecarga na superfície do terreno	2,407	2,509	2,375	2,505	2,504
Erin8	Seção S-PL2, sem linha piezométrica (NA), com sobrecarga de 20 kPa na superfície do terreno	2,280	2,396	2,234	2,389	2,387
Erin9	Seção S-PL2, com linha piezométrica (NA), com sobrecarga de 20 kPa na superfície do terreno	2,018	2,123	2,000	2,118	2,116

Com as diferentes simulações, para as três seções de estudo, em função da geometria da seção, do carregamento no piso do terminal e na rampa de acesso, e, em adição, da linha piezométrica provocada pelo rio Negro, nos regimes de vazante e de enchente, (Figura 63).

Mesmo sendo os resultados positivos para a estabilidade, para garantia de segurança, é necessário dividir em itens:

- Confinar o aterro em todo seu perímetro, notadamente nas laterais e na porção frontal ao rio Negro, através da construção de muro de arrimo estaqueado ou contenção similar, que garanta a não deformação lateral do aterro;
- Realizar o travamento dos blocos dos pilares nas direções normal e paralela ao rio Negro, a fim de garantir que não haja recalque diferencial significativo, na supra-estrutura do terminal;
- Construir o piso do Terminal em laje armada, com tela tipo telcon ou similar, a fim de absorver deformações verticais e horizontais em uma forma segura, uma vez que haverá fluxo de transeuntes e possivelmente de veículos, além do peso próprio de equipamentos, estandes, etc.;
- Proceder ao estaqueamento da rampa de acesso, uma vez que as sondagens SP-1 a SP-5, realizadas no seu futuro eixo, indicam a presença de camada de argila mole, e, pelo fato de que estará submetida a tráfego pesado, poderão ocorrer recalques indesejáveis e, permitindo a distribuição de esforços a profundidade, garantindo a segurança do uso adequado da rampa.

Figura 63 - Simulação da Estabilidade de talude para a condição no 1 - 10 descrito na Tabela 2.



4.2.2.2 Ensaio de caracterização do solo e Sondagens à Percussão: Caso 4 - Colônia Oliveira Machado

A coleta de solo indeformado para realizar ensaios de laboratório e as sondagens à percussão foram realizadas em terreno limítrofe com a orla fluvial do rio Negro, elevação de 52 m, localizado na coordenada: -3.1489151 / -60.0044759.

4.2.2.2.1 Sondagem à Percussão

Foram realizadas as sondagens SP-1 e SP-2, executadas às profundidades de 34,10 m e 8 m. A sondagem SP-1 atingiu o impenetrável à percussão, enquanto o nível de água subterrâneo (NA) fora encontrado a 23,50 m e 3,80 m, abaixo do nível do terreno, nas sondagens SP-1 e SP-2, respectivamente.

4.2.2.2.2 Ensaio de caracterização em solo

Na Tabela 3 são fornecidos os parâmetros geotécnicos - coesão (c), ângulo de atrito interno (ϕ ($^\circ$)) e peso específico (γ (kN/m^3)), obtidos por ensaios laboratoriais em amostras indeformadas de solo (1ª camada), e por correlações estatísticas com a estratigrafia, e o índice de resistência à penetração médio da camada de solo ($N_{\text{méd}}$), para as demais camadas – constantes em bibliografia nacional (CAMPELO et al., 2001) e estrangeira, e empregados nas análises.

Tabela 3 - Parâmetros geotécnicos do solo, referentes às seções S-1 a S-5, aliadas às sondagens SP-1 e SP-2, em função de resultados de ensaios laboratoriais e por correlação estatística com a litologia da camada e do índice de resistência à penetração do solo.

Camada de solo	Litologia	$N_{\text{méd}}$	c (kPa)	ϕ ($^\circ$)	γ (kN/m^3)
1	Argila arenosa vermelha	16	34	35	18
2	Areia argilosa vermelha	8	10	28	16
3	Argila arenosa vermelha	19	40	36	19
4	Areia argilosa rósea	19	30	40	20
5	Argila arenosa amarela (Aterro)	2	10	10	14
6	Arenito Manaus (Topo rochoso)	--	1000	40	22

Fonte: Dados da pesquisa.

A fim de se determinar as propriedades geotécnicas do maciço de solo, coletaram-se quatro amostras deformadas e indeformadas, até a profundidade de 5,45 m, conforme descrito no Capítulo 3. A intenção inicial era a de se coletar as amostras nas profundidades de 1,5 m a

4,5 m, contudo, dada a existência de uma camada de concreção laterítica de elevada espessura, as profundidades foram alteradas, segundo o Quadro 8, abaixo.

Quadro 8 – Propriedade de coleta de amostras deformadas e indeformadas de solo.

Amostra n^o	Profundidade De coleta Original (m)	Profundidade de coleta real (m)	N_{SPT} (golpes / 30 cm)
1	1,0 a 1,3	1,0 a 1,3	19
2	2,0 a 2,3	2,0 a 2,3	10
3	3,0 a 3,3	4,0 a 4,3	11
4	4,0 a 4,3	5,0 a 5,3	17

Fonte: Dados da pesquisa.

No laboratório de pavimentação - UFAM, foram preparadas quatro amostras de solos e realizados os seguintes ensaios: granulometria; limites de liquidez e de plasticidade; compressão simples, cisalhamento direto e compressão triaxial.

Os resultados das amostras 1 e 2 apresentaram distribuições granulométricas semelhantes, com uma pequena diferença de teores de argila e areia. A amostra 1 apresenta uma porcentagem de argila maior que a amostra 2. Os dados das amostras 3 e 4 apresentam um elevado teor de areia (em torno de 73% na curva granulométrica), porém com subdivisões que refletem em algumas características (Figura 64).

Outra diferença repousa nos índices de plasticidade das amostras 1 e 2, a primeira embora com um maior teor de argila, apresenta um IP mais baixo em relação à segunda amostra. A amostra 3 apresenta uma quantidade de areia média e grossa que somam 54% da amostra, contudo com poucos finos para preencher esses vazios à resistência à compressão vale 7,44 kPa, enquanto que na amostra 4 a quantidade de areia média e grossa somam 48%, além de a amostra 4 possuir levemente uma quantidade de argila maior (Figura 65).

Figura 64 - Curva Granulométrica, amostras 1, 2, 3 e 4.

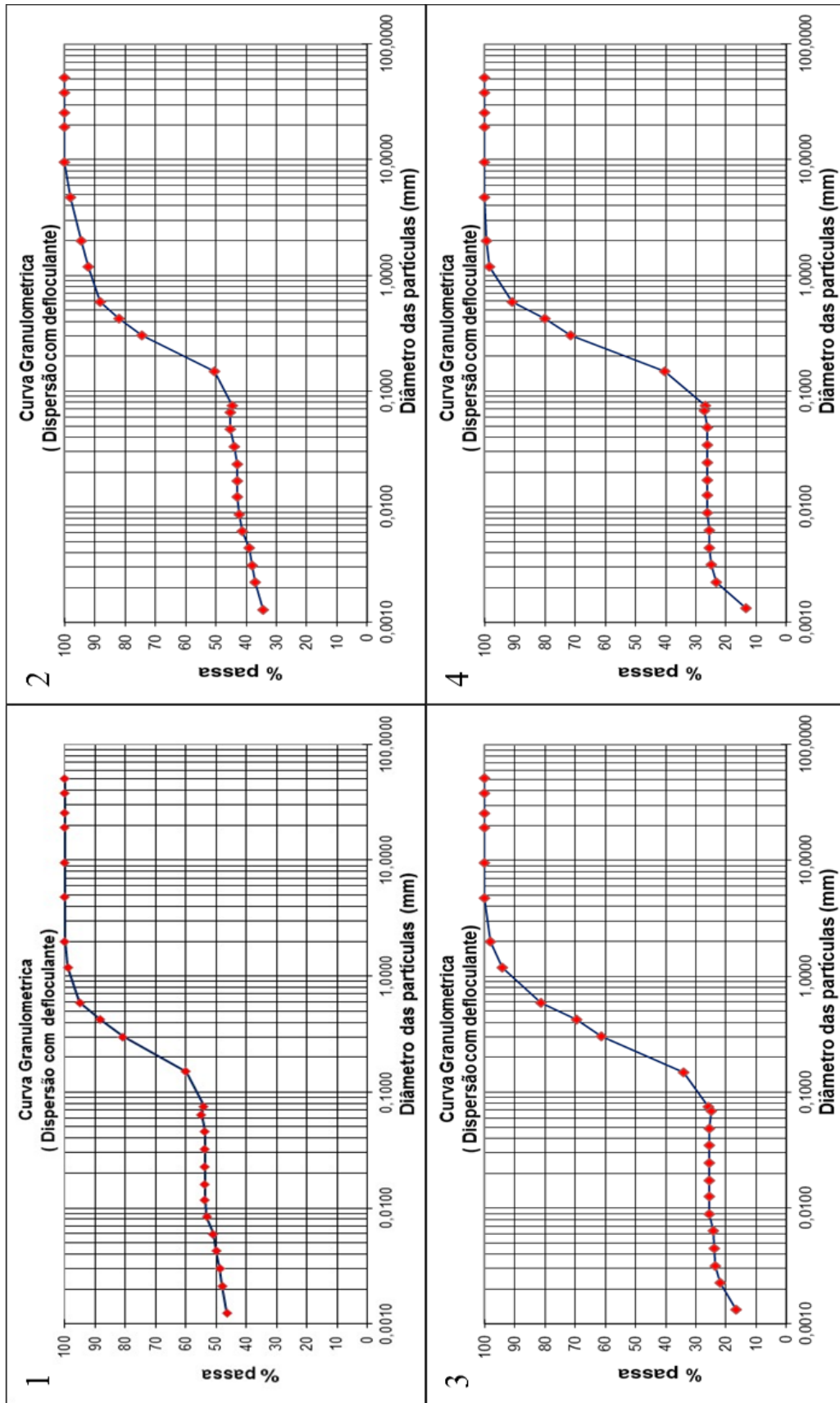
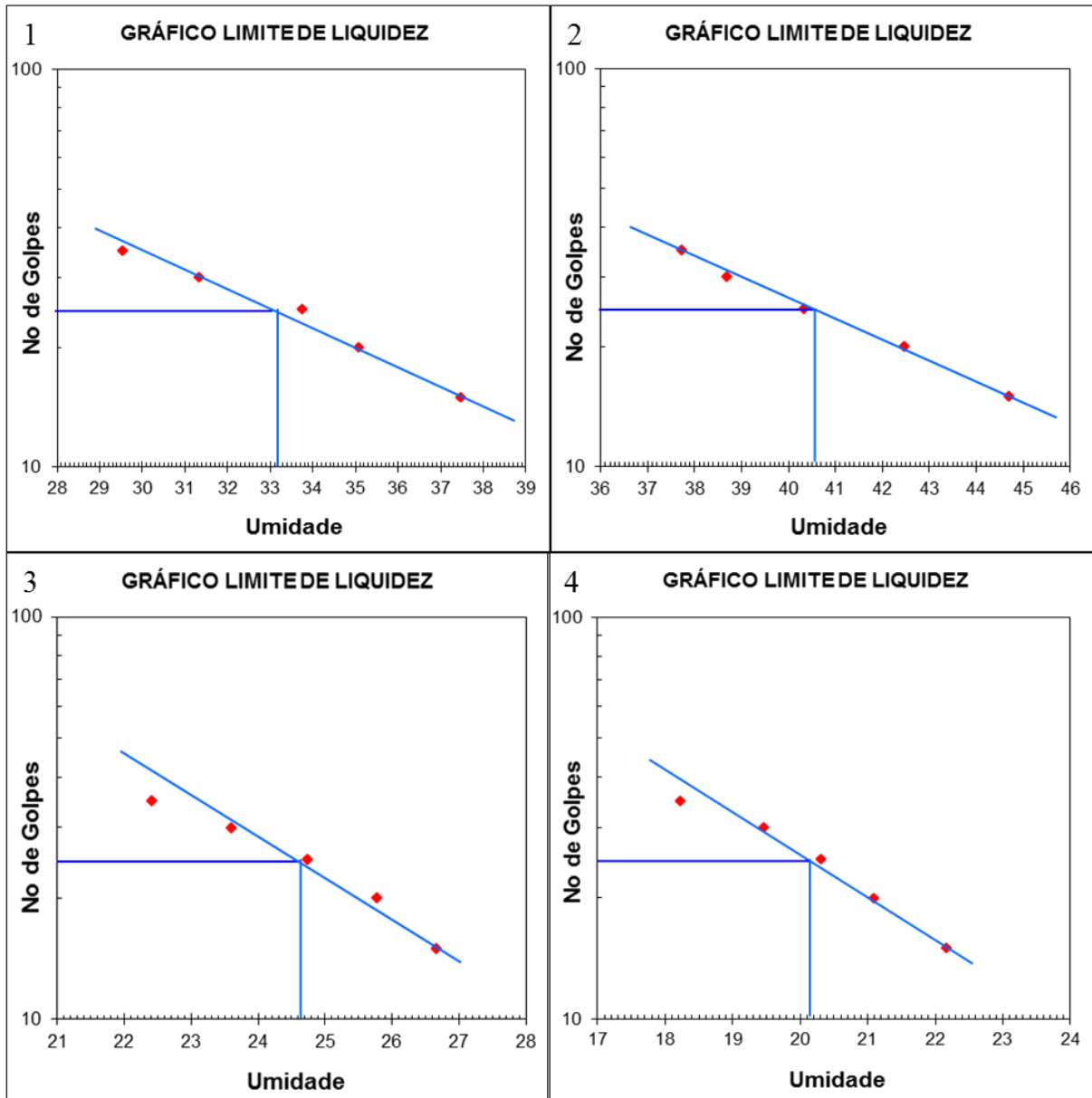
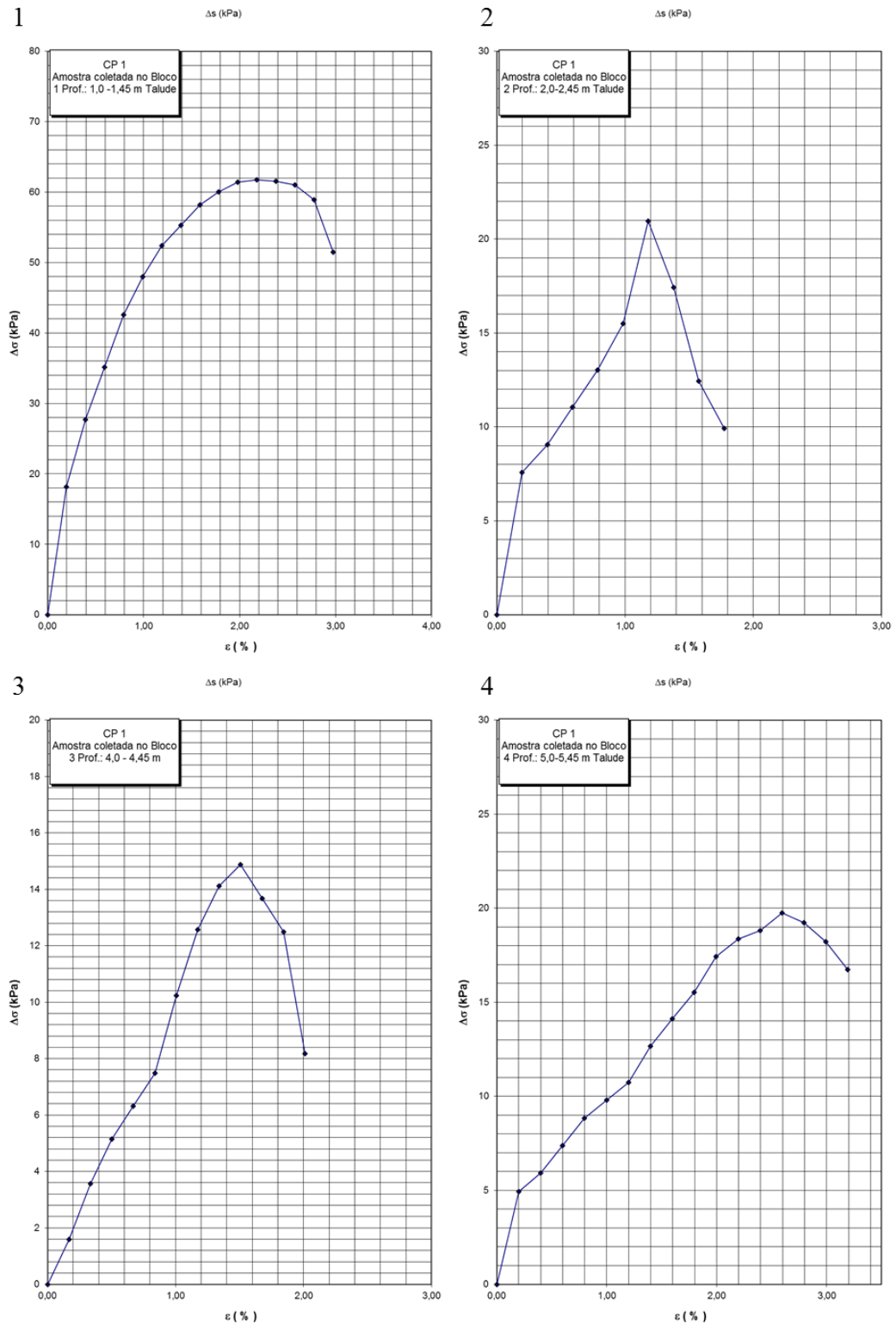


Figura 65 - Ensaio do limite de liquidez, amostras 1, 2, 3 e 4.



A resistência à compressão simples da amostra 1 foi maior do que a resistência à compressão simples da amostra 2, isso se deve ao fato das porcentagens de argila e areia estarem numa faixa que garantem uma melhor combinação entre as frações na amostra 1. Ao analisar a amostra 2, em relação à amostra 1, ela apresenta menos argila e mais areia, ou seja, o índice de vazios será maior e o contato entre os grãos também. Sendo isso, a resistência à compressão tende a diminuir. A amostra 4 apresentou maior resistência à compressão, quando comparada com a amostra 3, além de um menor coeficiente de permeabilidade para amostra 4 quando comparada com a amostra 3 (Figura 66).

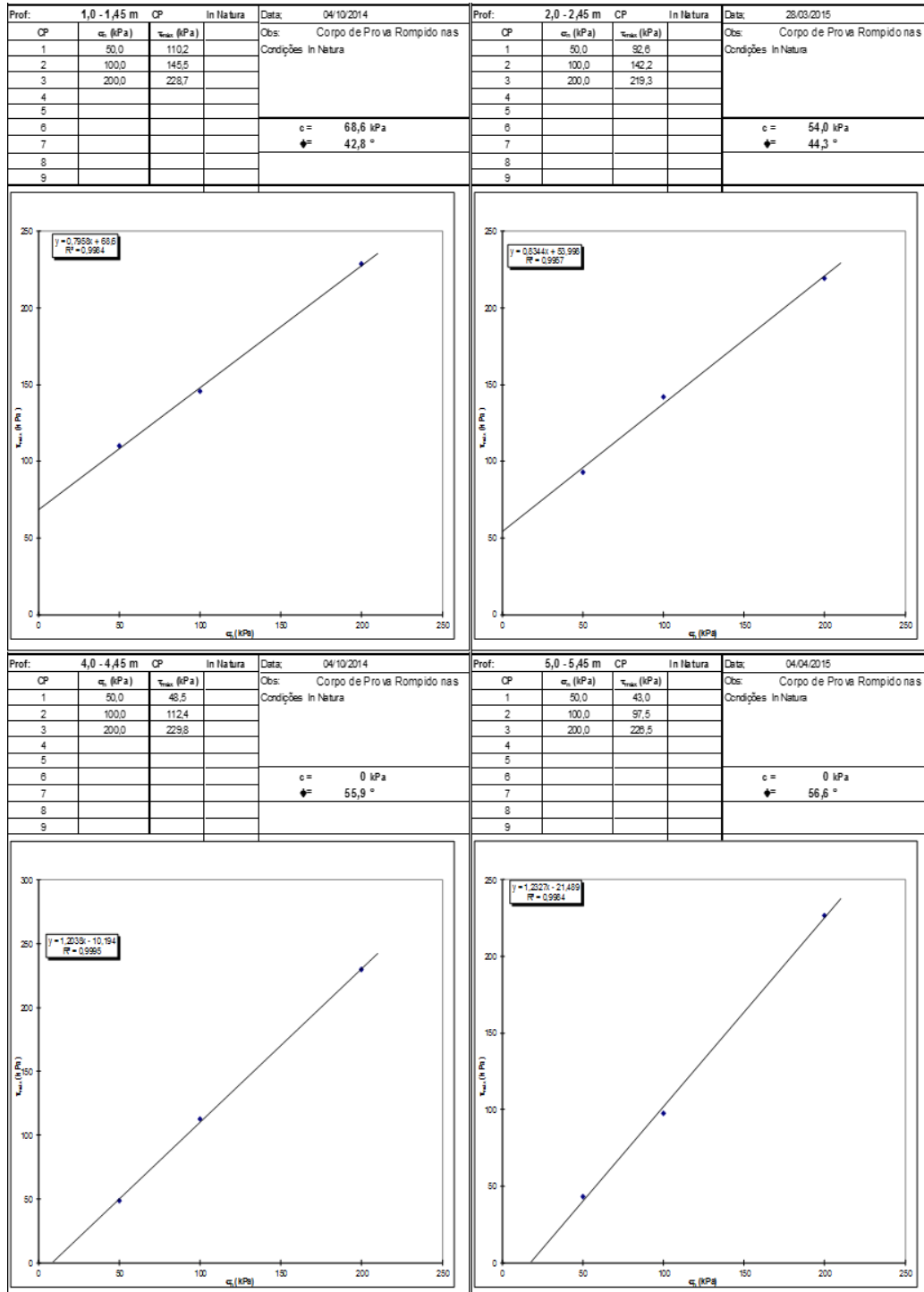
Figura 66 - Ensaio da compressão simples, amostras 1, 2, 3 e 4.



Com o aumento do teor de argila, a coesão determinada pelo ensaio de cisalhamento direto tende a ser maior. Outra implicação de um maior teor de argila é um baixo coeficiente de permeabilidade, o que se verifica também na amostra 1 quando comparada com a amostra

2. Como a fração areia é predominante nas amostras 3 e 4, ambas apresentam coesão nula (Figura 67).

Figura 67 - Ensaio do cisalhamento direto, amostras 1, 2, 3 e 4.



A partir dos resultados desses ensaios e da experiência com o solo local, aplicando-se a tabela apresentada por Campelo et al. (2001), foram determinados os parâmetros de resistência das camadas do solo, em função da sua classificação granulométrica e com o N_{SPT} ,

metro a metro. Avaliando-se o maciço em solo estável, este apresenta alguns pontos localizados vulneráveis à ruptura superficial, sendo necessário um projeto de pequenas contenções - em gabião ou *rip-rap* (preenchido com mistura de solo-cimento) -, drenagem de águas pluviais e recuperação da cobertura vegetal, no perímetro envolvendo a oficina mecânica e parte do galpão da fábrica. (Quadro 9).

Quadro 9 - Parâmetros de resistência dos ensaios utilizados.

Amostras n°	Parâmetros de Resistência				Peso Específico
	Cisalhamento Direto		Compressão Simples		
	c (kPa)	ϕ (°)	c (kPa)	ϕ (°)	(kN/m ³)
1	68,6	42,8	30,88	0,62	17,83
2	54	44,3	10,48	0,21	17,43
3	0	55,9	7,44	0,15	18,71
4	0	56,6	9,87	0,20	18,86

4.2.3 Zona Oeste e Zona Centro-Oeste

Áreas de muitos igarapés e construções planejadas, mostrando que até com planejamento pode sim existir risco, através da ação antrópica já tão falada no decorrer dos resultados, com o mau uso da infraestrutura urbana valendo para todas as zonas administrativas da cidade e a influência geomorfológica do terreno. Também nestas áreas se tem as comunidades, invasões e moradias inapropriadas, ao longo dos canais, nas encostas e nos fundos de vale, sempre ou parcialmente encharcados que predomina a erodibilidade dos terrenos, e onde os mais pobres constroem suas casas, tornando esses locais um risco para suas vidas.

Na porção Norte da zona Oeste se tem o bairro Lagoa Azul, onde pode se encontrar casas próximas a taludes cortados e até em processo de erosão, nas planícies de inundações, local com casos de deslizamentos e enchentes.

Ao Sul da zona Oeste cita-se o Escadão da Compensa, que nas suas proximidades por anos acolheu a comunidade "Meu Bem Meu Mal", com moradias que ocupam encosta, um local de alta declividade e concentração natural das águas pluviais. Localizado às margens do rio Negro e em algumas partes adentrando o rio, muito afetado pela erosão hídrica, motivo grave para inviabilizar a moradia no local (Figura 68).

Existe um processo de remoção de todos os moradores daquele local, apenas uma parte já foi retirada e reestruturada. O talude é sustentado por lente de arenito, sobreposta por horizonte areno-argiloso inconsolidado, condicionando ao processo erosivo.

Figura 68 - Ocupação indevida às margens do Rio Negro. Comunidade “Meu Bem Meu Mal” A sob o risco de desabamentos, enchentes, sem estrutura de moradia.



O bairro Alvorada, zona centro oeste, é um local de risco associado a inundações nos vales e igarapés, com casas em taludes verticais com alto risco de deslizamento e drenagem doméstica precária. Entre os bairros Redenção e Alvorada, existe um talude íngreme e instável, no topo tem uma tubulação precária com vazamentos oferece risco de deslizamento que pode afetar as moradias.

4.2.3.1 Estudo de Estabilidade: Caso 5 - Estaleiro Rio Negro

No Estaleiro Rio Negro, no bairro do São Raimundo com coordenada: -3,1066 / -60,0678, há a ocorrência de diversos taludes de corte com alturas variando de 15 m a 25 m, sem a concepção original de execução de banquetas, em um ou vários níveis intermediários,

com intuito de garantir melhor estabilidade geotécnica e drenagem superficial de águas que porventura escoem no entorno dessa região. Com efeito, a presença de material arenoso, a elevadíssima inclinação dos taludes, variando de 43° a 57°, aliadas à ausência de drenagem de águas superficiais, induziram ao deslizamento superficial e profundo de uma certa massa de solo, o qual, se não forem tomadas medidas de recuperação, certamente evoluirá para o deslizamento de uma quantidade maior de maciço de solo, uma vez que a tendência é de que as superfícies de ruptura sejam cada vez mais profundas.

As análises efetuadas em três seções transversais do talude, que passa próximo às sondagens SP-1, SP-2 e SP-3, em diversas alturas e inclinações, determinando os valores dos fatores ou coeficientes de segurança globais mínimos, lembrando que um fator de segurança mínimo (FS_{\min}) de 1,50 é desejável (um mínimo de 1,30 é aceitável). Nas simulações, considerou-se a existência de uma sobrecarga de 10 kPa na superfície da crista do talude, provenientes das construções próximas ao mesmo e não foi encontrada linha de água subterrânea, nas referidas sondagens, desconsiderando a linha piezométrica (NA). Todas as sondagens alcançaram o impenetrável à percussão, em cotas diferentes.

Nos Quadros 10, 11 e 12 são fornecidos os parâmetros geotécnicos - coesão (c), ângulo de atrito interno (ϕ) e peso específico (γ) - obtidos por correlações estatísticas com a estratigrafia e o índice de resistência à penetração médio da camada de solo ($N_{\text{méd}}$), empregados nas análises, para as seções das sondagens SP-1, SP-2 e SP-3, uma vez que não se têm dados diretos de ensaios laboratoriais ou de campo das camadas de solo que compõem o perfil litológico do maciço de solo.

Quadro 10 - Parâmetros geotécnicos do solo, em função da correlação estatística com a litologia da camada e do índice de resistência à penetração do solo: SP-1..

Camada de solo	Litologia	$N_{\text{méd}}$	c (kPa)	ϕ (°)	γ (kN/m ³)
1	Argila arenosa vermelha média a rija	7	25	28	16
2	Areia agilosa vermelha medianamente a compacta	13	15	32	18
3	Argila rósea mole a média	6	25	20	16
4	Areia argilosa vermelha medianamente compacta	15	15	35	18

Quadro 11 - Parâmetros índice de resistência à penetração geotécnicos do solo, em função da correlação estatística com a litologia da camada e do do solo: SP-2.

Camada de solo	Litologia	$N_{méd}$	c (kPa)	ϕ (°)	γ (kN/m ³)
1	Argila arenosa vermelha média a rija	8	25	28	16
2	Areia agilosa vermelha medianamente a compacta	10	15	32	18
3	Areia argilosa rósea med. compacta a compacta	14	20	35	18

Quadro 12 - Parâmetros geotécnicos do solo, em função da correlação estatística com a litologia da camada e do índice de resistência à penetração do solo: SP-3.

Camada de solo	Litologia	$N_{méd}$	c (kPa)	ϕ (°)	γ (kN/m ³)
1	Argila arenosa vermelha média a rija	4	15	15	14
2	Argila arenosa laterizada vermelha rija	16	30	30	18
3	Argila arenosa rósea mole a rija	9	20	25	16
4	Areia argilosa rósea méd. compacta a compacta	10	20	35	18
5	Argila arenosa rósea mole a rija	8	20	25	15

A Tabela 4 mostra que o fator de segurança mínimo ($FS_{mín}$) encontrado é de 0,967, obtido na análise da seção passando pela SP-1, os taludes nas seções SP-1 e SP-2 mostram-se instáveis, pelos problemas de altura e inclinação elevados, sem adequada construção de banquetas de equilíbrio, nem de drenagem de águas superficiais (Figura 69). Como agravante, a presença de material arenoso ao longo do perfil, contribuíram para a ruptura de uma certa massa de solo. O talude da seção passando pela SP-3 mostra-se estável, dada sua menor altura e inclinação mais suave, mas a evolução da erosão provocada pelo escoamento d'água, induz à sua instabilização.

Para estabilizar os taludes, faz-se necessário o retaludamento da seção transversal 3 dos taludes, prevendo-se a construção de banquetas de corte, em um ou mais níveis, ao longo da altura do talude, com a coleta e condução da água superficial em uma forma eficiente, inclusive com a proteção superficial do talude, por gramíneas, sendo essa uma solução economicamente viável, mas necessitando de área livre para se fazer os cortes dos taludes, tornando-os mais suaves.

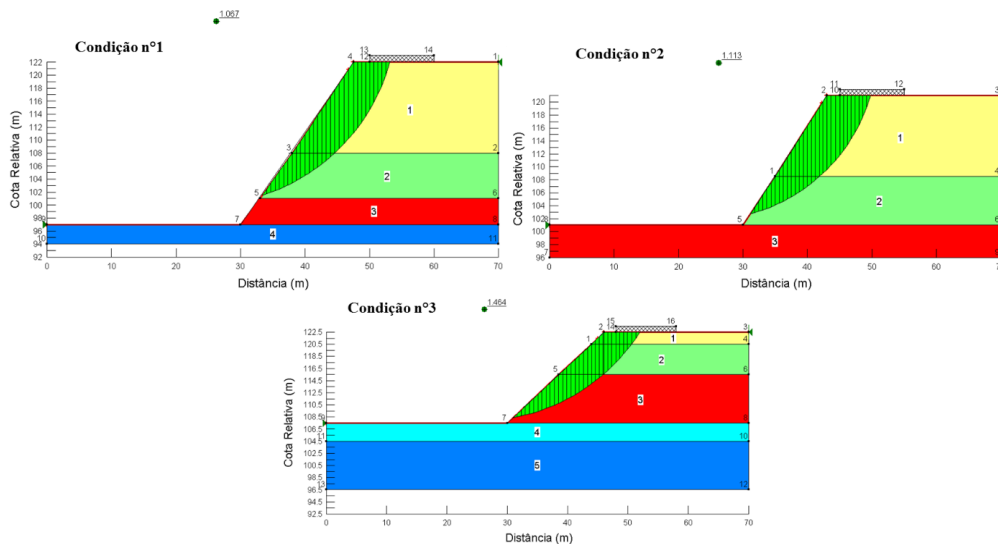
Tabela 4 - Fatores de segurança dos taludes analisados por diferentes métodos, nas seções transversais passando pelas sondagens SP-1, SP-2 e SP-3.

Arquivo	Condições de análise do maciço de solo, sobrecargas, obra de contenção, proteção superficial, etc.	Fator de segurança mínimo pelo método				
		Morgenstern-Price	Fellenius	Bishop	Janbu	Spencer
Erin-1	Uma seção, sem linha piezométrica (NA), com sobrecarga de 10 kPa na superfície do terreno	1,000	0,967	1,014	0,986	1,071
Erin-2	Uma seção, sem linha piezométrica (NA), com sobrecarga de 10 kPa na superfície do terreno	1,114	1,091	1,113	1,090	1,117
Erin-3	Uma seção, sem linha piezométrica (NA), com sobrecarga de 10 kPa na superfície do terreno	1,460	1,437	1,464	1,431	1,460

O uso de geossintético, para se recompor o material erodido, através da construção de aterro reforçado, possui custo intermediário. A construção de muro de flexão (concreto armado), recompondo uma certa quantidade de material erodido ou uso de solo reforçado por chumbadores (solo “grampeado”), espaçados em distâncias apropriadas, sendo soluções onerosas.

É imprescindível, para todas as soluções descritas, a construção de sistema de drenagem superficial e/ou profunda das águas, a fim de que as mesmas não erodam a superfície do talude, infiltrando-se no seu interior e provocando e/ou agravando sua instabilização.

Figura 69 - Simulação da Estabilidade de talude para a condição nas camadas 1 - 3 descrito na Tabela 4.



4.2.4 Soluções para as áreas de estudo

De uma maneira geral, percebeu-se que os maciços de solo, na sua geometria original, mantêm estabilidade geotécnica, entretanto, dada as ações humanas na ocupação desordenada local, há uma deterioração vagarosa dos taludes, até a ocorrência dos deslizamentos e prosseguimento do processo erosivo, até o voçorocamento.

O Quadro 13 mostra as distintas soluções que poderiam ser aplicadas nas áreas de estudo descritos e também outros locais na cidade. Todavia, deve-se ter em mente que, dada a ação antrópica no início ou na aceleração do processo de voçorocamento, é lícito se afirmar que as áreas encontram-se ocupadas por moradias irregulares. Nesse caso, a ação mais econômica seria a desapropriação das moradias e fixação dos moradores em áreas apropriadas para habitação de interesse social. Sendo possível a remoção, o retaludamento passaria a ser a opção mais viável economicamente se houver suficiente espaço na crista dos taludes, para a intervenção.

Deve-se ressaltar que, qualquer que seja a solução adotada, a obra de contenção deverá permitir a dissipação das poro-pressão do interior do maciço (drenagem subterrânea), além do projeto de um sistema eficiente de drenagem de águas pluviais superficiais e a proteção antierosiva por cobertura vegetal ou artificial.

Contudo, quando na área não se prevê a remoção de moradores do local de risco, então, há um “estrangulamento” na escolha das alternativas/soluções de obras de contenção, e, infelizmente, as mais rápidas e baratas são “descartadas” nesse “afunilamento”. Então, via de regra, as soluções seriam solo grampeado, cortina atirantada, cortina de estacas tangente ou secante, etc.

Por esse motivo, em áreas irregularmente habitadas, de grandes declividades, o mais sensato seria a remoção da população local para áreas mais adequadas, deixando o terreno livre para a intervenção a ser levada a cabo por soluções mais simples, rápidas e baratas, como, por exemplo, o retaludamento. Esses serviços permitiriam, por exemplo, a construção de parques ou, até mesmo, a transformação do local em Área de Preservação Permanente (APP).

Quadro 13 - Soluções aplicadas em áreas de Manaus.

Técnica Construtiva	Indicações	Vantagens	Desvantagens	Local da Obra de Contenção (LCO) *
Proteção Superficial por cobertura vegetal (natural) ou artificial	Talude estável, necessitando, apenas, de proteção antierosiva.	Execução simples, rápida e barata.	Praticamente, não há.	01, 10, 11, 15, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 27, 28
Retaludamento	Aumento do fator de segurança (FS) pelo alívio de sobrecarga	Execução simples, rápida e barata; Basicamente, realizado por operações de corte e aterro.	Requer área disponível na crista do talude.	1, 12, 15, 16
Rip-Rap (Solo-cimento ensacado)	Taludes de baixa altura (até 3m)	Execuções simples, rápida e barata; Não Requer mão-de-obra especializada.	Não oferece boa drenagem interna do maciço de solo, mesmo com uso de barbacãs.	28
Solo Reforçado por Geogrelhas	Taludes sem limites de altura	Execução simples e rápida; Não requer mão-de-obra especializada.	Material de reforço é importado de outros centros do país.	3, 4, 5, 14, 15, 19, 22, 23, 26
Muro de Gabião	Taludes com até 8 m de altura	Execução simples e rápida;	Boa drenagem interna do maciço de solo, sem necessidade de barbacãs.	12, 22, 23, 28, 26
Muro de Concreto Armado (com ou sem Contraformes)	Taludes com até 10 m de altura	Seção transversal relativamente esbelta, em relação os muros de gravidade.	Execução lenta e onerosa; Mão-de-obra especializada.	11, 14, 19, 22, 23, 27
Cortinas de estacas	Taludes com até 10 m de altura	execução em áreas limitadas ou de difícil acesso.	Execução lenta e onerosa; Mão-de-obra especializada.	2, 7, 8, 13, 14, 16, 20
Solo Grampeados	Taludes sem limites de altura	Execução simples e rápida; Execução em áreas limitadas ou de difícil acesso; Quando comparada com a cortina atirantada, é bem menos onerosa.	Mão-de-obra especializada.	12, 15, 19, 20, 22, 23, 24, 25
Cortina Atirantada	Taludes sem limites de altura	execução em áreas limitadas ou de difícil acesso.	Execução lenta e onerosa; Mão-de-obra especializada.	4, 2, 6, 9, 10, 13, 15, 16, 17, 19, 20, 26

(*) Distribuição na Carta de Estudo dos Movimentos de Massa (Figura 42).

4.3 Análise Temporal de Inundação na Área Urbana de Manaus

A elevação dos níveis de um curso d'água, seja de pequena ou de grande dimensão, pode causar as inundações. Qualquer rio pode ter ocorrência de enchente, sendo um fenômeno natural que ocorre nos cursos de água em regiões urbanas e rurais, têm sua área natural de inundação que não é, necessariamente, sinônimo de catástrofe.

Mas, ultrapassado os limites das condições naturais ao meio que ocupa, o homem cria o problema, área inundável que não apresenta uma ocupação adequada às construções de residências nas áreas ribeirinhas e, com isso, as inundações passam a ser um problema social, econômico e ambiental e, por consequência, tem-se o evento catastrófico.

No caso específico de Manaus e seus entornos, as cheias ocorrem por contribuições dos rios Solimões, Amazonas e Negro e seus afluentes, no período de março a julho, alcançando sua máxima entre os meses de junho e julho. Esse fenômeno possui longo tempo de percurso, devido ao tamanho da bacia hidrográfica e pela pequena declividade observada em alguns leitos, facilitando o trabalho de previsão do evento com antecedência, oferecendo a oportunidade de alertar a sociedade. No porto de Manaus existe um quadro de registro histórico (Figura 70), para comparativo na análise se elencou o mais próximo do período que foi o ano de 2009 (29,77 m).

Figura 70 - Registro dos níveis máximos do Rio Negro no Porto de Manaus.

EHA		Porto de Manaus	
ESTAÇÃO HIDROVIÁRIA DO AMAZONAS		NÍVEIS MÁXIMOS DO RIO NEGRO	
		1976	2010
1911	1971	1971	1975
1912	1972	1976	1978
1913	1973	1979	1980
1914	1974	1981	1982
1915	1975	1983	1984
1916	1976	1985	1986
1917	1977	1987	1988
1918	1978	1989	1990
1919	1979	1991	1992
1920	1980	1993	1994
1921	1981	1995	1996
1922	1982	1997	1998
1923	1983	1999	2000
1924	1984	2001	2002
1925	1985	2003	2004
1926	1986	2005	2006
1927	1987	2007	2008
1928	1988	2009	2010

Fonte: Acervo da pesquisa.

4.3.1 Cheias do Rio Negro 2011 – 2015

Os registros máximos de cheia do rio Negro 2011 - 2015 são correlacionados aos dados de 2009 (29,77 m) que é o registro máximo mais próximo fora do intervalo escolhido e também a cheia de 2012 (29,97 m), marcada como a maior cheia de todos os tempos e está

dentro do intervalo escolhido. A análise mostra, de forma rápida, o comportamento natural do fenômeno que atinge a sociedade e estrutura manauara, focando nos danos e áreas atingidas.

Os igarapés existentes na área urbana de Manaus estão comprometidos com o lançamento de todo tipo de esgotos e lixos, industrial e doméstico. Esse comportamento social é o principal fator que agrava, a cada ano, os alagamentos nos bairros e avanços das inundações na cidade (Figura 71).

Figura 71 - Igarapés de Manaus com acúmulo de lixo em meio a moradias.



Fonte: Acervo pessoal; Toledado (2014); Brasil (2013).

Enfatiza-se dois tipos de áreas em Manaus no período natural da enchente:

1 - **Áreas de alagações:** A enorme quantidade de lixo, construções inapropriadas nos leitos dos igarapés e a topografia modificada são fatores antrópicos que impedem o fluxo natural das águas. Assim, as partes baixas da cidade são gravemente atingidas em cada ocorrência de chuva (intensa ou não), e não apenas no período de cheia (Figura 72). Bairros como Japiim, Petrópolis, Compensa, Aleixo, Parque 10 de Novembro, Santa Etelvina, União, Monte das Oliveiras, Terra Nova, são exemplos desse tipo de ocorrência.

Essas áreas são propícias a constantes alagamentos e são pontos abertos de riscos de saúde pelas doenças originadas pelo acúmulo de lixo, esgoto e ratos, risco de moradia, pois muitas vezes ocorre o desabamento de casas; resumindo são locais de constante risco de vida.

Figura 72 - Áreas alagadas em Manaus devido acúmulo de lixo, topografias modificadas, ação antrópica causando danos.



Cruz e Costa (2012) apresentam dois locais na cidade de Manaus, o Bairro União e a Comunidade Nossa Senhora de Fátima, que vem somar informações ao desenvolvimento aqui descrito. Os autores mencionados delimitam áreas de alagação geradas pelo grande acúmulo de lixo, escoamento inapropriado das águas pluviais e de outras moradias nos igarapés, agravando o problema de alagação, das doenças, dos desabamentos e mostram que mesmo com auxílio dos projetos (desapropriação e reconstituição) nas áreas, ocorrem o avanço desses danos, isso por causa de projetos mal elaborados e executados. Esses mesmos danos foram visualizados e confirmados em visita de campo realizada no decorrer do desenvolvimento deste trabalho, durante a cheia do ano de 2015.

2 - Áreas de inundações: são os primeiros locais atingidos quando ocorre o extravasamento das águas do rio, por exemplo: Bairros da Glória, São Raimundo, Bariri, São Jorge, Crespo, Betânia, Vila da Prata, Santa Luzia, São Lázaro, Colônia Oliveira Machado, Aparecida, Compensa, Mauazinho e Centro. Muitos desses locais passaram por uma recuperação para que essa marca de inundação seja paralisada, sem causar mais danos à comunidade. Ao longo dos anos aumenta a aproximação do limite estabelecido desses projetos de recuperação, hoje em dia já se encontram algumas moradias, dentro dessas áreas projetadas, atingidas pela inundação (Figura 73).

Figura 73 - Áreas inundadas em Manaus mostrando o avanço fluvial nas casas e em alguns pontos ficam no limite de áreas recuperadas.



Fonte: Acervo pessoal; CPRM (2012a).

Brasil e Costa (2015) delimitaram a área de inundação da orla de Manaus a partir da análise de imagem de sensoriamento sensor remoto resultando no mapa de inundação que delimita a máscara de inundação na orla de Manaus, de Leste a Oeste, afirmando que a porção Sul e Sudeste são as mais afetadas pela inundação. O presente trabalho, dentro do período escolhido de 2011–2015, mostra os pontos de inundações de alguns desses bairros da orla de Manaus, como o Educandos, São Raimundo e Glória, além do impacto causado às moradias, que é significativo e enorme, muitas vezes causando danos irreparáveis.

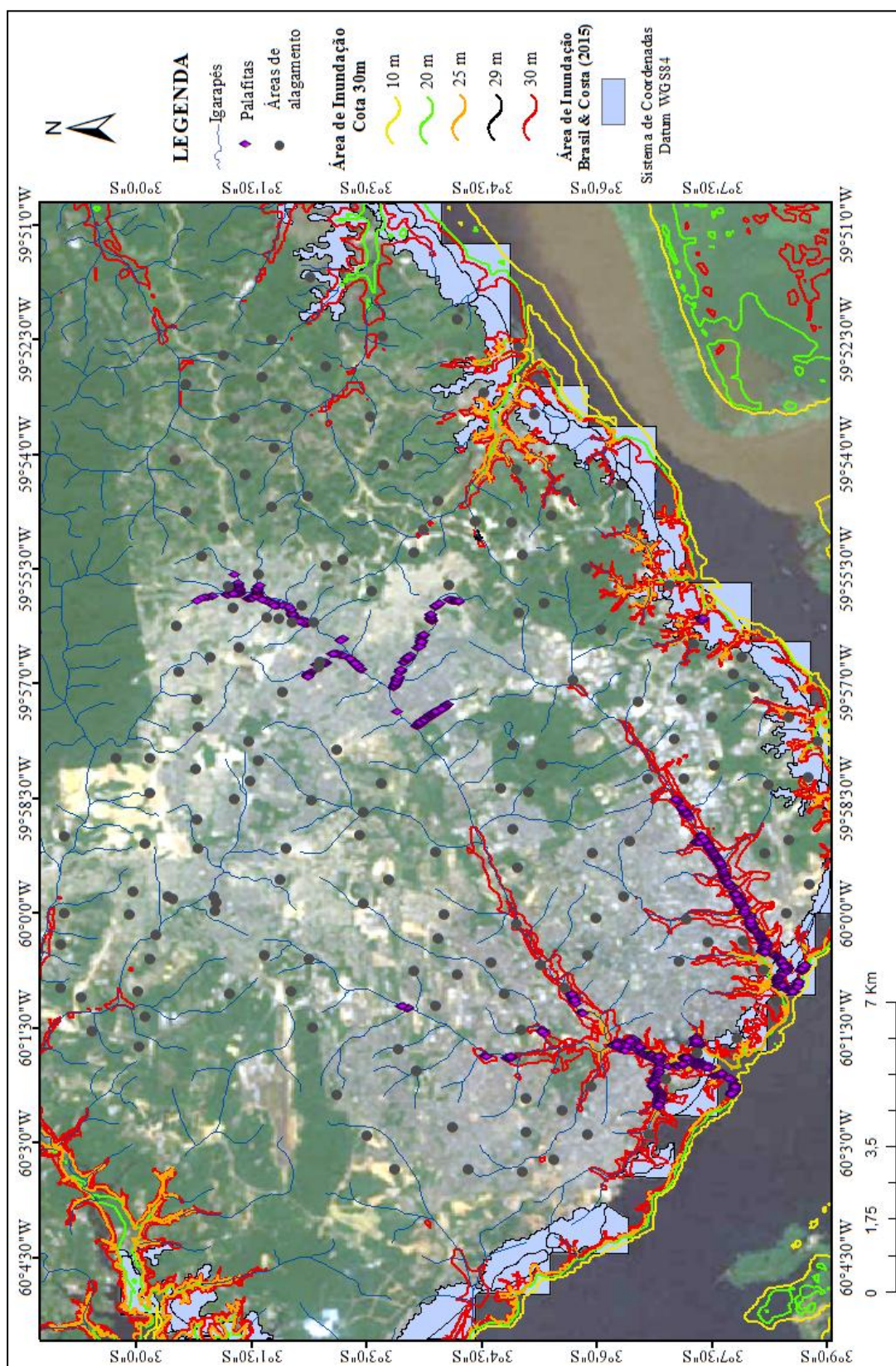
Dos registros de cheias do rio Negro e visitas técnicas, foi possível montar a carta de estudo das áreas de inundação da cidade de Manaus com base na elevação de 30 m, dados integrados ao mapa de Brasil e Costa (2015) para correlação de locais atingidos, sendo possível delimitar o aumento da marca de inundação afetada no período de cheia do rio na orla de Manaus e na parte interna da cidade, destacam-se os pontos de ocorrência de alagamentos em quase todos os bairros e as palafitas (Figura 74).

Em análise, com base na cota 30,00 da régua do porto de Manaus, que corresponde à elevação de 26 m do IBGE, pode-se delimitar áreas verdadeiramente inundáveis em grande escala dentro da cidade, sendo natural existir por estarem próximas a igarapés, ao longo dos anos o número de pontos de inundações na cidade só aumenta, sendo consequência da ocupação indevida que gera a degradação ao longo das margens e arredores e da demanda de

lixo produzido, que obstrui a drenagem urbana, se existir no local, já danificada ao longo dos anos.

Esses locais, muitas vezes, ficam impossibilitados de circulação normal das vias, utilização de casas, comércios, em alguns casos impossibilita o rápido retorno de uso dos mesmos, sendo necessário o improvisar pontes de madeira ou o que o recurso permitir.

Figura 74 - Carta de estudos das áreas de inundação de Manaus segundo nível de cota 30, correlacionado ao mapa de Brasil e Costa (2015). Com destaque de palafitas e pontos de alagamentos.



Fonte: Modificado de Brasil & Costa (2015).

4.3.2 Prevenção e recuperação das áreas de inundação

A sociedade, em busca de crescimento, faz com que esse meio de sobrevivência acabe em riscos sociais, econômicos e ambientais causados pelo hábito de poluir, destruir e ocupar áreas inapropriadas, agravando-se com as cheias. Não depende apenas do poder público essa correção, é necessário o homem querer se educar, querer conservar, é necessário, ainda, saber utilizar as informações para o próprio bem-estar e crescimento, como:

- Trabalho social de educação ambiental;
- Projetos de recuperação mais elaborados;
- Escolha de áreas com cota maior que 30 m, adequadas para moradia;
- Oferecer infraestrutura urbana a esses locais;
- Saneamento básico;
- Medidas de combate aos efeitos nocivos das cheias;
- Continuidade à revitalização dos igarapés urbanos, independentemente das construções de moradia, podendo ser incluído locais de lazer como praças nesses locais;
- Proteção obrigatória dos recursos hídricos;
- Limpeza obrigatória dos dutos de drenagem obstruídos;

Além da utilização de informações básicas de ensino para iniciar uma educação de conservação e reparos, é adequado planejar as escolhas de obras adequadas que possibilitem a reutilização ou até mesmo para anular o avanço dos danos causados, elas podem ser incluídas em projetos para o bem da sociedade e da estrutura da cidade.

4.3.2.1 Programa Social e Ambiental dos Igarapés de Manaus – PROSAMIM

Criado com o propósito de ajudar na solução dos problemas ambientais, urbanísticos e sociais que afetam Manaus, direcionado aos que vivem abaixo da cota 30m de inundação, através da recuperação e ou implantação de sistemas de drenagem, abastecimento de água, redes de esgotamento sanitário, regularização de propriedades, implantação de áreas de lazer, evitando alagações, além da construção de moradias adequadas transformando a vida das pessoas que vivendo em palafitas para as unidades habitacionais com moradia digna (Figura 75).

Figura 75 - (A) Bloco com 3 residências do Programa. (B) Parque Residencial Manaus.



Fonte: Rossin 2008.

A primeira etapa começou na Bacia dos Educandos, cinco igarapés foram elencados, para ações: Cachoeirinha, Manaus, Bittencourt (Figura 76), Mestre Chico (Figura 77) e Igarapé do Quarenta (Figura 78). Como contrapartida do Governo do Estado executou obras nos igarapés do Franco, Bombeamento, Santo Agostinho, Passarinho, Sapolândia, Bindá e Treze de Maio.

Sendo esse um programa que traz benefícios à população e que deve ter continuidade para outras bacias hidrográficas, áreas de risco e com necessidade de moradia e urbanização na cidade de Manaus. Essa é uma forma de atender ao anseio social e ambiental dos igarapés poluídos de nossa cidade.

Figura 76 - Visualização do igarapé Bittencourt antes e depois do PROSAMIM. Um local poluído e de risco aos moradores, que depois do Prsamim tornou-se de um lado um local de lazer com quadras esportivas e do outro lado o Parque Senador Jefferson Peres.



Figura 77 - Visualização do igarapé Mestre Chico antes e depois do PROSAMIM. Antes um local constituído de moradias inadequadas e poluição, depois uma área revitalizada para lazer da comunidade.



Figura 78 - Visualização do igarapé do Quarenta antes e depois do PROSAMIM.



4.3.2.2. *Quais medidas escolher?*

Em Manaus existem órgãos que realizam medidas de alerta das enchentes, programas de demarcação e catalogação de áreas de risco. Esses planos de informação quando associados com as medidas estruturais e medidas sustentáveis, respeitando os limites da área de inundações, são excelentes meios de tentativa para estabilização do problema.

Uma das poucas preocupações da sociedade que ocupa inadequadamente um local próximo de rios e igarapés é a mata ciliar, sendo a primeira a morrer nessas situações. E, por isso, a primeira medida escolhida nesse trabalho é: *Preservação da mata ciliar*, que a partir do momento que em parceria do cuidado com as margens dos rios e igarapés, dá-se início ao processo de controle, para manter a seção de escoamento.

Ao longo dos pontos de maior invasão de águas na orla da cidade e nos igarapés na parte interna da cidade, sugere-se a projeção e reformulação das estruturas existentes e até de *diques*, fazendo os novos ajustes com base nas enchentes máximas e nos intervalos de avanço de medidas. É de suma necessidade social realizar um projeto de *revitalização da drenagem urbana* da cidade de Manaus, desobstruindo inúmeros dutos de escoamento, paralisados por falta de manutenção, é uma medida que dentro desse mesmo projeto irá viabilizar o processo de escoamento adequado e um plano de *drenagem doméstica* nas inúmeras áreas de crescimento urbano, pois dessa medida será feito um aproveitamento de prevenção de futuras erosões locais e alagamentos que são, em sua maioria, locais de terreno baixo e sem a drenagem urbana e doméstica adequada, não existe possibilidade de escoamento da água.

A cidade possui um projeto de revitalização de áreas alagadas e realizando a locomoção dos moradores para áreas adequadas para moradia, aqui se pode incluir medidas coletivas: *alçamento de aterro* (acima da cota de inundação) dos locais degradados e dos novos locais previsto para moradia, visando ao avanço das cheias e determinar uma medida base de segurança e junto acrescentar o *aprofundamento dragagem de canais* nas futuras obras de reconstituição; se essa atividade for incluída no plano inicial, o valor é diluído no custo, de modo geral, pois, acaba tornando uma atividade padrão, mas se for incluído como medida posterior a obra realizada, torna-se inviável economicamente. Sendo que de forma sustentável e até econômica seja necessário descobrir outro meio de mitigação, vendo que a canalização e o fechamento dos rios apenas avançam o problema exposto. Além dos danos ao meio natural, não existe a consciência social, conforme pode-se observar, ao longo das imagens aqui mostradas.

É necessário um replanejamento de estruturas nas áreas de avanço urbano e uma medida essencial é a *implantação de dispositivos de infiltração*, que irão diminuir o escoamento para dutos e canais, mas, observando que é apenas para maior infiltração de precipitação e não de águas poluídas. Um exemplo de aplicação dessa medida: Reservatório com uso variado, para empresas, áreas habitacionais, edifícios, implantação obrigatória de grandes áreas de gramado, com seixos, pedregulhos e cascalhos nos projetos de reconstituição de áreas e novos empreendimentos, pois acabam tornando-se áreas de superfícies impermeáveis.

5 CONCLUSÃO

A pesquisa se propôs a identificar as áreas de risco com grandes erosões e inundações na área urbana da cidade de Manaus verificando-se que esta área possui uma expansão de locais com riscos de deslizamento e alagações que colocam construções e vidas em risco, sendo que algumas delas são de ocorrências naturais que, ao longo do tempo, se agravam por ação antrópica; por outro lado, alguns locais apresentam os problemas cuja origem é totalmente antrópica que iniciam e/ou aceleram o problema

Manaus apresenta um alto número de crescimento de áreas de risco, principalmente para as zonas norte e leste, com enormes invasões que não possuem atividades básicas de infraestrutura. Por exemplo, os pontos de casos críticos estão no Jorge Teixeira 3, Monte das Oliveiras e Canaranas.

As áreas identificadas são aquelas ocupadas através de invasões comunitárias por não existirem outros locais disponíveis para moradia, locais que possam oferecer solos resistentes para ocupação e construção. Esses terrenos de risco precisam no mínimo de alguma estruturação, como cuidado com drenagem correta, com desmatamento e cuidado com limpeza doméstica e industrial, para que não ocorra algum tipo de deslizamento.

A demarcação de pontos de deslizamento nas zonas da cidade auxiliou no entendimento do avanço dos processos erosivos (ação natural somado às ações antrópicas), identificados na “*Carta de distribuição de deslizamentos e voçorocas nos bairros de Manaus*”, diagnosticando duas zonas sendo os grandes focos de risco, ocorrência e expansão: zona norte e leste. Podemos confirmar nos estudos de casos:

- Zona norte - Conjunto Canaranas: na sua construção não se projetou um sistema de drenagem adequado, para a coleta e distribuição das águas superficiais fato esse que resultou em deslizamento. Os dados analisados resultaram em coeficiente de segurança ligeiramente superiores a 1,000, situação de talude instável;

- Zona Leste, bairro Mauazinho, o estudo de caso tem dados de resultado baixos e inaceitáveis, o círculo crítico da verificação de ruptura global com fator de segurança 0,991 e a superfície crítica local com fator de segurança 0,594, uma situação de possível instabilidade da encosta.

Todos os estudos de casos de estabilidade apresentados nessa pesquisa mostram as suas propostas de contenção para estabilidade e prevenção, são obras para serem aplicadas nas áreas atingidas, observando o planejamento e desenvolvimento das atividades de forma que contribua com a economia, sociedade e infraestrutura.

Lembrando que essas soluções, por si só, não conduzem à estabilidade dos maciços de solo: é necessário o complemento por um sistema eficiente de drenagem de águas pluviais superficiais e subterrâneas, além de uma proteção antierosiva natural ou artificial.

As cheias do rio Negro nos anos de 2009 (29,77 m) e 2012 (29,97 m) contribuíram para inundações e alagamentos significativas, que atingiu grandemente a cidade, fator alterado pelo acúmulo de lixo de esgoto, industrial e doméstico nos igarapés que obstruem os dutos de drenagem impedindo o fluxo natural das águas.

A integração dos dados coletados proporcionaram a evolução da delimitação de áreas atingidas pela inundação e alagamentos, e estão identificados na “*Carta de estudos das áreas de inundação de Manaus segundo nível de cota 30*”, dados integrados com o mapa de Brasil & Costa (2015).

. As contenções sugeridas são para áreas já estruturadas: a *Preservação da mata ciliar* a partir do momento que em parceria com o cuidado com as margens dos rios e igarapés dá-se início ao processo de controle, já que mantém a seção de escoamento; a projeção e reformulação das estruturas existentes e dos *diques*, fazendo os novos ajustes com base nas enchentes máximas e nos intervalos de avanço de medidas.

A ocupação urbana desordenada sobre as planícies de inundações constitui um dos principais agentes deflagradores e potencializadores do risco, principalmente quando não se adotam medidas preventivas contra o avanço dessas construções e do acúmulo de lixo nesses locais.

Quanto as áreas alagáveis, o programa PROSAMIM, em atividade em algumas bacias hidrográficas da cidade, vem cumprindo com a solução/adequação dos problemas, por meio da retificação dos canais dos igarapés assoreados, alteamento dos aterros até a cota 30 m, implantação de infraestrutura básica, criação de parques lineares, construção de moradias dignas para a população local, integração da população ao meio físico, etc.

5.1 Sugestões para Pesquisas Futuras

No desenvolvimento do trabalho verificou-se a necessidade de aprofundamento dos temas abordados para buscar soluções na integração de projetos para as obras de contenção a partir de novas técnicas no uso de materiais sustentáveis.

REFERÊNCIAS

- ALHEIROS, M. M. **Riscos de escorregamentos na Região Metropolitana do Recife**. 1998. 135 f. Tese (Doutorado em Geologia Ambiental)- Universidade Federal da Bahia, Salvador, 1998.
- _____. SOUZA, M. A. A.; BITOUN, J.; MEDEIROS, S. M. G. M.; AMORIM JÚNIOR, W. A. **Manual de Ocupação dos Morros da Região Metropolitana do Recife**. Fundação de Desenvolvimento Municipal de Recife - Programa Viva o Morro. Recife, FIDEM, 2003.
- ARAÚJO, M. L. M. **Preservação de fundos de vale**. 1992. 50 f. Monografia (Especialização em Gestão Técnica do Meio Urbano) - Pontifícia Universidade Católica do Paraná - PUC/PR. Curitiba, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6484**: Execução de Sondagem de Simples Reconhecimento nos Solos. Rio de Janeiro, 2001. 17 p.
- _____. **NBR 7181**: Solo – Análise Granulométrica Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1984. 13 p.
- _____. **NBR 6459**: Solo, determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1984. 6 p.
- _____. **NBR 7180**: Solo, determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1984. 6 p.
- _____. **NBR 12025**: Solo-cimento - Ensaio de compressão simples de corpos-de-prova cilíndricos – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2012. 2 p.
- BAHIA, R. R.; ABREU, F. A. M. **O rifte do Amazonas**: Sistema aulacógeno na plataforma Amazônica. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 2., 1985, Belém. **Anais...** Belém: SBG/NO, v. 1, 1985. p. 222-41.
- BARBOSA, G. V.; RENNÓ, C. V.; FRANCO, E. M. S. **Geomorfologia da Folha S.A.22-Belém**. In: BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto Radambrasil. Folha SA.22-Belém. Geomorfologia. Levantamento de Recursos Naturais. Rio de Janeiro: MME/DNPM, 1974, v. 5. p. 66-133.
- BEMERGUY, R. L.; COSTA, J. B. S.; HASUI, Y.; BORGES, M. S. O compartimento morfotectônico Manaus - Nhamundá: Sistemas de relevo, drenagem e os elementos estruturais da neotectônica. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 6. Manaus. **Anais...** Manaus: SBG – Núcleo Norte, 1999. p. 326-329.
- _____. _____. BORGES, M. S.; SILVA JÚNIOR, O G. Relevo da Amazônia: Uma abordagem morfométrica e morfológica ao longo do Rio Amazonas. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 7., 2001, Belém. **Anais...** Belém: SBG/NO, v. 1, 2001. p. 11-4.
- BENTO, A. H. **Mapeamento Geotécnico da Área Urbana de Manaus**. 1998. 179 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia)-, Universidade Federal do Amazonas. Manaus, 2 vol., 1998.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 4. ed. Campinas: Ícone, 1999. 355 p.

BIZZI, L.; SCHOBENHAUS, C.; GONÇALVES, J. H.; BAARS, F. J.; DELGADO, I. M. O.; ABRAM, M. B.; LEÃO NETO, R.; MATOS, G. M. M.; SANTOS, J. O. S. **Mapa geológico do Brasil. Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: sistemas de informações geográficas-SIG**. Brasília-DF: CPRM, registro digital. 4, CD-Rom, 2001. Mapas-Escala 1:2.500.000.

BRASIL. **Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto Radambrasil**. Folha SA.20-Manaus. Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Levantamento de Recursos Naturais. Rio de Janeiro: MME/DNPM. v. 18, [s.n.], 1977. 628p.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Serviço Geológico do Brasil. Superintendência Regional de Manaus. **Relatório: Gerenciamento da cheia de Manaus Evento 2012**. Manaus: CPRM, 2012a.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Mapeamento das áreas de risco geológico da zona urbana de Manaus (AM)**. Manaus: CPRM, 2012b.

BRASIL, E.S.; COSTA; J. A. L. **Uso de Imagens do sensor ADS-80 para delimitação da área de inundação da orla da cidade de Manaus-AM. Anais eletrônicos...** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR, 17, INPE, João Pessoa, Abr. / 2015.

BRASIL, K. Inundações atingem ao menos 15 mil moradores de Manaus. **Folha de São Paulo [on-line]**. Cotidiano. Manaus, 04 jun. 2013. Disponível em: <http://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2013/06/1289537-inundacoes-atingem-4000-moradores-de-manaus.shtml>. Acesso em: 28 ago. 2016.

CAPUTO, M.V. **Discussão sobre a Formação Alter do chão e o alto de Monte Alegre**. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 11. Resumo Expandido. Manaus, 2011.

CAMPELO, N.S.; CARNEIRO, B.J.I.; ALBIERO, J.H.; CARVALHO, J.S. **Estabilidade de Taludes Naturais Localizados na Orla do Rio Negro e no Pólo Industrial de Manaus**. 2001. In: Conferência Brasileira de Estabilidade de Encostas, 3, Rio de Janeiro, ABMS, 2001.

_____. _____. _____. _____. **Verificação de Estabilidade de Taludes Sujeitos a Voçorocas, na Cidade de Manaus**. 2002. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 10, Minas Gerais, 2002.

_____. _____. _____. _____. ROCHA, F.S. **Contenção de talude em cortina atirantada de estacas brocas, localizada em indústria do Polo Industrial de Manaus**. 2004. In: SEMINÁRIO DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS, 5, São Paulo, ABMS, 2004.

_____. _____. _____. _____. **Estudo da estabilidade global de três taludes, localizados no Distrito Industrial de Manaus**. 2005. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA DE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 4, Salvador, ABMS, 2005. Disponível em:

<http://www.abms.com.br/links/bibliotecavirtual/cobrae/2005-campelo.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2016.

_____. _____. _____. _____. Silva, C.L. **Estudo da estabilidade global de quatro taludes, localizados em algumas regiões da cidade de Manaus**. 2009. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA DE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 5, São Paulo, ABMS, 2009. Disponível em: <http://www.abms.com.br/links/bibliotecavirtual/cobrae/2009-campelo.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2016.

CANIL, K.; IWASA, O.Y.; SILVA, W. S.; ALMEIDA, L.E.G. **Mapa de feições erosivas lineares do Estado de São Paulo: Uma análise qualitativa e quantitativa**. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 5, 1995, Bauru. **Anais eletrônicos...** Bauru: ABGE/PMB/UNESP. 1995. p. 249-251.

CARVALHO, E. T. **Reabilitação de uma voçoroca em Contagem – MG**. In: SANTOS, A.R. *Geologia de Engenharia: Conceitos, métodos e prática*. São Paulo: ABGE. 2002. Pg 51-55.

CIVILSERVE GmbH. Computacional programs GGU-Gabion and GGU-Stability. Braunschweig Germany, 2008.

CHORLEY, R J.; SCHUMM, S. A.; SUGDEN, D. E. **Geomorphology**. Cambridge: Methuen, 1984, 606p.

COELHO, NETO, A. L. Diagnóstico de erosão para planejamento regional: subsídios metodológicos sob enfoque hidrogeológico. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 6, 1998. **Anais eletrônicos...** Presidente Prudente, 1998.

CONCIANI, W. **Processos erosivos: Conceitos e ações de controle**. Cuiabá: CEFETMT, 2008. v. 1, p. 148.

COSTA, R. C. R.; NATALI FILHO, T.; OLIVEIRA, A. A. B. Geomorfologia da Folha SA.20- Manaus. In: BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. **Projeto Radambrasil: Folha SA.20-Manaus**. Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Levantamento de Recursos Naturais. Rio de Janeiro: MME/DNPM, 1978. v. 18, cap. 2, p. 165-244.

COSTA, J.B.S. Tectonics and paleogeography along the Amazon river. **Journal of South America Earth Sciences**, 14, 2001. p. 335-347.

COSTA, A.R.A. **Tectônica cenozóica e movimentação salífera na Bacia do Amazonas e suas relações com a geodinâmica das placas da América do Sul, Caribe, Cocos e Nazca**. 2002. 237 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2002.

CPRM. **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: Sistema de Informações Geográficas - SIG e Mapa na escala 1:2.500.000**. In: Luiz Augusto Bizzi, Carlos Schobbenhaus, João Henrique Gonçalves, Franciscus Jacobus Baars, Inácio de Medeiros Delgado, Maísa Bastos Abram, Reginaldo Leão Neto, Gerson Manoel Muniz de Matos, João Orestes Schneider Santos (ed.), Brasília, 2001. 1 CD-ROM.

CPRM **Carta hidrogeológica da Cidade de Manaus**. Manaus: CPRM, 2002. p. 1-8. (Relatório Interno).

CRUZ, Denise Rodrigues; COSTA, Reinaldo Corrêa. Inundações em Bacias Hidrográficas Urbanas de Manaus – Comunidades Bairro União E N. S. de Fátima. **Revista GEONORTE**, Edição Especial, V.1, N.4, p.759 – 771, 2012.

CUNHA, M. A. (Coord.). **Ocupação de Encostas**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT. Publicação nº 1831. São Paulo. 1991. 216 p.

CUNHA, P. R. C; GONZAGA, F.G.; COUTINHO, L.F.C; FCIJÓ, F. J.. **Bacia do Amazonas**. Boletim de Geociências Petrobrás, ano 8, n. 1. 1994. p. 47-55.

DAEMON, R. F.; CONTRERAS C. J. A. **Zoneamento Palinológico da Bacia do Amazonas**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25, São Paulo. **Anais... 3**. 1971. p. 79-88.

DAEMON R. F. **Contribuição à Datação da Formação Alter do Chão, Bacia do Amazonas**. Revista Brasileira de Geociências, 5 (2). 1975. p. 58.

D'ANTONA R. de J. G.; REIS, N. J.; MAIA, M.A.M.; ROSA, S.F.; NAVA, D.B. **Projeto Materiais de Construção da Área Manacapuru – Iranduba – Manaus - Careiro Domínio Baixo Solimões**. CPRM-Serviço Geológico do Brasil. Manaus, 2006 (no prelo).

DIETRICH, W. E.; DUNNE, T. The channel head. In: BEVEN, K.; KIRKBY, M. J. **Channel Network Hydrology**. John Wiley & Sons Ltd., 1993. p. 175- 219.

DINO, R.; SILVA, O. B. da; ABRAHÃO, D. **Caracterização Palinológica e Estratigráfica de Estratos Cretáceos da Formação Alter do Chão, Bacia do Amazonas**. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL, 5, Rio Claro, 1999. Boletim: 557-565.

DUARTE, L. Restos foliares de angiospermae da Serra de Paituna - Pa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, Rio de Janeiro, 1987. **Anais da sociedade Brasileira de Paleontologia**, v. 2, 1987. p. 859–877.

DUNCAN, J.; WRIGHT, S. “**UTEXAS2: A computer program for slope stability calculations.**” Department of Civil Engineering, University of Texas, Austin, 1986.

DYMINSKI, Andréa Sell. **Noções de estabilidade de taludes e contenções**. Paraná, UFPR, 2012. Notas de Aula.

EIRAS, J. F.; BECKER, C. R.; SOUZA, E. M.; GONZAGA, F. G.; SILVA, J. G. F.; DANIEL, L. M. F.; MATSUDA, N. S.; FEIJÓ, F. J.. **Bacia do Solimões**. Boletim de Geociências de Petróleo Brasileiro S.A, Rio de Janeiro, 8, 1. 1994. p. 17-45.

ESPÓSITO, C. C.; BUENO, G. T.; LOBO, C. F. F.; SOUSA, J. B. Estrutura de rochas metassedimentares e vulnerabilidade aos movimentos de massa – bacia do córrego do cercadinho, Belo Horizonte-MG. **Revista de Geografia**, Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. especial, VIII SINAGEO, n. 3, 2010.

EVANS, R. **Mecanismos de la erosión hídrica y sus controles espaciales y temporales: un punto de vista empírico.** In: KIRKBY, M.J.; MORGAN, R.P.C. *Erosion de suelos.* México: Limusa, 1984. p. 141 – 163

FRANZINELLI, E.; IGREJA, H. S.; ROSSI, A. **Novas contribuições ao estudo do “Arenito Manaus” horizonte silicificado da Formação Alter do Chão, Bacia sedimentar do Amazonas, Brasil.** In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 8, 2003, Manaus. **Anais...** Manaus: SBG/NO (CD-ROM), 2003.

FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. **La erosión del suelo por el agua: algunas medidas para combatirla en las tierras de cultivo.** Roma: FAO, 1967. 207 p.

FERNANDES N. F.; AMARAL C. P. **Geomorfologia e Meio Ambiente.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. p. 123-194.

FIDEM. **Diagnóstico ambiental, urbanístico e social das áreas de morros urbanos da Região Metropolitana do Recife. Convênio FIDEM/SUDENE.** (Ermelinda Gonçalves, Sônia M. G. M. Medeiros – FIDEM; Margareth M. Alheiros, Maria Ângela A. Souza, Jan Bitoun –ATEPE, coordenação). Programa Viva o Morro, Recife/PE, 75 p, 2001.

GRABERT, H. The Amazon Shearing System. **Tectonophysics**, v. 95, 1983. p. 329-36.

GEO-SLOPE. **Stability Modeling with SLOPE/W 2004 Version.** Calgary, Alberta, Canada. International Ltd.

GEO-SLOPE. **Stability Modeling with SLOPE/W 2007 Version.** Calgary, Alberta, Canada. International Ltd.

GUERRA, A. J. T. **Processos erosivos nas encostas.** In: GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B. da. *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos.* Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994. p. 149-209.

GUERRA, S. M. S. **Carta de predisposição à erosão na SUAPE, PE.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 9, Recife, 1999. **Anais Eletrônicos...** Recife, 1999.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação.** São Paulo: Edgard Blucher, 1984.

HARTT, C. F. *Geology and Physical Geography of Brazil.* **Fields Osgood & Co., Boston,** trad. Cia Edit. Nac. Série 5a Brasileira, v. 200, 620 p. Capítulo XV, 1870.

HORBE, A. M. C.; HORBE, M. A.; SUGUIO, K.; LARANJEIRA, R. B. **Contribuição ao estudo das ocorrências de podzóis no noroeste do Amazonas.** In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA. Belém, 2001. **Anais eletrônicos...** Belém: SBG/NO, v. 1, 2001. p. 70-4.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Geografia do Brasil.** Rio de Janeiro: Base Cartográfica IBGE, 2001.

_____. **Base cartográfica integrada digital do Brasil ao milionésimo: versão 1.0 para ArcGis Desktop-ArcView**. Rio de Janeiro: IBGE, 2003. 1 CD-ROM.

_____. **Dados populacionais do Brasil**. 2015. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 07 jun. 2015

IGCE/DGA/PROIN/CAPES. **Produção e disseminação de material didático visando à melhoria do ensino de graduação nas áreas de geologia ambiental e de geologia de engenharia**. Rio Claro: Programa de Apoio à Integração Graduação/Pós-Graduação/PROIN/CAPES. Imagens em meio digital, 2000.

INSTITUTO MUNICIPAL DE PLANEJAMENTO URBANO E INFORMÁTICA. COMPANHIA DE PESQUISAS DE RECURSOS MINERAIS. **Base cartográfica da área urbana de Manaus-AM**. Manaus: Sonopress, IMPLAN, CPRM, 1996. CD-ROM.

_____. **Base cartográfica da área urbana da cidade de Manaus**. Convênio IMPLAN/CPRM. [s.l.: s.n.], 1995. CD-ROM.

KISTLER, P. **Historical resume of the Amazon Basin**. PETROBRAS/RENOR, Belém, Rel. Interno (inédito). 1954.

LINSSER, H. Interpretação das anomalias gravimétricas regionais na área Amazônica. **Boletim Técnico da Petrobrás**, v. 17, n. 1, 1974. p. 3-15.

LOCZY, L. Geotectonic evolution of the Amazon, Parnaíba, and Paraná basins. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, nº. 40 (suplemento), 1968. p. 231-49.

LEAL, P. C. Caracterização e interpretações genéticas de alguns solos da região de Manaus-AM. **Ciências do Solo**. Recife-PE: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1996. 109 p.

LIMA, M. C. **Contribuição ao estudo do processo evolutivo de boçorocas na área urbana de Manaus**. 1999. 150 f Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Civil, FT/UNB, 1999.

LUCAS, Y. **Systèmes Pédologiques em Amazonie Brésilienne**. Equilibre Desequilibre et Transformations. Thesi Sci, Université de Poitiers, Paris, France, 1989. 157 p.

LOZET, J.; MATHIEU, C. Dictionnaire de Science du Sol. **Tec & Doc**, Quatrième édition. Paris, 2002.

MACCAFERRI do Brasil Ltda. **Catálogos de soluções geotécnicas e ambientais**. Jundiaí: [s.n.], 2015.

MARANGON, M. **Tópicos em Geotécnica e Obras da Terra**. v. 1, Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora, 2006.

MAURO FILHO, A. E.; EIRAS, J. F. Canais terciários da Bacia do Solimões. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, 4, 1994. p. 18-21.

MESQUITA, Liana de Barros. **Arborização do Recife**: notas técnicas para ajustes na execução e manutenção. Recife: Prefeitura da Cidade do Recife, 1996. 59 p.

MILANI, E. J.; ZALÁN, P. V. An outline of the geology and petroleum systems of paleozoic interior basins of south America. **Episodes**, v. 22, nº. 3, 1999. p. 199-205.

MOLINARI, D. C.; VIEIRA, A. F. G. Considerações preliminares sobre a capacidade de infiltração de água no solo no Distrito Industrial II – Manaus (AM). In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 5; ENCONTRO SUL-AMERICANO DE GEOMORFOLOGIA, 1. **Anais....** Santa Maria: UGB/UFSM. [s.n.], 2004. p. 100-115.

MORGAN, R. P. C. **Soil erosion and conservation**. Longman Group. Inglaterra. [s.n.], 1986. 298 p.

MUNIZ, L. da S.; VIEIRA, A. F. G. e ALBUQUERQUE, A. R. da C. **Voçorocas do Distrito Industrial II – Manaus (AM)**. In: Simpósio Nacional de Geomorfologia, 5; Encontro Sul-Americano de Geomorfologia, 1. **Anais....** Santa Maria: UGB/UFSM. [s.n.], 2004. p. 150-165.

MURCK, B. W.; SKINNER, B. J.; PORTER, S. C. **Environmental Geology**. New York: John Wiley & Sons. [s.n.], 1995.

NASCIMENTO, D. A.; MAURO, C. A.; GARCIA, M. G. L. **Geomorfologia da Folha SA.21-Santarém**. In: BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto Radambrasil. Folha SA.22-Santarém. Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Levantamento de Recursos Naturais. Rio de Janeiro: MME/DNPM, 1976. v. 10, cap. 2, p. 131-98.

NAVA, D. B. **Mapa de vulnerabilidade aos processos erosivos da porção sudoeste da cidade de Manaus, Amazonas**. 1999. 92 f. Dissertação (Mestrado). Manaus: CCA/UFAM: 1999.

NEBOIT, R. **L'erosion, phenomene naturel et fait de civilisation**. L'Home et l'erosion. Nouvelle série. Fascicule 17. IermontFerrand: Association des Publications de la Faculté des Lettres et Sciences Humaines de Clermont-Ferrand. France, 1983. p. 5-28.

NEVES, C. A. O. Prospectos potenciais e áreas prioritárias para exploração na Bacia do Amazonas. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, v. 4, n. 1, 1990. p. 95-103.

NOGUEIRA, A. C. R.; TRUCKENBRODT, W.; SOARES, E. A. A. O icnogênero *Arthropycus* de depósito sublitorâneos da Formação Nhamundá (Siluriano Inferior) da Bacia do Amazonas, região de Presidente Figueiredo. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 2, 1999. p. 135-40.

_____. SILVA JUNIOR, J. B. C., HORBE, A. M. C., SOARES, J. L., MONTEIRO, A. D. A. Gênese dos níveis silicificados da Formação Alter do Chão, Cretáceo Superior da Bacia do Amazonas. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 8, 2003, Manaus. **Anais... SBG/NO**, 2003. (CD-ROM).

OLIVEIRA, A. M. dos S.; PONÇANO, W. L.; SALOMÃO, F. X.de T.; DONZELI, P. L.; ROCHA, G. A. e VALÉRIO FILHO, M. **Questões Metodológicas em diagnósticos regionais de erosão: a experiência pioneira da Bacia do Peixe Paranapanema – SP**. In:

Simpósio Nacional de Controle de Erosão, 4. **Anais...** São Paulo: ABGE / DAEE. 1987. p. 51-71.

OLIVEIRA, M. A. T.; MEIS, M. R. M. Relações entre geometria do relevo e formas de erosão linear acelerada (Bananal, SP). **Geociências**, n. 4, São Paulo, 1985. p. 87-99.

_____. **Erosion Disconformities and Gully Morphology: A Threedimensional Approach.** In: *Catena: na interdisciplinary journal of Soil Science Hydrology – Geomorphology*, v. 16. W. Germany: Catena Verlag. 1989. p. 413- 423.

_____. **Processos erosivos e preservação de áreas de risco de erosão por voçorocas.** In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. Erosão e conservação dos solos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p. 57-99.

OLIVEIRA, L. M. **Acidentes Geológicos Urbanos.** Curitiba: [s.n.], 2010. 78 p.

PALMEIRA, E.M. **Estabilidade de taludes.** Brasília, UnB, 2014. Notas de Aula.

PRADO, I. D. M. **Sistemática de investigação e de caracterização dos materiais inconsolidados para mapeamento geotécnico na região amazônica: estudo de caso na região de manaus.** 2004, 192f. Tese (Doutorado em Geotecnia)- Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Brasília, DF, 2004.

PRICE, L. I. **Dentes de Theropoda num testemunho de sonda no Estado do Amazonas.** Academia Brasileira de Ciências, **Anais...**, 32. 1960. p. 79-84.

REZENDE, W. M. **Post paleozoic geotectonics of south related to plate tectonics and continental drift.** In: Congresso Brasileiro de Geologia, 26, 1972, Belém. **Anais...** Belém: SBG, 1972, v. 1, p. 205-210.

_____. BRITO, C. G. Avaliação geológica da Bacia Paleozóica do Amazonas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 27, SBG, Aracaju (SE). **Anais...** SBG. 1973. 45p.

ROQUE, W.V. **Mapeamento geoambiental da área urbana de Manaus (AM).** 2006, 179f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia)- Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Brasília, DF, 2006.

ROSSIN, A. C. **PROSAMIM: Um programa de melhoria ambiental com inclusão social no centro da Amazônia.** [S.l.], maio, 2008.

SANTOS JUNIOR, E. V. C. **Identificação e Análise Geoambiental de processos erosivos em uma porção da área urbana de Manaus-AM (bairros Cidade Nova e Mauzinho).** 2002, 136 f. Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2002.

SANTOS J. O. S.; HARTMANN L. A.; MCNAUGHTON N.; FLETCHER, I. **Uma inesperada idade cambriana para o enxame gigante de diques máficos na Província Aurífera Tapajós, obtida pela Geocronologia U-Pb em baddeleyita e zircão.** In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA NA AMAZÔNIA. Manaus- AM. Resumos Expandidos. 1999. p. 482-485.

SÃO PAULO, Secretaria de Energia e Saneamento de. **Controle de Erosão**. 2ª edição. São Paulo: DAEE / IPT. 1990. 92 p.

SEIXAS, B. L. S. **Fundamentos do manejo e da conservação do solo**. Salvador: Centro Editorial e Didático da UFBA. 1984. 304 p.

SELBY, M. J. **Hillslope Materials and Processes**. Oxford University Press, New York: 1982. 264p.

SCHULTZ, L. A. **Métodos de conservação do solo**. Porto Alegre: Sagra: 1983. 76 p.

SILVA, C. L. **Análise da tectônica cenozóica na região de Manaus e adjacências**. Rio Claro. 2005. 282 F. Tese (Doutorado em Geologia Regional)- Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2005.

_____. **EIA-RIMA**: "Porto das Lajes". Manaus. Capítulo VII. Parte VII I. Síntese dos Diagnósticos Ambientais – Meio Físico. 2008. Disponível em: http://www.ipaam.am.gov.br/pagina_interna.php?cod=54>. Acesso em: 27 jun. 2015.

SILVEIRA, A. L. da; LOUZADA, J. A.; BELTRAME, L. F. **Infiltração e armazenamento no solo**. In: TUCCI, C. E. M. (org.). Hidrologia: Ciência e aplicação. Porto Alegre: Ed. da Universidade: ABRH: EDUSP. 1993. p. 335-372.

SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA. **Glossary of soil science terms**. Madison, Wisconsin-USA. 1975. p. 1-34.

SUSZCZYNSKI, E. La géologie et la tectonique de la Prataforme Amazonienne. **Geol. Runds**. n. 59, ano 3, 1970. 1235-53p.

TASSINARI C. C. G. **O mapa geocronológico do Cráton Amazônico no Brasil**: revisão dos dados Isotópicos. 1996. 139 f Tese (Doutorado em Livre Docência) - Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, São Paulo, 1996.

TOLEDANO, Diego. Rio Negro alcança 29,44m e Manaus registra quinta maior cheia, diz CPRM. **G1 Amazonas**. Manaus, 06 jun. 2014. Disponível em: <http://g1.globo.com/am/amazonas/noticia/2014/06/rio-negro-alcanca-2944m-e-manaus-registra-quinta-maior-cheia-diz-cprm.html>. Acesso em: 28 ago. 2016.

VALENTIN, C.; POESEN, J.; YONG LI. Gully erosion: impacts, factors and control. **Catena**, n. 63, 2005. p. 132-153.

VERTANATTI, E.; BARANCOSKI, R. E. P. **A ocorrência de voçorocas em dois aeroportos da Amazônia**. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 4. **Anais...** São Paulo: ABGE / DAEE, 1987. p. 379-405.

VENTURA, L. M., D'AVILA, L. M., BARBOSA, G. V. **Geomorfologia da Folha SB.21-Tapajós**. In: **BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto Radambrasil. Folha SA.21-Tapajós. Geomorfologia. Levantamento de Recursos Naturais**. Rio de Janeiro: MME/DNPM, 1975, v. 7, p. 119-49.

VIEIRA, L. S.; SANTOS, P. C. T. C. **Amazônia: seus solos e outros recursos naturais**. São Paulo: Agronômica Ceres. 1987. 416 p.

VIEIRA, A. F. G.; LIMA, N. P. S. de. **Mapeamento e Estudo das Voçorocas do Sítio Urbano de Manaus**. (Relatório Final de Pesquisa de Iniciação Científica) Manaus: DEGEO/UFAM, 1995. 133 p.

_____. **Medidas de contenção de voçorocas do sítio urbano de Manaus**. 1996. 52 f. Monografia (Bacharelado em Geografia)- Universidade Federal do Amazonas, DEGEO, Manaus, 1996.

VIEIRA, L. C. **Análise faciológica da Formação Alter do Chão (Cretáceo-Terciário) na Região de Manaus – AM**. In: CONGRESSO INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 9, São Carlos, Anais... 1997. p. 166.

_____. **Depósitos fluviais da Formação Alter do chão, Cretáceo-Terciário da Bacia do Amazonas**. Trabalho de Conclusão de Curso (TFG), Instituto de Ciências Exatas, Departamento de Geociências, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 1999. 62p.

VIEIRA, A. F. G. **Erosão por voçorocas em áreas urbanas: o caso de Manaus (AM)**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis: DPGG/UFSC. 1998. 181 p.

_____. Definição, classificação e formas de voçorocas. **Revista de Geografia**, Manaus: EDUA. 1999. p. 27-42.

_____. **O cadastramento como forma de identificação, monitoramento e evolução de voçorocas**. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 4. Anais... São Luis, 2002. p. 106-107.

_____. **Desenvolvimento e distribuição de voçorocas em Manaus (AM): principais fatores controladores e impactos urbano-ambientais**. 2008, 310p. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, Florianópolis, 2008.

_____. MOLINARI, D. C.; MUNIZ, L. S. Caracterização geral das voçorocas do CIRMAM: Manaus (AM). In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 5. ENCONTRO SUL-AMERICANO DE GEOMORFOLOGIA, 1. Anais... Santa Maria: UGB/UFMS. 2004. p. 20-35.

_____. _____. Degradação ambiental no Distrito Industrial de Manaus - AM. (Anais – Cd room). In: SIMPÓSIO NACIONAL E CONGRESSO LATINO AMERICANO SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 6. Anais... Curitiba: UFPR. 2005. 14 p.

_____. ALBUQUERQUE, A. R. C. Cadastramento de voçorocas e análise de risco erosivo em estradas: BR-174 (Trecho Manaus – Presidente Figueiredo). In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 5. ENCONTRO SUL-AMERICANO DE GEOMORFOLOGIA, 1. Anais... Santa Maria: UGB/UFMS. 2004. p. 50-65.

WANDERLEY FILHO J. R. **Evolução estrutural da Bacia do Amazonas e sua relação com o embasamento.** 1991. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém, 1991.

_____. EIRAS, J. F. De Nova Olinda a Uatumã: 46 anos de pesquisa petrolífera na Amazônia pela Petrobrás. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, 6, **Anais...** Manaus, 1999. p. 20-3.

WISCHMEIER, W. H; SMITH, D. D. **Soil loss Estimation as a Tool in Soil and Water Management Planning.** USDA Conservation Research Report 26, 1962. 643 p.

ZOCCAL, J. C. Controle de erosão em estradas rurais variante da estrada-trecho AVM150. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 6. **Anais Digitais**, Presidente Prudente, 1998.

OBRAS CONSULTADAS

ABSÁBER, A. N. As boçorocas de França. **Revista da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de França**. França, ano I, n. 2, p. 5-27, 1968,.

AGUIAR, F. E. O. **As alterações climáticas em Manaus no século XX**. Rio de Janeiro. UFRJ: Instituto de Geociências: Departamento de Geografia, 1995. 182 p.

AMARAL, N. D. **Noções de conservação do solo**. 2ª Edição. São Paulo: Nobel. 1989. 120 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122**: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 2010. 91 p.

BASTOS, C. A. B.; MILITITSKY, J.; DIAS, R. D. Avaliação geotécnica da erodibilidade de solos residuais da região metropolitana de Porto Alegre. In: Simpósio Nacional de Controle de Erosão, 6. Presidente Prudente. **Anais eletrônicos...** Presidente Prudente, 1998.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Projeto Radambrasil**: Folha SB.20-Purus. Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Levantamento de Recursos Naturais. Rio de Janeiro: MME/DNPM, v.17. 1978. 554p.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil. **Glossário de Defesa Civil, estudos de riscos e medicina de desastres**, 3. ed. Brasília: MI, 2009.

BRYAN, R. B.; JONES, J. A. A. **The significance of soil piping processes**: inventory and prospect. In: *Geomorphology*. No. 20. 1997. p. 209-218.

CAMPELO, N. S. **Fabricação de agregado sintético de argila calcinada no pólo oleiro do Município de Iranduba, para emprego em infra-estrutura viária e de construção civil, no Estado do Amazonas**. Fase I: Elaboração do Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica e Comercial (EVTEC). Projeto PAPPE/FAPEAM, 2005.

_____. **Relatório técnico acerca da estabilidade de talude de maciço de solo erodido por voçorocamento, localizado em área da Vila Buriti da Marinha do Brasil, na cidade de Manaus, estado do Amazonas**. Manaus, 2016.

COELHO NETTO, A. L.; FERNANDES, N. F.; DEUS, C. E. **Gullyng in the Southeastern Brazilian plateau, Bananal (SP)**. In: *Proceedings of the Porto Alegre Symposium in Sediment Budgets*. 1988. Porto Alegre. IAHS Publications, n°. 174. 1988. p. 35-42.

CORRÊA, A. A. M. **Métodos de combate à erosão do solo**. Série Didática, n. 17. Rio de Janeiro: Edições SAI. 1959.

CUNHA, S.; GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 1994. p. 93-148.

EIRAS, J. F. **Cenário Geológico das Bacias Sedimentares do Brasil**. In: Apostila sobre Prospecção e Desenvolvimento de Campos de Petróleo e Gás (Schlumberger) – Projeto

Multimin Tecnologia. Parte II - Tectônica, Sedimentação e Sistemas Petrolíferos da Bacia do Solimões, Estado do Amazonas. 2005. Disponível em:
<<http://acd.ufrj.br/multimin/mmp/textos/index.htm>>. Acesso em: 02 set. 2015.

FENDRICH, R. **Erosão Urbana**. In: FENDRICH, R.; OBLADEN, N.L.; AISRE, M. M.; GARCÍAS, C. M. e ZENY, A. S. Drenagem e controle de erosão urbana. Curitiba: EDUCA – Editora Universitária Champagnat, 1984. p. 14-43

FOURNIER, F. (1975). **La erosión del suelo y Conservación de Suelos**. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa. p. 37-77 FRANZINELLI, E. e PIUCCI, J. Evidências de neotectonismo na Bacia Amazônica. Anais. VII Congresso Latino Americano de Geologia. Belém, 1988. p. 80-90

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basis: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Bulletin of the Geological Society of America**, v. 56, 1945. p. 275-370.

INMET. **Dados climáticos de Manaus/AM**. Disponível em: <www.inmet.gov.br>. Acesso em: 26 ago. 2015.

IWASA, O. Y.; PRADI, E. C.; KERTZMAN, F. F.; OLIVEIRA, A. M. dos S.; PONÇANO, W. L. e SALOMÃO, F. X. de T. **Áreas de risco ao desenvolvimento de erosão por ravinas e boçorocas**. Folha Marília – SF-22-Z-A. In: 4º Simpósio Nacional de Controle de Erosão. (Anais). São Paulo: ABGE / DAEE. p. 137-148, 1987.

LEPSCH, I. F. **Solos: formação e conservação**. 5ª edição. São Paulo: Melhoramentos. [s.n.], 1993. 157 p.

MARÇAL, M. dos S.; GUERRA, A. J. T. **Processos de urbanização e mudanças na paisagem da cidade de açailândia (Maranhão)**. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da (orgs.). Impactos ambientais urbanos no Brasil. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. p. 275-303.

NASCIMENTO, M. A. L. S. **Erosões Urbanas em Goiânia**. In: Boletim Goiano de Geografia. 14 (1). Goiânia: Editora da UFG, 1994. p. 77-101.

NFANTI JUNIOR, N.; FORNASSARI FILHO, N. **Processos da dinâmica superficial**. In Geologia de Engenharia, ed. Antonio Manoel dos Santos e Sergio Nertan Alves Brito. São Paulo: ABGE, 1998. p. 132-152.

OLIVEIRA, M. A. T. **Morphologie des versants et ravinement: héritages et morphogénèses actuelle dans une région de socle tropical**. Le cas de Bananal, São Paulo, Brésil. Tese (Doutorado). Universidade de Paris IV – Paris Sorbonne. 1992. 401 p.

_____. **Tipos de condutividades hidráulicas**. Florianópolis: UFSC. Informação escrita fornecida para Antonio Fábio Guimarães Vieira. [s.n.], 2006.

PALMA, K. A. L. **Gênese e Distribuição do Arenito Manaus na Formação Alter do Chão em Manaus**. 2012. 114 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2012.

- REIS N. J.; D'ANTONA, R. J. G.; OLIVEIRA, M. A. **Evidências de sedimentação pleistocênica no flanco oriental do Arco Purus, Estado do Amazonas – Formação Içá.** In: SBG-Núcleo Norte, Simp. Geol. Amaz. 9, Belém, Resumos Expandidos, CD-ROM. 2006.
- RUDORFF, F. M.; **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos.** Curitiba: Ed. Organic Trading, 2006. p. 109.
- SAMPA COMERCIAL Ltda. **Catálogo de aplicação de telas plásticas na Engenharia Civil.** São Paulo, 1992. 75p.
- SIEIRA, A. C. C. F. **Análise do comportamento de um muro de contenção utilizando pneus.** 1998. 113f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia Experimental) - Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro: 1998.
- SILVA, M. B. **Análise morfoestrutural e gravimétrica da anomalia circular na cidade de Manaus (AM).** Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Federal do Amazonas. 2010. 144p.
- THOMAS, M. F. **Gully Erosion. Geomorphology in the tropics: a study of weathering and denudation in low latitudes.** Great Britain: John Wiley & Sons. 1994. p. 145-154.
- VICTORETTI, J. W. **Soluções ecológicas de contenção de encostas.** Catálogo Blokret. São Paulo, 2002.
- VIEIRA, L. C. **Paleossolos de depósitos cretáceos da Formação Alter do Chão, nordeste do Amazonas.** 2002. 74p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2002.
- VIEIRA, N. M. **Estudo geomorfológico das boçorocas de Franca – SP.** 1978. 226f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Franca, 1978.