



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA

**“CARTA DE RISCO DE COLAPSO DE SOLOS PARA A
ÁREA URBANA DO MUNICÍPIO DE ILHA SOLTEIRA – SP”**

Cíntia Magda Gabriel de Oliveira

Orientador: Prof. Dr. José Augusto de Lollo

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na Área de Concentração em Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais.

Ilha Solteira – SP

2002

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela proteção.

Aos meus pais e ao meu irmão, pelo incentivo, pelo respeito às minhas horas de estudo e, principalmente, pelo conforto nos momentos difíceis.

Ao meu namorado, pela compreensão e pelas palavras de carinho.

Ao professor José Augusto de Lollo, pela orientação com dedicação e paciência.

À FAPESP, pelo apoio financeiro concedido à realização deste trabalho.

Aos técnicos do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, pelo auxílio prestado.

Ao Departamento de Habitação e Urbanismo da Prefeitura Municipal de Ilha Solteira e a todos os entrevistados que forneceram informações importantes para este trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO	i
ABSTRACT	ii
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVO	3
3 ETAPAS DO TRABALHO	4
3.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1.1 TÉCNICA DE AVALIAÇÃO DO TERRENO	4
3.1.1.1 Princípios e Conceitos	4
3.1.1.2 Aplicação da Técnica	6
3.1.2 COLAPSO DE SOLOS	10
3.1.2.1 Caracterização	10
3.1.2.2 Mecanismos de Colapso do Solo	12
<i>3.1.2.2.1 Colapso devido à redução de forças eletromagnéticas</i>	13
<i>3.1.2.2.2 Colapso devido à diminuição das pressões capilares</i>	13
<i>3.1.2.2.3 Colapso devido à destruição do elemento cimentante</i>	13
3.1.2.3 Critérios de Identificação de Solos Colapsíveis	14
<i>3.1.2.3.1 Critérios Baseados nos Limites de Consistência</i>	14
<i>3.1.2.3.2 Critérios Baseados nos Ensaios Oedométricos</i>	16
<i>3.1.2.3.3 Ensaios de Campo</i>	21
3.1.2.4 Conseqüências do Colapso de Solos	22
3.1.3 RISCOS GEOLÓGICOS	23
3.1.3.1 Aspectos Conceituais	23
3.1.3.2 Riscos geológicos no Brasil	31
3.1.3.3 Identificação e Análise	32
3.1.3.4 Representação Cartográfica de Risco Geológico	38
3.1.3.5 Gerenciamento de Riscos	41
3.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA	46
3.2.1 ASPECTOS NATURAIS	47
3.2.2 ZONEAMENTO DO MEIO FÍSICO	48

3.3 CADASTRO DAS OCORRÊNCIAS DE COLAPSO DE SOLOS....	51
3.3.1 LEVANTAMENTO DAS OCORRÊNCIAS.....	51
3.3.2 BANCO DE DADOS.....	53
3.3.3 MAPA DE CADASTRO.....	54
3.4 ANÁLISE DE SUSCETIBILIDADE DE OCORRÊNCIA DE COLAPSO DE SOLOS.....	55
3.4.1 SUSCETIBILIDADE NATURAL.....	55
3.4.2 SUSCETIBILIDADE INDUZIDA.....	58
3.5 AVALIAÇÃO DO RISCO DE OCORRÊNCIA DE COLAPSO DE SOLOS.....	60
3.5.1 CLASSIFICAÇÃO DAS CONSEQÜÊNCIAS DO PROCESSO.....	60
3.5.2 DETERMINAÇÃO DOS GRAUS DE RISCO.....	63
3.5.3 REPRESENTAÇÃO CARTOGRÁFICA DO RISCO.....	64
4 RESULTADOS E ANÁLISES.....	66
4.1 BANCO DE DADOS.....	66
4.2 CLASSIFICAÇÃO QUANTO À SUSCETIBILIDADE INDUZIDA.....	73
4.2.1 ANÁLISE DAS INFORMAÇÕES DAS TABELAS E GRÁFICOS.....	80
4.3 CADASTRAMENTO DE RISCO DE COLAPSO DE SOLOS.....	81
4.3.1 ANÁLISE DAS INFORMAÇÕES DAS TABELAS E GRÁFICOS.....	85
4.4 ZONEAMENTO DE RISCO DE COLAPSO DE SOLOS.....	86
5 CONCLUSÕES.....	87
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	89
ANEXOS	

RESUMO

OLIVEIRA, C.M.G. **Carta de risco de colapso de solos para a área urbana do Município de Ilha Solteira (SP)**. Ilha Solteira, 2002, 93p. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP.

O colapso de solos é um fenômeno típico de solos altamente porosos quando saturados, induzindo recalques significativos em fundações de obras civis, comprometendo total ou parcialmente estas obras. Tal fenômeno é bastante comum nos solos arenosos que ocorrem em boa parcela do Estado de São Paulo e em particular na cidade de Ilha Solteira. A grande disseminação de processos de colapso de solos em todo o Estado faz com que seu estudo seja imprescindível para o entendimento das variáveis que os condicionam e dos fatores que os desencadeiam. A proposta deste trabalho foi caracterizar o processo de colapso de solos na área urbana de Ilha Solteira, em termos de sua ocorrência, condicionantes, mecanismos e conseqüências, com o objetivo de avaliar e representar cartograficamente o risco de ocorrência deste processo. Os estudos mostraram que na área estudada a associação do comportamento natural do solo com problemas em obras de infra-estrutura urbana (redes de água e esgoto) induz uma situação de alta suscetibilidade de ocorrência de colapso de solos, o que pode ser notado pela disseminação de ocorrências por toda a área. A avaliação do risco de colapso de solos permitiu classificá-lo em alto, médio e baixo grau. As informações obtidas na avaliação de risco fundamentam a elaboração de medidas para eliminar ou reduzir os riscos instalados e ainda para evitar a instalação de novas áreas de risco. O resultado final foi a elaboração de uma carta de cadastramento de risco de colapso de solos e, a partir desta, a elaboração de uma carta de zoneamento de risco, constituindo-se em importantes ferramentas para projetos e obras de ocupação, além de fornecerem subsídios para elaboração de planos de seguro de edificações. A metodologia utilizada para avaliação e representação de risco de colapso de solos poderá ser aplicada em estudos nos bairros mais recentes da cidade de Ilha Solteira (que não foram considerados no trabalho) e, respeitadas especificidades locais, em outras áreas com problemas resultantes deste tipo de processo geológico.

PALAVRAS-CHAVE: Riscos naturais, avaliação de risco, colapso de solos, Ilha Solteira.

ABSTRACT

Soil collapse is a characteristic process in porous soils when saturated and produce large settlements in civil engineering foundations. This process is very common in typical fine sand soils present in State of São Paulo large areas, thus Ilha Solteira region. Due this process has affected large areas of São Paulo State the study of soils with collapsible behavior is very important to understand variables that cause or are responsible for the process. This work proposed to characterize the process of soil collapse (events, causes, mechanisms, consequences) in the Ilha Solteira urban area, purposing to evaluate and to present the risk of soil collapse on a chart. Studies showed that in the Ilha Solteira city the association of natural behavior of soil with problems in urban infrastructure works (water and sewage pipes) characterize a situation of high susceptibility of soil collapse, which can be observed by dissemination of occurrences by total area. The evaluation of soil collapse risk permitted to classify it in high, medium and small degree. Information gained in this risk evaluation is important for take the necessary steps for reduce, eliminate or avoid the problem of soil collapse. The final result was the representation of the soil collapse risk on cadastre and zoning charts, which constitute on important tool for adopting construction guidelines, besides to provide subsidies for elaboration of edifications insurance. Respecting locals specifications, the methodology utilized for evaluation and representation of risk of soil collapse can be applied in studies in other areas with similar problems.

KEYWORDS: Natural risks, risk evaluation, soil collapse, Ilha Solteira.

1 INTRODUÇÃO

O fenômeno de colapso de solos representa hoje um dos principais problemas cotidianos da geotecnia de boa parte da região sudeste do Brasil e, em especial, de uma parcela significativa do interior do Estado de São Paulo.

A cidade de Ilha Solteira não representa exceção ao quadro existente no Estado de São Paulo e a ocorrência de processos de colapso de solos no município tem sido responsável por recalques em fundações ocasionando danos nas edificações e conseqüentemente resultando em gastos com obras de recuperação.

O comportamento de solos colapsíveis quando solicitados tem sido alvo de vários estudos na cidade de Ilha Solteira, porém até a proposta deste trabalho não se encontrava registro de estudos visando à representação espacial de processos de colapso de solo bem como a avaliação de risco de ocorrência dos mesmos.

Dados de ensaios laboratoriais e de campo, obtidos sobre solos que ocorrem na região centro-oeste do Estado de São Paulo, mostram que os mesmos apresentam baixa resistência à penetração, baixa capacidade de carga, elevada compressibilidade, alta permeabilidade sob baixas cargas verticais. (FERREIRA, PERES & BENVENUTO, 1990).

Estas características criam condições favoráveis à ocorrência do colapso, o qual pode ser responsável por recalques em construções civis, podendo ocasionar pequenos danos (tais como o aparecimento de trincas em paredes e pisos, emperramento de portas e janelas) ou danos de maior magnitude afetando elementos estruturais e instalações ou causando a ruína parcial ou total de elementos de alvenaria.

Estudos mostram ainda que o processo de colapso de solo é governado pela estrutura do solo (tamanho dos macroporos e índice de vazios), pela umidade no instante considerado, pelas pressões a que estava submetido quando foi inundado e pela trajetória de tensões sob a qual foi conduzido antes da inundação. Testes de campo (provas de carga e ensaios penetrométricos) mostram que a capacidade de carga destes solos reduz a aproximadamente sua metade quando saturados. (FERREIRA, PERES & BENVENUTO, op. cit.).

O fato da ocupação inicial da área urbana da cidade de Ilha Solteira ter se dado em função da necessidade de instalação dos trabalhadores responsáveis pela construção da U.H.E. de Ilha Solteira, se constituindo assim num provisório núcleo urbano que deveria atender exclusivamente às necessidades da obra e ser posteriormente desativado, fez com que as análises para o início de implantação se dessem de forma superficial.

A carência de estudos de avaliação das condições naturais para adoção de critérios de construção tem ocasionado aumento no número de registro de processos de colapso de solos.

O conhecimento da existência de processos de colapso de solos e das condições que os potencializam pode proporcionar uma melhor adequação das obras de engenharia a esta realidade. Por este motivo foi proposto o presente trabalho cujo resultado final foi expresso nas cartas de cadastramento e de zoneamento de risco de colapso de solos para a área urbana de Ilha Solteira.

Para a elaboração das cartas de cadastramento e de zoneamento de risco de colapso de solos foi necessário estudar as características da área estudada, cadastrar as ocorrências de colapso de solos, analisar a suscetibilidade natural e induzida de ocorrência do processo e avaliar o risco de colapso de solos na área estudada. Estas atividades estão descritas nas etapas do trabalho.

O desenvolvimento de tal trabalho na área de concentração “Recursos hídricos e tecnologias ambientais” destaca, de maneira decisiva, a visão do colapso de solos como problema ambiental, tratamento bastante adequado porém pouco usual.

2 OBJETIVO

Avaliar, com base na possibilidade de ocorrência do processo e nos danos por ele causados, o risco de colapso de solos na área urbana de Ilha Solteira e representar sua distribuição em cartas de cadastramento e zoneamento de risco.

3 ETAPAS DO TRABALHO

Para se atingir o objetivo pretendido, o desenvolvimento do trabalho resultou em uma série de atividades correlatas englobando desde atividades de levantamento das informações até a produção da carta final.

Estas atividades podem ser descritas em cinco etapas: (1) Revisão Bibliográfica; (2) Caracterização da Área Estudada; (3) Cadastro das Ocorrências de Colapso de Solos; (4) Análise de Suscetibilidade de Ocorrência de Colapso de Solos; (5) Avaliação do Risco de Colapso de Solos.

3.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1.1 TÉCNICA DE AVALIAÇÃO DO TERRENO

3.1.1.1 Princípios e Conceitos

A preocupação apresentada pelos executores de trabalhos de cartografia geotécnica em agilizar os trabalhos de levantamento e definição de unidades do meio físico encontrou na geomorfologia uma resposta eficaz.

O uso de formas de relevo (*landforms*) como mecanismo preliminar de caracterização do meio físico com vistas à avaliação de propostas de implantação de obras de engenharia teve seu início na década de 40.

Os trabalhos pioneiros, no entanto, se concentravam no uso desta ferramenta exclusivamente para a avaliação de condições de implantação de obras lineares (estradas principalmente). Apenas a partir da década de 70 estes trabalhos passaram a ser efetuados abrangendo maiores áreas e com uma preocupação de avaliação regional das condições do meio físico, visando o planejamento regional da ocupação do meio físico.

A primeira discussão do uso de *landforms* para o zoneamento regional se deve a BOURNE (1931). O princípio da similaridade dos elementos de paisagem, proposto por BOURNE (1931), descreve a base de sustentação da técnica de avaliação do terreno; segundo este princípio “paisagens similares deveriam refletir condições evolutivas similares”.

A interligação entre os elementos da paisagem e as condições de solos e rochas e, como consequência, as condições geotécnicas, se deve a BELCHER (1942a, 1942b e 1943).

Após estes trabalhos, foram desenvolvidos estudos visando a utilização de fotografias aéreas para a identificação de *landforms* e sua aplicação em projetos de engenharia civil, como em BELCHER *et al* (1943), BELCHER (1946), JENKINS *et al.* (1946) e HITTLE (1949).

Para a adequada aplicação da técnica de avaliação do terreno é de fundamental importância o completo entendimento do que seja *landform*. A grande disseminação do uso de *landforms* para análise da paisagem e as múltiplas aplicações que o termo tem tido fazem com que existam conceitos com significados diversos para o mesmo termo.

Determinados conceitos apresentam caráter eminentemente fisiográfico, descrevendo *landform* como uma parcela do terreno passível de individualização das demais. Exemplos de trabalhos que se utilizam destes conceitos: HOWARD & SPOCK (1940); BELCHER (1946); GARNER (1974); COOKE & DOORNKAMP (1978); MONKHOUSE & SMALL (1978) e KRIEG & RENGER (1980).

MITCHELL (1948); WAY (1973) e BATES & JACKSON (1980) preferem caracterizar *landform* em função de seus aspectos genéticos.

Nos estudos de GREGORY (1978); WOLF (1983) e FOOKES & VAUGHAN (1986), os materiais (solos e rochas) presentes são utilizados como critério de definição e descrição.

HUNT (1974) e GEODFREY & CLEAVES (1991) consideram a importância das estruturas geológicas no desenvolvimento da forma.

Já RICE (1956) e AMERICAN GEOLOGICAL INSTITUTE (1974) consideram outro aspecto importante que diz respeito à distinção entre formas devidas a processos erosivos ou deposicionais.

Esta diversidade de enfoques usados nas diversas definições de *landform* encontradas na bibliografia torna difícil o seu uso sem a adoção de um conceito rígido e claro, que facilite o entendimento das bases do zoneamento efetuado.

Objetivando solucionar esta dificuldade optou-se pela definição operacional dada por LOLLO (1994), que foi elaborada para atender as seguintes exigências:

- apresentar uma descrição tipicamente fisiográfica de *landform* (possibilitando seu uso através do simples reconhecimento da forma, sem análises ou interpretações);
- não fazer distinções entre formas erosivas e deposicionais (diferença considerada relevante apenas na etapa de análise dos resultados);
- não usar os materiais como critério de distinção da forma de terreno (já que a diferença entre propriedades dos materiais deve ser uma consequência da eficiência da técnica e não um critério de análise); e
- não explicitar a influência da estrutura geológica (deixando-se esta consideração para análises posteriores).

Com base em todas estas exigências foi proposto o conceito operacional: “*landforms* são porções do relevo originadas de processos naturais e distinguíveis das porções vizinhas (demais *landforms*) em pelo menos um dos seguintes elementos de identificação: forma e posição topográfica, frequência e organização dos canais, inclinação das vertentes e amplitude do relevo”.

3.1.1.2 Aplicação da Técnica

A técnica de avaliação do terreno se baseia na possibilidade de dividir a área estudada em parcelas, em função de sua uniformidade fisiográfica, partindo-se do pressuposto que as feições do relevo (*landforms*) são o reflexo do conjunto de processos de dinâmica externa atuantes no passado e no tempo atual, condicionando não só sua forma, mas também os materiais nela presentes. O procedimento usual envolve a interpretação de fotografias aéreas, podendo-se porém aplicar a técnica lançando-se mão unicamente de trabalhos de campo, porém esta última opção significa longos trabalhos de campo, sendo portanto pouco utilizada, a não ser que o trabalho envolva área de dimensões reduzidas (LOLLO, 1998).

Por proporcionar maior agilidade no zoneamento do meio físico, a técnica de avaliação do terreno proporcionou um novo impulso aos trabalhos de caracterização do meio físico e facilitou a disseminação da aplicação do mapeamento geotécnico ao planejamento territorial.

De acordo com as finalidades pretendidas e em função também da escala de trabalho, pode-se dividir a área estudada em unidades cada vez menores denominadas de níveis hierárquicos.

O uso da técnica de avaliação do terreno pressupõe um enfoque baseado em três níveis hierárquicos de *landform* (do mais amplo geograficamente para o mais detalhado) denominados: sistema de terreno (*land system*), unidade de terreno (*land unit*) e elemento de terreno (*land element*).

Maior dentre os níveis hierárquicos de *landform*, o sistema de terreno é descrito como: “associação de formas de relevo com expressão espacial determinada e que representa condições similares de processos evolutivos e de materiais associados, representando um conjunto de processos ou um intervalo de tempo durante o qual esse conjunto de processos se encontrava ativo, esperando-se que apresente uniformidade em nível de substrato rochoso” (LOLLO, 1996).

A delimitação de sistemas de terreno se dá através de trabalhos de aerofotointerpretação (sistemática de reconhecimento e identificação de características dos terrenos), visando um reconhecimento das grandes expressões geomorfológicas observadas.

A unidade de terreno representa a primeira subdivisão do sistema de terreno e é descrita como “forma individual do terreno que se distingue das outras às quais está associada por indicar um determinado subconjunto de processos do sistema de terreno no qual se situa, estas características devem se refletir em nível de diferenças em termos do material inconsolidado associado à unidade” (LOLLO, op. cit.).

A unidade de terreno é reconhecida em trabalhos de aerofotoanálise (reconhecimento e delimitação de feições em padrões ou unidades).

O elemento de terreno (*land element*) corresponde a uma subdivisão da unidade de terreno, assim como a unidade o foi, do sistema de terreno.

Sua definição é: “parte de uma forma individual do relevo distinguível das demais partes em termos da inclinação ou forma das vertentes, posição topográfica ou forma topográfica, e que deve refletir condições diferenciadas de espessura de materiais inconsolidados ou variações laterais no perfil destes materiais” (LOLLO, op. cit.).

A delimitação de elementos de terreno é feita a partir da técnica de aerofotodedução (associação das informações coletadas com o conhecimento do intérprete sobre o terreno e os materiais nele presentes). O elemento de terreno representa dentro dos níveis hierárquicos o menor nível de trabalho, por isso requer um detalhamento mais preciso exigindo-se assim escalas grandes de trabalho.

Na Figura 1 tem-se uma representação da aplicação da técnica de avaliação do terreno, considerando os níveis hierárquicos citados.

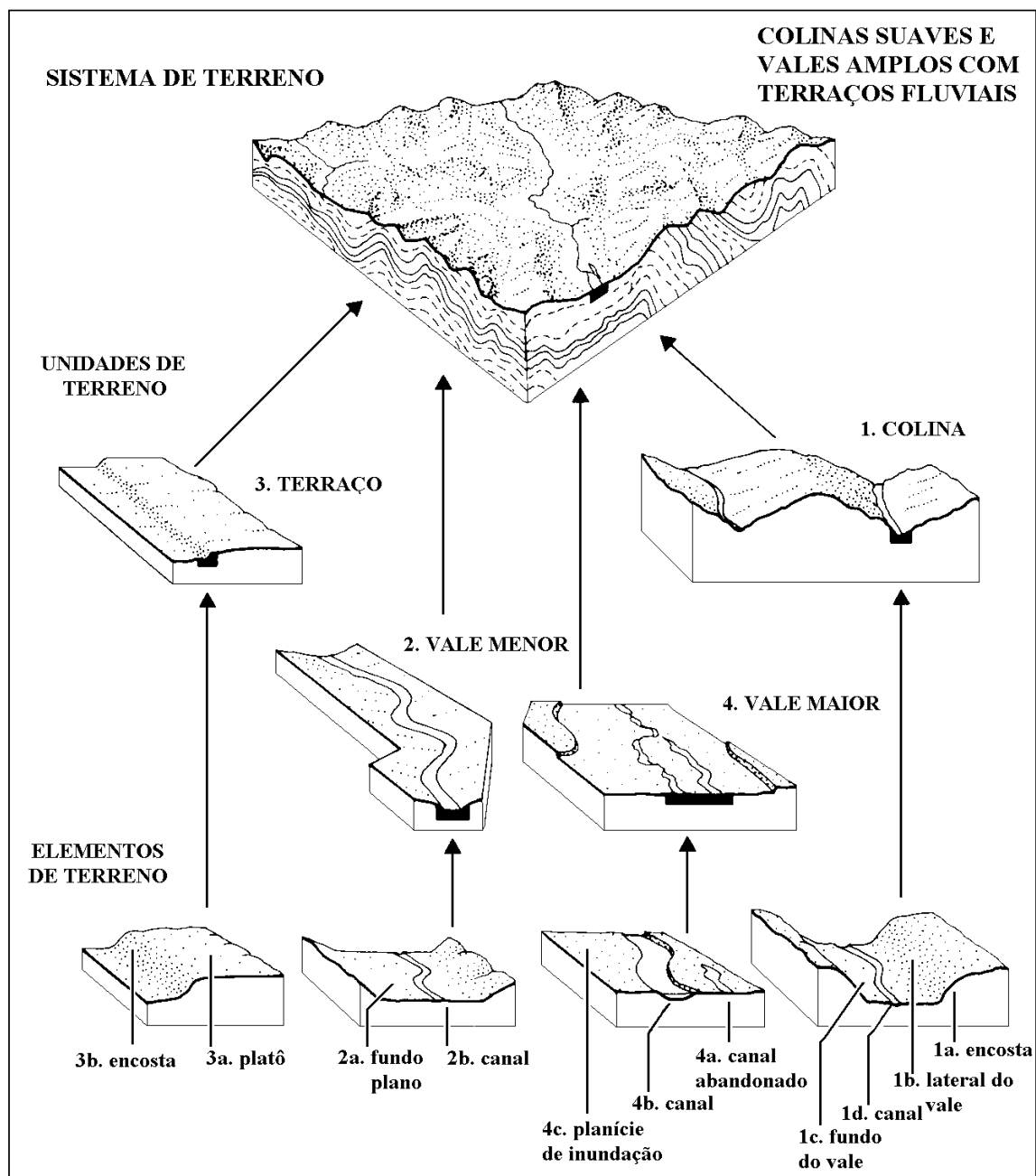


Figura 1 - Aplicação da técnica de avaliação do terreno (modificado de COOKE & DOORNKAMP, 1990, *apud* LOLLO, 1996).

LOLLO (1996), usando a técnica de avaliação do terreno no processo de elaboração do mapeamento geotécnico, propôs a seguinte sistemática para o levantamento das condições do meio físico:

(1) Levantamento de Informações e Materiais: obtenção de informações anteriores de natureza geológica e geotécnica (envolvendo produtos de sensores remotos, mapas, e boletins ou relatórios de estudos de prospecção geotécnica), e obtenção ou elaboração da base cartográfica.

(2) Uso de Fotos Aéreas / Avaliação do Terreno: montagem do fotomosaico e procedimentos de análise e interpretação do mesmo para delimitação dos *landforms* presentes na área (sistemas de terreno; unidades de terreno; elementos de terreno).

(3) Caracterização Geotécnica das Unidades: amostragem e ensaios.

(4) Elaboração de Mapas e Documentos Relacionados

Na aplicação da técnica de avaliação do terreno para fins geotécnicos, tem-se grande variação em termos de escalas e finalidades, determinando características diferentes para os trabalhos, os quais podem ser classificados em três categorias:

Regional Multifinalidade: tratam do zoneamento do terreno orientado à identificação de solos visando a caracterização e planejamento regional.

Regional Finalidade Específica: neste tipo de trabalho os interesses mais comuns são a atividade agrícola, a análise regional de riscos e a avaliação para a implantação de obras lineares.

Trabalhos Locais: incluem estudos de avaliação do terreno para fins de prospecção de materiais de construção e para análise de risco de estabilidade dos terrenos.

3.1.2 COLAPSO DE SOLOS

3.1.2.1 Caracterização

A manifestação do fenômeno de colapsibilidade do esqueleto sólido do solo pode se dar pela ação combinada dos seguintes processos: aumento do teor de água nos vazios do solo, e atuação de tensões maiores que o limite suportado pelo solo.

Os solos potencialmente colapsíveis apresentam um alto índice de vazios determinando uma estrutura porosa e um baixo teor de umidade, resultando um solo com baixo grau de saturação. Nestas condições o colapso do solo se manifesta por uma brusca redução em seu índice de vazios (SOUZA, 1992).

SULTAN (1971 *apud* VILAR *et al.*, 1981) enumera uma série de comportamentos que os solos exibem, quando do colapso:

- alguns solos sofrem colapso instantaneamente ao se aumentar o seu grau de saturação por umedecimento. Isso foi observado tanto para formações superficiais, como para formações profundas;
- alguns solos experimentam colapso após rebaixamento do nível do lençol freático. A retirada de água do subsolo provoca o rebaixamento do nível d'água e, conseqüentemente, essas camadas profundas têm suas tensões efetivas aumentadas (devido ao peso do solo sobrejacente), o que pode causar colapso do esqueleto sólido desses solos;
- alguns solos sofrem expansão após saturados e depois da aplicação das cargas externas sofrem substanciais recalques. Essa situação deve ser atribuída à presença de argilominerais altamente expansivos, como por exemplo, a montmorilonita;
- alguns solos loéssicos têm mostrado um aumento na magnitude e na velocidade de colapso, com o aumento das cargas aplicadas;
- algumas areias de origem eólica, com o aumento das cargas aplicadas, têm mostrado uma diminuição na velocidade de recalque;
- alguns solos não têm recuperado, ao longo do tempo, nenhuma parcela do volume perdido, quando do colapso; e
- alguns solos têm recuperado alguma parcela do volume perdido com o tempo, mesmo quando suportando a carga que provocou o colapso.

NAKAZAWA *et al.* (1995), além da característica natural da colapsibilidade dos solos, um importante fator deflagrador deste processo em áreas urbanas está relacionado ao sistema de abastecimento e à rede de esgoto, enterrados na porção superficial dos solos, onde a suscetibilidade natural é mais desenvolvida.

No caso de vazamentos em redes de esgoto, o problema se agrava quando a rede foi mal dimensionada para as vazões lançadas, ou quando os efluentes lançados na rede de esgoto são corrosivos ao material da própria tubulação da rede e reagentes ao solo, como acontece com os dispersantes de argila (soda cáustica, por exemplo)

De acordo com NAKAZAWA *et al.* (op. cit.), o fenômeno do colapso pode ocorrer em diferentes depósitos de solos como colúviais, aluviais, eólicos, residuais, fluxos de lama e aterros compactados. Como a origem destes solos é diversa, a sua determinação não auxilia na caracterização da probabilidade de ocorrência do colapso.

Conforme VILAR *et al.* (1981) apesar dos solos potencialmente colapsíveis estarem quase sempre relacionados a depósitos de origem recente em climas semi-áridos e áridos, não são poucos os exemplos que ocorrem em regiões com outros tipos de clima. A Tabela 1 apresenta alguns destes exemplos.

Tabela 1 – Tipos de solos, locais e climas (modificado de VILAR *et al.*, 1981).

IDENTIFICAÇÃO DO SOLO	LOCAL	CLIMA	REFERÊNCIAS
Areia porosa Argila porosa	Brasil	Úmido (tropical)	QUEIROZ (1960) SHERRER (1965) VARGAS (1973) DECOURT (1971) WOLLE <i>et al.</i> (1978)
Loess	EUA	Sub-úmido Árido e Semi-árido	CLEVINGER (1965) GIBBS & BARA (1967) SULTAN (1969)
Loess Solos arenosos	URSS	Sub-úmido Semi-árido	DENISOV (1951) SOKOLOVICH (1971) ABELEV (1975)
Areias com poucos finos Solos avermelhados Argilas: solos vermelhos	Angola Quênia	Semi-árido (tropical) Úmido (tropical)	FURTADO E MARTINS (1973) AITCHISON (1973)
Silte argiloso Silte arenoso	África do Sul	Semi-árido Sub-úmido (tropical)	JENNINGS & KNIGHT (1957) BRINK & KANTEY (1961)
Loess Areia argilosa (hamra)	Israel	Semi-árido	KASSIF (1957) AITCHISON (1973)
Argila arenosa (parna)	Austrália	Semi-árido	AITCHISON (1973)
Siltes e argilas Gepsíferos	Espanha	Semi-árido	AITCHISON (1973)
Loess	Romênia	Úmido	BALLY <i>et al.</i> (1965)
Siltes ou argilas com carbonatos Loess	Argentina	Sub-úmido	REGINATTO & FERRERO (1973) NUÑES (1975)

3.1.2.2 Mecanismos de Colapso do Solo

De acordo com MENDONÇA *et al.* (1993, *apud* MENDES, 2001) o “processo de colapso” é entendido como um rearranjo das partículas constituintes do solo, ocupando parcialmente os vazios antes existentes em decorrência da eliminação dos vínculos entre os grãos devido à interação destes com o fluido percolante e à aplicação da sobrecarga.

Segundo CLEMENCE (1981, *apud* VILAR *et al.*, 1981) desde que um solo possua uma estrutura altamente porosa, com uma situação de equilíbrio meta-estável entre as partículas maiores de sua composição, estará sujeito à ocorrência de colapso.

Neste caso, denomina-se equilíbrio meta-estável o estado no qual o sistema pode permanecer (apesar de não ser estável sob aquelas condições) mantendo-se sua estrutura pela presença de algum vínculo que seja capaz de lhe conferir um equilíbrio temporário.

No caso de solos sujeitos a fenômenos de colapsabilidade podem existir diferentes mecanismos de suporte específicos para cada situação, os quais são responsáveis pela manutenção do equilíbrio temporário.

O desequilíbrio é causado, nestas condições, pela redução dos mecanismos de suporte provocada pela atuação de um agente (mais comumente a água). Este desequilíbrio diminui o contato grão-a-grão do solo fazendo com que suas partículas maiores se movimentem no sentido de preencher os vazios existentes na estrutura, diminuindo assim o índice de vazios, provocando o colapso da estrutura.

Os principais mecanismos de manutenção do equilíbrio meta-estável, que propiciam um aumento temporário de resistência do solo, são as forças eletromagnéticas de superfície, forças capilares e a presença de compostos cimentantes entre as partículas maiores do solo. Para cada mecanismo de manutenção do equilíbrio do solo (que podem agir em conjunto ou isolados) existe um mecanismo de colapso que ocorre quando da ruptura do equilíbrio. (DUDLEY, 1970; NUÑES, 1975 *apud* VILAR *et al.*, 1981).

3.1.2.2.1 Colapso devido à redução de forças eletromagnéticas

Este mecanismo de colapso envolve uma estrutura de solo na qual as partículas maiores (areia e silte) são envolvidas por películas de partículas menores (argila) que apresentam ação marcante de forças de Van der Waals, de osmose e de atração molecular. A presença destas forças superficiais tende a aglutinar as partículas maiores ocasionando o acréscimo de resistência aparente.

A adição de água (por infiltração) reduz as forças de atração e conseqüentemente há diminuição da resistência do solo, pois o filme de argila existente entre as partículas torna-se mais espesso, tendendo a distanciá-las, favorecendo o colapso estrutural.

3.1.2.2.2 Colapso devido à diminuição das pressões capilares

As forças capilares existentes no solo são originadas pela redução do raio de curvatura dos meniscos de água que existem nos seus poros. Quando ocorre evaporação parcial da água, há aumento da pressão capilar com conseqüente aumento das pressões de contato entre as partículas maiores do solo.

Quando, porém, há infiltração da água e conseqüente aumento dos meniscos de água no interior dos poros do solo, as pressões capilares são destruídas (função da saturação total ou parcial do solo) diminuindo a resistência, induzindo a ocorrência de colapso.

3.1.2.2.3 Colapso devido à destruição do elemento cimentante

A presença de um composto cimentante entre as partículas do solo (normalmente representado por óxidos, fosfatos e carbonatos) é outro fator que propicia um aumento temporário de resistência. A ação cimentante faz com que os grãos do solo fiquem fixos em sua posição proporcionando uma estrutura densa.

A água que se infiltra no solo normalmente é rica em sais e ácidos dissolvidos, os quais têm o poder de destruir o efeito cimentante através de reações químicas com o composto cimentante. Este fato proporciona condições de mobilidade para as partículas do solo, provocando assim o colapso.

3.1.2.3 Critérios de Identificação de Solos Colapsíveis

Nas últimas décadas, muitos critérios e ensaios foram desenvolvidos para estudar o comportamento dos solos colapsíveis em campos experimentais e laboratórios.

Alguns critérios, aplicados em laboratório, se baseiam na avaliação dos índices físicos e limites de consistência, enquanto outros estão baseados em ensaios de adensamento com inundação do corpo de prova (ensaio oedométrico).

Os critérios baseados nos índices físicos apresentam processos de definição mais simples e baratos que podem ser utilizados com uma infra-estrutura relativamente limitada, no entanto fornecem apenas informações qualitativas a respeito do potencial de colapso de solos, contrário aos critérios que utilizam o ensaio de adensamento (ensaio oedométrico), que apesar de necessitarem de um suporte laboratorial bastante específico, podem fornecer valores prováveis de recalques provocados por colapso do solo.

3.1.2.3.1 Critérios Baseados nos Limites de Consistência

DENISOV (1951) estabeleceu um critério em que se aplica a relação entre índices de vazios, sendo o coeficiente de subsidência (K) definido como a relação entre o índice de vazios do solo no limite de liquidez (e_L) pelo índice de vazios no estado natural (e_0).

$$K = \frac{e_L}{e_0}$$

<i>Solos altamente colapsíveis</i>	<i>Margas não colapsíveis</i>	<i>Solos não colapsíveis</i>
$0,5 < K < 0,75$	$0,75 < K < 1,5$	$1,5 < K < 2,0$

PRIKLONSKIJ (1952, *apud* SOUZA, 1992) define um coeficiente (K_d), em função dos limites de liquidez (LL) e de plasticidade (LP), e do teor de umidade natural (w_o).

$$K_d = \frac{LL - w_o}{LL - LP}$$

<i>Solos altamente colapsíveis</i>	<i>Solos não colapsíveis</i>	<i>Solos expansivos</i>
$K_d < 0$	$K_d \geq 0,5$	$K_d > 1,0$

GIBBS & BARA (1967) definiram o coeficiente de subsidência R , dentro do conceito de saturação do solo no limite de liquidez, dado por:

$$R = \frac{w_{SAT}}{LL}$$

onde w_{SAT} é o teor de umidade para 100% de saturação e LL é o limite de liquidez.

Quando $R > 1,0 \Rightarrow$ solo colapsível.

Este critério pode ser utilizado a partir do diagrama apresentado na Figura 2, que segue uma consequência direta da aplicação da relação anterior.

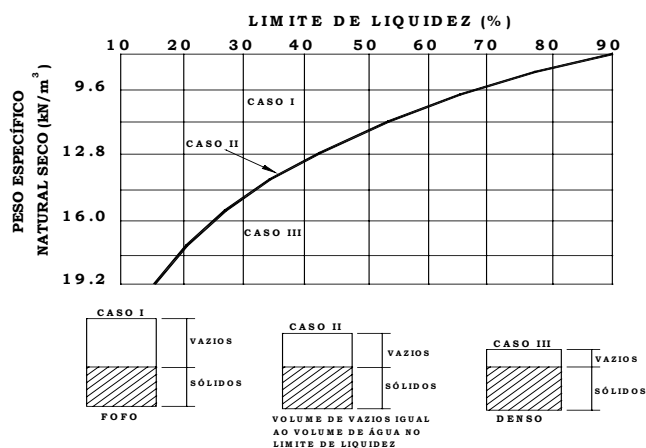


Figura 2 – Critério de Identificação da Colapsibilidade dos solos (modificado de GIBBS & BARA, 1967).

- Caso I – solo fofo, com um volume de vazios maior que o necessário para conter o volume de água correspondente ao teor de umidade no limite de liquidez. Pode ser saturado até o ponto em que ele não apresenta plasticidade e nem resistência, tornando-se totalmente propício ao colapso.
- Caso II – representa a condição limite, em que o volume de vazios é igual ao volume de água no limite de liquidez e serviu para traçar o gráfico da figura anterior que determina as densidades limites,
- Caso III – estado intermediário no qual o volume de vazios é igual ao volume de água correspondente ao teor de umidade no limite de liquidez. Portanto quando for saturado, terá um comportamento plástico conseqüentemente não estará sujeito ao colapso.

3.1.2.3.2 Critérios Baseados nos Ensaio Oedométricos

Ensaio Oedométrico Simples:

Neste ensaio o corpo de prova com teor de umidade natural é solicitado até uma tensão de interesse e posteriormente inundado. Com a inundação da amostra, a curva de compressão apresenta uma descontinuidade devido ao colapso estrutural do solo.

DENISOV (1951) determinou a intensidade das deformações volumétricas através de ensaios oedométricos simples com inundação por estágios. O coeficiente de subsidência total (R_T) é calculado pela soma de duas parcelas no mesmo nível de carregamento. A primeira parcela (R_p) ocorre devido à aplicação de tensão (σ_v) sobre o corpo de prova e a segunda parcela (R_w) devido à inundação da amostra.

Coefficiente de subsidência parcial devido à aplicação de tensão vertical (R_p):

$$R_p = \frac{e_o - e_p}{1 + e_o}$$

onde e_o é o índice de vazios inicial e e_p é o índice de vazios devido à aplicação do carregamento.

Coefficiente de subsidência parcial devido à inundação da amostra (R_w):

$$R_w = \frac{e_p - e_w}{1 + e_p}$$

onde e_p é o índice de vazios devido à aplicação do carregamento e e_w é o índice de vazios final devido à inundação do corpo de prova.

Coefficiente de subsidência total (R_T):

$$R_T = \frac{e_o - e_w}{1 + e_o}$$

onde e_o é o índice de vazios inicial e e_w é o índice de vazios final devido à inundação do corpo de prova.

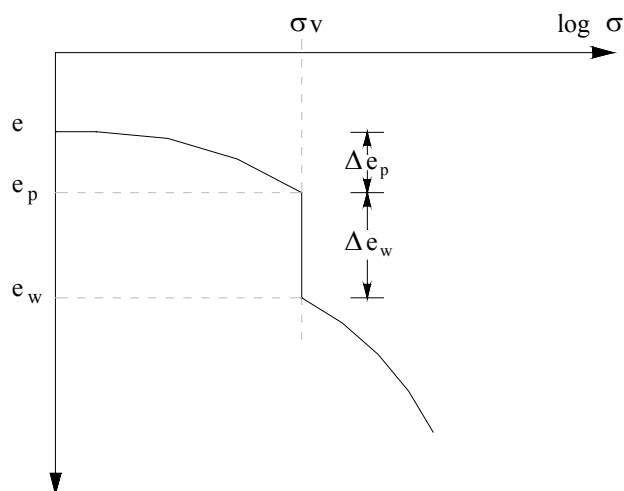


Figura 3 – Curva de compressão (e x log σ) do ensaio oedométrico simples (DENISOV, 1951).

JENNINGS & KNIGHT (1975) definiram o potencial de colapso (CP) com base em ensaios oedométricos simples, servindo de guia para obras construídas sobre solos colapsíveis.

Para a determinação do potencial de colapso, o ensaio é conduzido até a tensão de 200kPa. Com o término das deformações devido a este carregamento, o solo é inundado e após 24h solicitado com carregamentos progressivos até o término do ensaio.

$$CP = \frac{\Delta e_c}{1 + e_o} \cdot 100\%$$

onde Δe_c é a variação do índice de vazios pela inundação e e_o é o índice de vazios inicial.

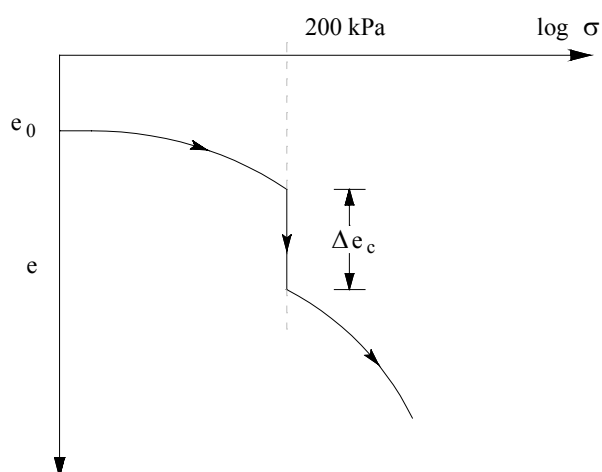


Figura 4 – Curva de compressão (e x log σ) do ensaio oedométrico simples (modificado de JENNINGS & KNIGHT, 1975).

A Tabela 2 correlaciona os potenciais de colapso (CP) com a gravidade do problema esperado na obra.

Tabela 2 – Potencial de Colapso (CP) segundo JENNINGS & KNIGHT (1975)

CP (%)	Gravidade do Problema
0 – 1	Nenhum
1 – 5	Moderado
5 – 10	Problemático
10 – 20	Grave
> 20	Muito Grave

VARGAS (1978) considerou apenas o efeito da inundação no solo, ou seja, a grandeza do colapso estrutural é medida pela variação do índice de vazios pela inundação. Para este autor, solos que apresentam $i > 0,02$ são colapsíveis.

$$i = \frac{\Delta e}{1 + e_i}$$

onde Δe é a variação do índice de vazios pela inundação e e_i é o índice de vazios inicial, antes da inundação.

LUTENEGGER & SABER (1988) apresentaram uma definição para o potencial de colapso (I) diferente de JENNINGS & KNIGHT (op. cit.). Consiste em conduzir o ensaio até a tensão de 300kPa (ou outro nível de tensão apropriado) e em seguida inundá-lo com água ou outro fluido de interesse.

$$I = \frac{\Delta e}{1 + e_i} \cdot 100\%$$

onde Δe é a variação do índice de vazios pela saturação e e_i é o índice de vazios inicial, antes da inundação.

A Tabela 3 apresenta os potenciais de colapso (I) relacionados com a gravidade do problema.

Tabela 3 – Potencial de Colapso (I) segundo LUTENEGGER & SABER (1988)

Gravidade do Problema	I (%)
Leve	2,0
Moderada	6,0
Alta	10,0

Ensaio Oedométrico Duplo:

Consiste em preparar dois corpos de prova com características similares, extraídos da mesma profundidade, para serem ensaiados. Uma amostra é ensaiada na umidade natural e outra inundada desde o início. Com o término dos ensaios, as curvas (e x $\log\sigma$) são sobrepostas fornecendo valores de recalques de colapso a cada nível de tensão.

REGINATTO & FERRERO (1973) avaliaram a magnitude do colapso em cada nível de tensão aplicado sobre o solo através de ensaios oedométricos duplos. Por este método, é possível relacionar a intensidade do colapso com o nível de carga, verificando quais as tensões proporcionam os maiores potenciais de colapso.

$$C = \frac{\sigma_{fs} - \sigma_o}{\sigma_{fn} - \sigma_o}$$

onde σ_{fs} é a tensão de fluência do solo saturado, σ_{fn} é a tensão de fluência do solo com teor de umidade natural e σ_o é a tensão vertical geostática (provocado pelo solo subjacente).

Os resultados obtidos através da expressão que fornece o coeficiente de colapso (C) podem ser interpretados da seguinte forma:

- $C < 0 \Rightarrow$ solo verdadeiramente colapsível.
- $0 < C < 1 \Rightarrow$ solo condicionalmente colapsível. O solo será colapsível dependendo da tensão vertical total (σ) atuante sobre o solo. Sendo que quando $\sigma_{vo} < \sigma_{vps}$, não ocorrerá colapso do solo; entretanto se $\sigma_{vps} < \sigma_{vo} < \sigma_{vpn}$, o colapso ocorre quando o solo é inundado; e se $\sigma_{vo} > \sigma_{vpn}$, o colapso ocorre mesmo sem inundação do corpo de prova.
- $C = 1 \Rightarrow$ solo não colapsível e seu comportamento independe do grau de saturação, neste caso tem-se $\sigma_{vps} = \sigma_{vpn}$.

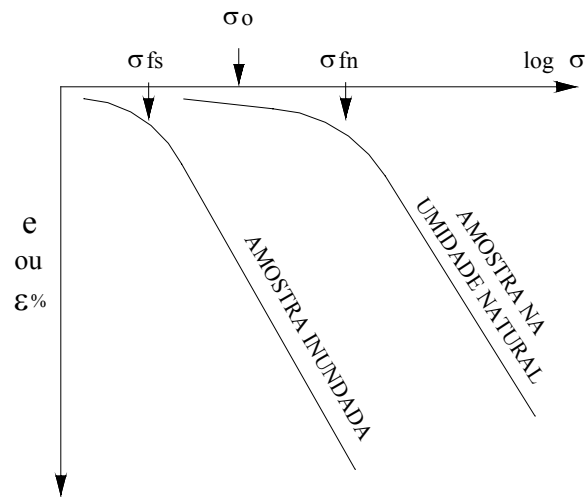


Figura 5 – Curvas de compressão ($e \times \log \sigma$) do ensaio oedométrico duplo (modificado de REGINATTO & FERRERO, 1973).

O ensaio oedométrico duplo proposto por JENNINGS & KNIGHT (1975) consiste em ensaiar duas amostras com características similares, ambas submetidas a um pequeno carregamento de 1,0 kPa durante 24 horas. Então, uma delas é inundada por 24 horas e a outra é mantida na umidade natural. Após todos os estágios de carregamento são traçadas as curvas $e \times \text{Log} \sigma_v$ correspondentes aos ensaios natural e inundado (Figura 6).

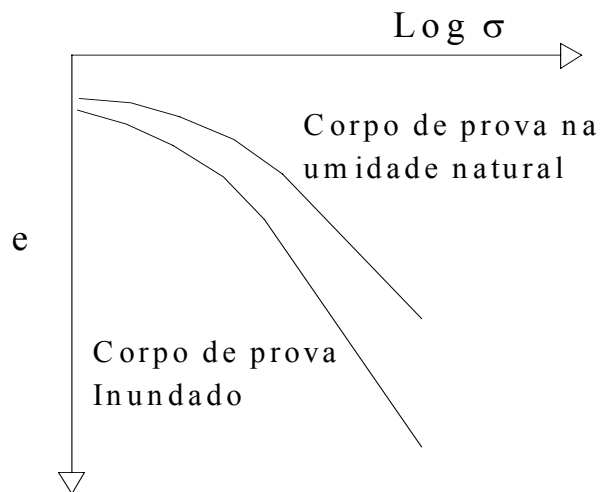


Figura 6 – Curvas de compressão ($e \times \log \sigma$) do ensaio oedométrico duplo (modificado de JENNINGS & KNIGHT, 1975).

3.1.2.3.3 Ensaio de Campo

CARVALHO & SOUZA (1990) estudaram o solo colapsível de Ilha Solteira-SP realizando duas provas de carga diretas em placas (uma com o solo na umidade natural e outra com o solo inundado) e quatro provas de carga em estacas escavadas, com 6 metros de profundidade e 0,25 metros de diâmetro (duas a tração e duas a compressão, com o solo no estado natural e inundado).

Com os resultados, os autores constataram a perda significativa da resistência do solo com a inundação, caracterizando o comportamento colapsível do solo local.

FERREIRA, PERES & BENVENUTO (1990) realizaram seis provas de carga sobre placa circular rígida de 0,80 metros de diâmetro, em um local representativo dos solos porosos que ocorrem no oeste do Estado de São Paulo. Estas provas foram conduzidas nas condições: sem inundação e inundada a uma pressão próxima à atuante na cota da placa (pressão geostática + pressão de edificações). Foram ensaiados os horizontes de 1, 2 e 4 metros, sendo que nas provas de 1 metro foram instalados medidores de recalques que viabilizaram a obtenção de deformações ao longo de todo o bulbo carregado, sob a placa e também em uma vertical imediatamente externa.

FERREIRA (1993), FERREIRA & LACERDA (1993 e 1995) e FERREIRA *et. al.* (1996) desenvolveram e construíram um equipamento de campo chamado Expansocolapsômetro que permite obter a curva carga-deslocamento e a partir destes resultados a relação tensão-deformação do solo, em diferentes profundidades com controle da vazão de inundação, sendo possível realizar em campo ensaios similares aos oedométricos simples e duplos de laboratório. O Expansocolapsômetro é composto de duas partes, sendo a primeira semelhante a um ensaio de placa (diâmetro da placa 100 mm) e a outra de controle da vazão de inundação (FERREIRA & FUCALE 1999).

3.1.2.4 Conseqüências do Colapso de Solos

Conforme AGNELLI (1992, *apud* MENDES, 2001), os solos que apresentam características de colapsibilidade constituem-se numa preocupação dentro da geotecnia, principalmente quando utilizados como camada de suporte das fundações nas construções. Muitas obras apresentam trincas imediatamente após a infiltração de água no solo. Essa infiltração acidental pode ser proveniente, em muitos casos, do rompimento de condutores de água, de esgoto e da própria chuva. A água infiltrada aumenta o grau de saturação do terreno quebrando a estabilidade do solo, provocando recalques imediatos, os quais são responsáveis por danos estruturais nas obras.

Os recalques dos terrenos de fundação decorrentes do colapso do solo e suas conseqüências mais comuns, como danificação de edificações, de obras de infra-estrutura e de leitos viários, figuram como problemas importantes e cada vez mais freqüentes nas áreas urbanas e industriais.

Ocorrem, principalmente, nos setores de ocupação mais antiga, onde itens da infra-estrutura, como as redes de água e esgoto, galerias pluviais e áreas úmidas de residências, estão degradadas, subdimensionadas e/ou obsoletas. Além disto, a maior parte das edificações não conta com estruturas de fundação adequadas para este tipo de fenômeno (NAKAZAWA *et al.*, 1995).

A Norma Brasileira sobre Projeto e Execução de Fundações (NBR 6122/96), no item 6.2.2.4, fixa a seguinte observação quanto aos solos colapsíveis: “Para o caso de fundações apoiadas em solos de elevada porosidade, não saturados, deve ser analisada a possibilidade de colapso por encharcamento, pois estes solos são potencialmente colapsíveis. Em princípio devem ser evitadas fundações superficiais (rasas) apoiadas neste tipo de solo, a não ser que sejam feitos estudos considerando-se as tensões a serem aplicadas pelas fundações e a possibilidade de encharcamento do solo.”, e também descreve a seguinte nota de observação: “A condição de colapsibilidade deve ser evitada através de critérios adequados, não se dispensando a realização de ensaios edométricos com encharcamento do solo.” (MENDES, 2001)

3.1.3 RISCOS GEOLÓGICOS

3.1.3.1 Aspectos Conceituais

Os processos geológicos fazem parte da dinâmica natural do planeta, ou seja, sua ocorrência independe da presença do homem. Entretanto, com a intensificação das atividades humanas, muitos processos geológicos passaram a ocorrer com mais frequência, dado que podem ser induzidos, acelerados e potencializados pelas alterações decorrentes do uso e ocupação do solo (CERRI & AMARAL, 1998).

Segundo CERRI & AMARAL (op. cit.), a ocorrência de processos da geodinâmica interna e externa em áreas ocupadas pode provocar sérios acidentes geológicos. Tais acidentes afetam diretamente o homem, podendo provocar graves prejuízos econômicos e até mortes.

Em razão deste fato, com o tempo, o conceito risco passou a incluir, além dos processos naturais, os processos induzidos pelo homem, e a Geologia de Engenharia passou a analisar, descrever e caracterizar os processos geológicos, sejam exclusivamente naturais ou resultantes da ação humana.

Os riscos geológicos podem ser subdivididos, segundo a natureza dos processos, em dois tipos: os endógenos e os exógenos. Os riscos geológicos do tipo endógeno são aqueles relacionados à dinâmica interna do planeta (terremotos, atividades vulcânicas, “tsunamis”). Os riscos geológicos do tipo exógeno são aqueles associados aos processos que ocorrem na superfície da terra (escorregamentos, erosão e assoreamento, subsidências e colapsos de solo).

A área de Riscos Geológicos caracteriza-se por ser um campo de atuação que conjuga métodos e técnicas de análise de outros ramos profissionais. Existem muitas fontes bibliográficas que contemplam conceitos relacionados a riscos geológicos e termos associados. Visando direcionar os estudos, foram selecionados alguns conceitos que vêm sendo utilizados por diferentes grupos de profissionais envolvidos na área em estudo:

UNDRO (1978):

AMEAÇA - evento raro ou extremo no meio natural ou antrópico que afeta adversamente a vida, propriedades ou atividades humanas a ponto de causar um desastre.

DESASTRE - alteração séria das funções de uma sociedade que ocasiona perdas humanas, materiais ou ambientais de tal gravidade que excedem a capacidade da sociedade afetada de assimilar usando somente seus próprios recursos.

AVALIAÇÃO - processo para determinar o impacto de um desastre ou acontecimentos em uma sociedade, com a necessidade de tomar medidas emergenciais imediatas para salvar e manter a vida dos sobreviventes e as possibilidades de acelerar a recuperação e o desenvolvimento.

RISCO - para os propósitos de engenharia, o risco é descrito como as perdas esperadas (vida, propriedade, interrupção das atividades econômicas) causadas por um fenômeno particular. São quantificados em função da probabilidade "sucessos" (eventos) particulares e as perdas que cada um causa. Outros técnicos utilizam o termo para expressar a probabilidade de que ocorra um desastre e que resulte em determinado nível de perda.

AUGUSTO FILHO *et al.* (1990):

Analisando a literatura técnica específica de língua inglesa, propõem que os termos "disaster", "event" e "hazard" correspondam, em português, a acidente, evento e risco, respectivamente. Consideram, ainda, que o uso da palavra desastre aplica-se ao caso de acidente de grandes proporções, particularmente quanto às dimensões das perdas e danos associados, sejam eles sociais e/ou econômicos.

AUGUSTO FILHO *et al.* (op. cit.) conceituam risco geológico como uma "circunstância ou situação de perigo, perda ou dano, social e econômico, devida a uma condição geológica ou a uma possibilidade de ocorrência de processo geológico, induzido ou não".

ANBALAGAN (1992):

PERIGO – refere-se à existência de um fenômeno natural, como rastejo, queda de blocos ou fluxo de detritos.

HAZARD – refere-se à probabilidade de ocorrência de um perigo. O período de tempo pode ser indicado em termos relativos para diferentes tipos de hazards.

RISCO - refere-se à natureza dos danos como aqueles causados pela ocorrência de uma ruptura. Os danos podem ser em termos de perdas de vida, de solo ou propriedades. A extensão dos danos (prejuízos) depende da existência e forma de ocupação do solo, ou seja, a população afetada. Risco é função do hazard e o potencial dos danos.

$$R = f(HP, DP)$$

onde *HP* é a probabilidade do hazard e *DP* é o potencial dos danos.

CERRI (1993):

ACIDENTE - fato já ocorrido, onde foram registradas conseqüências sociais e / ou econômicas relacionadas diretamente ao fato.

EVENTO - fato já ocorrido, onde não foram registradas conseqüências sociais e/ou econômicas relacionadas diretamente ao fato.

RISCO - possibilidade de registro de um acidente; resultado da combinação entre possibilidade de ocorrência de um evento e as conseqüências sociais e econômicas potenciais.

SUSCEPTIBILIDADE - probabilidade de ocorrência de um evento.

Segundo o autor tem-se:

$$S = P \text{ e } R = P \times C$$

onde *S* é a suscetibilidade, *P* é a probabilidade de ocorrência de um evento, *R* é o risco e *C* são as conseqüências sociais e/ou econômicas potenciais.

OGURA (1995):

ACIDENTE - acontecimento calamitoso, em que foram registradas perdas sociais e/ ou prejuízos econômicos.

EVENTO - acontecimento em que não foram registradas perdas sociais e/ ou econômicas.

PERIGO - ameaça potencial a pessoas ou bens.

RISCO - possibilidade de eventos perigosos produzirem conseqüências indesejáveis. É o perigo pressentido, melhor avaliado, isto é; uma perda potencial avaliada.

Segundo o autor a equação básica de risco ($R = P \times C$) considera dois parâmetros principais: a probabilidade de ocorrência do fenômeno (P) e as conseqüências ou custos socioeconômicos associados (C).

Analisando os conceitos e equações, apresentados anteriormente, nota-se que para a análise de risco é necessário o conhecimento da frequência ou probabilidade de ocorrência de um fenômeno e da magnitude das conseqüências socioeconômicas associadas à deflagração deste fenômeno. Assim, a equação mais genérica, que expressa o risco, é dada por:

$$R = P \times C$$

onde P é a probabilidade de ocorrência do processo em questão e C são as conseqüências sociais e econômicas potenciais associadas.

Outros autores têm proposto equações de risco de ocorrência de fenômenos geológicos com parâmetros variáveis em função do tipo de processo e grau de conhecimento técnico acumulado sobre a dinâmica do mesmo.

BOLT *et al.* (1975 *apud* AUGUSTO FILHO, 2001) propõem um índice denominado *hazard priority* (HP) para a determinação dos locais prioritários para a implantação de medidas de mitigação de riscos de origem geológica. Este índice é definido por:

$$HP = GS \times IB \times PY, \text{ onde:}$$

GS - severidade geológica (*geological severity*), danos médios potenciais associados à deflagração de processos geológicos num dado local, expressos em dólares;

IB - benefício imediato (*immediacy benefit*), fator que mede o benefício obtido pela implantação de medidas de mitigação de riscos geológicos. É obtido da taxa de crescimento projetada descontada de uma porcentagem dos valores da infraestrutura urbana já existente; e

PY - número de pessoas por ano (*Number of Person – Years*), média do número de pessoas residentes num distrito urbano por década.

VARNES *et al.* (1985) define a seguinte equação de risco:

$$R_t = E \times R_s, \text{ sendo que:}$$

R_t - risco total (expectativa de perda de vidas humanas, de pessoas afetadas, de danos a propriedades ou interrupção de atividades econômicas particularmente, em razão de um fenômeno natural);

E - elementos de risco (população, propriedades, atividades econômicas, incluindo serviços públicos, etc. sob risco em determinada área);

R_s - risco específico: grau de expectativa de perdas em razão de um fenômeno natural em particular, expresso pela equação:

$$R_s = H \times V, \text{ onde:}$$

H - risco natural (probabilidade de ocorrência de um fenômeno potencialmente danoso, em um período de tempo específico, em uma determinada área);

V - vulnerabilidade (grau de perda de um dado elemento de risco, ou um conjunto de elementos de risco, resultante da ocorrência de um fenômeno natural de uma determinada magnitude; expresso em escala de 0 (sem perdas) a 1 (perda total)).

CENDRERO *et al.* (1987) expressam os riscos através da expressão:

$$CR = \frac{V \times v}{P}$$

onde CR é o coeficiente de risco, V é o valor de perdas humanas e materiais na área afetada, v é a vulnerabilidade (porcentagem do valor que se admite perder durante um evento catastrófico) e P é a periodicidade, em anos, de acidentes.

É interessante observar que o coeficiente de risco definido por CENDRERO *et al.* (op. cit.) é expresso em valores monetários. Porém, os autores não descrevem como são atribuídos os valores monetários correspondentes às perdas humanas e materiais, nem tampouco como obter a porcentagem deste valor que se admite perder durante um acidente.

Este último aspecto também não é explicado por AYALA & PEÑA (1989) que, em trabalhos realizados na Espanha, empregam a seguinte expressão ao que denominam risco ou nível de risco:

$$R = P \times v \times V$$

onde R é o risco ou nível de risco, P é a probabilidade, v é a vulnerabilidade (o que se admite perder, de um determinado valor, em um evento catastrófico), V é o valor do bem vulnerável e P é a probabilidade.

$$P = \frac{1}{T}$$

onde T é a recorrência ou periodicidade.

A OFICINA NACIONAL PARA LA PREVISION Y ATENCION DE DESASTRES (1990) define a análise de risco como a conjugação dos seguintes parâmetros:

RISCO = AMEAÇA x VULNERABILIDADE, onde:

AMEAÇA: perigo latente de um local, relativo à possível ocorrência de um evento catastrófico em um período de tempo determinado. A ameaça independe da presença ou não de pessoas ou bens; e

VULNERABILIDADE: é a condição em que se encontram as pessoas e os bens expostos a uma ameaça, os quais, pelo seu grau de informação ou capacitação, ou por sua quantidade, localização, conformação material, disposição funcional, etc., têm um determinado grau de capacidade ou inabilidade para enfrentar ou suportar a ação da possível catástrofe.

Alguns autores vêm adotando também o conceito de risco atual e potencial (VARNES *et al.*, 1985; CENDRERO *et al.*, 1987; AUGUSTO FILHO, 1994). Para estes autores, as áreas de risco atual correspondem aos locais com situações diferenciadas de risco instalado, representando um certo corte no tempo. Nestes locais, os estudos visam a redução dos riscos. Ainda segundo os autores citados, as situações de risco potencial caracterizam os terrenos quanto à sua suscetibilidade para geração de novas situações de risco, em áreas ainda não intensamente ocupadas, fornecendo subsídios para a expansão e o adensamento das diferentes formas de uso do solo.

O IUGS Working Group – Committee on Risk Assessment (1997, *apud* AUGUSTO FILHO, 2001) reconhece que existe uma diversidade de definições relacionadas a risco e apresenta uma proposta de conceituação neste sentido, utilizada pelo Grupo de Estudo de Escorregamentos, vinculado à União Internacional das Ciências Geológicas (International Union of Geological Sciences – IUGS). O Quadro 1 apresenta uma síntese dos principais termos e definições propostas por este Grupo de Estudo.

TERMO	DEFINIÇÃO
Risco (risk)	uma medida da probabilidade e severidade de um efeito adverso para a saúde, propriedade ou ambiente. Risco é geralmente estimado pelo produto entre a probabilidade e as conseqüências. Entretanto a interpretação mais genérica de risco envolve a comparação da probabilidade e conseqüências, não utilizando o produto matemático entre estes dois termos, para expressar níveis de risco.
Processo perigoso (danger)	o fenômeno natural geometricamente e mecanicamente caracterizado (no caso, os fenômenos naturais seriam os diferentes tipos de escorregamentos).
Perigo (hazard)	uma condição com potencial para causar uma conseqüência desagradável. Descrições de perigo de escorregamento, particularmente voltadas para o zoneamento, deveriam incluir as características dos escorregamentos, tais como, os volumes ou áreas dos escorregamentos e a probabilidade de ocorrência deles. Também devem existir valores descrevendo as velocidades absolutas e relativas dos escorregamentos. Alternativamente, o perigo é a probabilidade de um escorregamento particular ocorrer num dado período de tempo.
Elementos sob risco (elements at risk)	significando a população, as edificações e as obras de engenharia, as atividades econômicas, os serviços públicos e a infraestrutura na área potencialmente afetável pelos escorregamentos.
Probabilidade (P) (probability)	a probabilidade de um resultado específico, medido pela razão entre o número de resultados específicos e todos os resultados possíveis. A probabilidade é expressa como um número entre 0 e 1, com 0 indicando um resultado impossível, e 1 indicando que um resultado é certo.
Vulnerabilidade (V) (vulnerability)	o grau de perda para um dado elemento ou grupo de elementos dentro de uma área afetada por escorregamentos. Ela é expressa em uma escala de 0 (sem perda) a 1 (perda total). Para propriedades, a perda será o valor da edificação; para pessoas, ela será a probabilidade de que uma vida seja perdida, em um determinado grupo humano que pode ser afetado pelos escorregamentos.
Análise de Risco (risk analysis)	o uso da informação disponível para estimar o risco para indivíduos ou populações, propriedades ou o ambiente. A análise de risco, geralmente, contém as seguintes etapas: definição do escopo; identificação do perigo; e a determinação do risco.
Avaliação de Risco (risk assessment)	o processo de avaliação e análise de risco.
Estimativa do Risco (risk estimation)	o processo usado para produzir uma medida do nível de risco das pessoas, das propriedades ou do ambiente que está sendo analisado. A estimativa de risco envolve as seguintes etapas: análise da frequência do acidente considerado; análise das conseqüências potenciais relacionadas ao acidente; e a integração entre elas.
Cálculo de Risco (risk evaluation)	o estágio no qual valores e julgamentos entram no processo de decisão, explicitamente ou implicitamente, pela inclusão da consideração da importância dos riscos estimados e as conseqüências sociais, ambientais e econômicas associadas, com o objetivo de identificar o leque de alternativas de mitigação destes riscos.
Gerenciamento de Risco (risk management)	o processo completo de avaliação e controle de risco.
Risco Aceitável (acceptable risk)	nível de risco para o qual, para os propósitos da vida ou trabalho, nós estamos preparados para aceitá-lo como ele é, sem considerar seu gerenciamento. A sociedade geralmente não considera justificável gastos adicionais para redução destes riscos.
Risco Tolerável (tolerable risk)	um risco que a sociedade está disposta a aceitar para viver com ele a fim de obter certos benefícios líquidos, na confiança que este risco está sendo propriamente controlado, mantido sob inspeção e que será melhor reduzido como e quando possível.
Risco Individual (individual risk)	o risco de morte e/ou danos para qualquer indivíduo identificável que vive em uma zona exposta ao perigo, ou quem segue um padrão particular de vida que o submete às conseqüências deste perigo (de escorregamento, no caso).
Risco Social (societal risk)	o risco de múltiplos danos ou mortes para toda a sociedade, um risco no qual a sociedade poderá carregar o peso de um acidente causando várias mortes, injúrias, perdas financeiras, ambientais, etc.

Quadro 1: Definição dos principais termos utilizados na análise de risco ambiental, e em particular, os associados a escorregamentos (IUGS Working Group – Committee on Risk Assessment, 1997 *apud* AUGUSTO FILHO, 2001)

3.1.3.2 Riscos geológicos no Brasil

No Brasil, a preocupação com a elaboração de cartas de risco teve início somente na década de 80 quando, como resultado da extensão dos acidentes em centros urbanos (principalmente associados a escorregamentos), foi constatada a necessidade de se preparar instrumentos que possibilitassem a definição de medidas de prevenção de acidentes.

No final da década de 80 houve uma evolução na qualidade das cartas de risco em consequência da consolidação dos conceitos sobre risco geológico, por intermédio da divulgação de trabalhos acadêmicos em congressos científicos e em razão do desenvolvimento de projetos de pesquisa em universidades e institutos de pesquisa.

A partir do final dos anos 80, a importância das cartas de risco tornou-se uma realidade, sendo estas consideradas tão indispensáveis como as cartas geotécnicas, voltadas para orientar o uso do solo. Nos anos 90, os serviços de cartografia de risco incluíram-se dentre as atividades mais procuradas no campo da Geologia de Engenharia, principalmente naqueles serviços contratados pelos órgãos públicos municipais. (CERRI & AMARAL, 1998).

Predominam no Brasil os riscos geológicos do tipo exógeno, associados aos processos da dinâmica superficial. Os acidentes associados a estes processos geralmente são induzidos ou potencializados por intervenções nos terrenos, executados de maneira errada pelo homem.

Vários autores (CERRI, 1993; OGURA, 1995; MACEDO & AKIOSSI, 1996) afirmam que dentre os acidentes geológicos que ocorrem no Brasil, aqueles associados aos escorregamentos representam as situações de maior gravidade, principalmente em razão de serem os que mais têm provocado mortes no Brasil.

Dos processos geológicos endógenos, somente os terremotos associam-se a situações de risco no Brasil, sendo que geralmente são de baixa intensidade, e têm causado pequenos danos econômicos.

Dada a inexistência de banco de dados oficiais de âmbito nacional, a quantificação precisa das consequências dos acidentes geológicos ocorridos no Brasil fica prejudicada. Entretanto, a partir de informações de artigos técnicos, de órgãos de imprensa, de relatos de profissionais e de depoimentos de populares envolvidos em acidentes geológicos, é possível avaliar seus impactos.

3.1.3.3 Identificação e Análise

O estabelecimento de medidas adequadas para a eliminação ou diminuição das situações de risco depende do conhecimento da frequência, das características e da magnitude dos processos geológicos causadores de risco numa área, ou seja, depende da realização das etapas de identificação e análise de risco.

De acordo com CERRI & AMARAL (1998), a etapa de identificação dos riscos geológicos envolve a definição, a caracterização, a identificação dos condicionantes, dos agentes deflagradores e da área de influência do(s) processo(s) geológico(s) que determinam situações de risco. Para a consecução desta etapa é fundamental o desenvolvimento de detalhado trabalho de campo.

Para priorizar as medidas necessárias à eliminação do risco, desenvolve-se a etapa de análise de risco geológico a partir da qual se estabelecem diferentes graus de risco para pontos, trechos ou áreas geográficas maiores.

O agrupamento dos riscos de graus semelhantes corresponde à hierarquização dos riscos. A partir dos resultados da hierarquização, os riscos identificados são codificados, preferivelmente, através de índices numéricos, definindo os diferentes graus de risco.

Segundo CERRI (1993), em consulta a artigos que apresentam resultados de identificação e análise de riscos geológicos realizadas em países com maior tradição de atuação nesta área técnica, observa-se que índices numéricos maiores correspondem a situações de risco mais críticas.

Com relação a este aspecto, o autor sugere a adoção da codificação utilizada internacionalmente. Assim, aos riscos maiores, devem ser conferidos índices numéricos maiores. Como referência, pode-se adotar a sistemática de individualizar, nos zoneamentos e/ou cadastramentos de risco, as situações de risco iminente, as de alto e baixo risco e as isentas de risco, a partir da combinação dos aspectos referentes à possibilidade de ocorrência do processo geológico considerado e das perdas e danos potenciais, analisados no campo.

Outros autores preferem codificar os riscos identificados através de letras, como CASTRO *et al.* (1992) que codificam as situações de risco alto, médio e baixo com "A", "B", e "C", respectivamente, ou através do uso de diferentes texturas (AUGUSTO FILHO *et al.*, 1992), ou ainda utilizando cores (GARRY & DECAILLOT, 1987), quando da representação cartográfica dos riscos.

Também é possível estabelecer graus intermediários de risco (risco muito alto, risco médio e risco muito baixo), porém tal procedimento pode acentuar a subjetividade inerente a este tipo de trabalho. Desta forma, só é recomendado este nível de detalhe quando os objetivos do trabalho o exigirem.

BOLT *et al.* (1975 *apud* AUGUSTO FILHO, 2001) definem duas grandes formas de determinação dos graus de risco geológico de uma dada área:

- Análise relativa: através da simples comparação entre as situações de risco identificadas, sem cálculos probabilísticos quanto à ocorrência (risco relativo); e
- Análise probabilística: através da apresentação da probabilidade de ocorrência do acidente geológico, em determinado intervalo de tempo (risco probabilístico).

O IUGS Working Group – Committee on Risk Assessment (1977 *apud* AUGUSTO FILHO, 2001) reconhece dois grandes tipos de abordagens para a realização da análise de risco de escorregamentos: análise qualitativa e análise quantitativa.

A análise qualitativa resulta da consideração ou combinação dos seguintes parâmetros básicos: perigos ou tipos de escorregamentos existentes e potenciais; tipologia e vulnerabilidade dos elementos ou infraestrutura e população sujeitas a estes perigos. Os riscos resultantes das análises qualitativas podem ser expressos por níveis ranqueados. Nas análises de risco qualitativas mais sofisticadas, existe um incremento da expressão quantitativa destes parâmetros básicos, mesmo que estes números resultem da experiência e do julgamento.

Ainda segundo o IUGS Working Group – Committee on Risk Assessment (*op.cit*), a análise de risco quantitativa consiste das seguintes atividades principais:

- Análise de perigo ou análise da probabilidade e características dos escorregamentos potenciais;
- Identificação dos elementos sob risco, isto é, seu número e características, incluindo sua variabilidade temporal e vulnerabilidade ao perigo identificado;
- Análise da vulnerabilidade dos elementos sob risco; e
- Cálculo do risco resultante das etapas anteriores (perigos, elementos sob risco e vulnerabilidade destes elementos sob risco).

Segundo AUGUSTO FILHO (2001), as análises de risco, associadas a processos geológicos, realizadas no Brasil, incluindo os escorregamentos, correspondem, na sua grande maioria, a análises de risco qualitativas, principalmente na consideração da magnitude das conseqüências.

CARVALHO (1996), num estudo de caso em favelas do município de Belo Horizonte (MG), visando o gerenciamento de riscos geotécnicos em encostas urbanas, apresenta um exemplo de utilização da árvore de decisão, da probabilidade subjetiva e do critério de custo estimado.

Segundo o autor, além da identificação preliminar do quadro de risco é importante estabelecer uma estratégia para implantação das intervenções para redução de risco. Dessa forma, o gerenciamento eficaz dos recursos públicos aplicados na redução dos riscos deve compreender um processo de planejamento da implantação das intervenções específicas que leve em conta o montante de recursos disponíveis, o nível de risco em cada setor, o custo das alternativas de intervenção e os benefícios, em termos de redução de risco, possíveis de serem atingidos por essas alternativas.

Nesse planejamento, duas questões devem ser respondidas: qual a melhor alternativa de intervenção para cada setor de risco e, no caso dos recursos disponíveis serem insuficientes para propiciar a intervenção imediata em todos os setores, quais deles devem ser priorizados.

Trata-se de um problema de escolha em ambiente de incerteza. Incerteza a respeito das condicionantes geológicas e das solicitações que podem levar à deflagração do processo; incerteza a respeito do desempenho das alternativas de intervenção; e incerteza sobre as conseqüências da deflagração do processo e da eventual ruína das intervenções implantadas.

Segundo MATHESON & HOWARD (1977, *apud* CARVALHO, 1996), a Análise de Decisão é uma linguagem adequada para descrever problemas de decisão, permitindo explicitar os vários fatores intervenientes, a forma como as incertezas são avaliadas e os critérios utilizados para hierarquizar conseqüências. Como aspecto particular, a Análise de Decisão permite medir e interpretar o impacto das incertezas na decisão, evitando que ele seja deixado a cargo da intuição dos agentes envolvidos na decisão.

De acordo com CARVALHO (1996), a construção do modelo de decisão compreende a identificação das variáveis intervenientes no problema, a caracterização das relações lógicas existentes entre essas variáveis e a expressão dessas relações em termos matemáticos formais. Resumidamente, o processo de construção do modelo pode ser dividido nas seguintes etapas:

1. Estabelecimento das condições de contorno do problema (área objeto de intervenção e alternativas de intervenções viáveis);
2. Especificação dos tipos de consequência considerados;
3. Identificação dos eventos aleatórios que se seguem a cada intervenção (elaboração de árvores de decisão);
4. Estabelecimento do critério de decisão.

Na etapa 1, a definição da área de intervenção depende do quadro de risco existente e a identificação das alternativas de intervenção consiste em uma análise sistemática das alternativas existentes e num esforço consciente para identificação de novas alternativas, que podem emergir de combinações de alternativas já levantadas ou de conceitos radicalmente diferentes. De modo geral, a redução do risco num setor pode ser obtida por intervenções que atuam tanto na probabilidade de ocorrência do evento destrutivo quanto na sua consequência.

Na etapa 2 deve-se estabelecer uma unidade comum que possibilite comparar os tipos de consequência considerados, em relação a critérios que especifiquem a preferência do decisor. A aplicação de um modelo lógico e consistente de auxílio à decisão exige que a preferência do decisor em relação às possíveis consequências resultantes de eventos aleatórios seja expressa de maneira matemática formal. Para isso, a forma de representação das consequências deve ser escolhida considerando-se dois aspectos principais: a necessidade de se agregar à análise diferentes tipos de consequências e a atitude do decisor frente ao risco.

Um problema que envolve diferentes tipos de consequências pode ser analisado a partir dos paradigmas da Teoria da Utilidade. KENNEY & RAIFFA (1976, *apud* CARVALHO, 1996) mostram como considerar, na análise de decisão, consequências diferenciadas através de uma função utilidade com atributos múltiplos. O processo consiste, simplificadamente, em se transformar os valores das diversas consequências (ou atributos) em unidades de utilidade, utilizando-se, para essa transformação, as preferências do decisor codificadas através de mecanismos formais.

Diante da dificuldade de associar custos diretamente às diferentes conseqüências provocadas por um escorregamento, EINSTEN (1997) propôs a seguinte equação de risco na qual as conseqüências são expressas pela função utilidade (*utility*):

$$R = P(\textit{perigo}) \times u(X)$$

onde $P(\textit{perigo})$ é a probabilidade de determinado escorregamento ocorrer e $u(X)$ é a utilidade do vetor de atributos dos danos possíveis deste escorregamento.

$$u(X) = \sum k_i u(X_i)$$

onde $u(X)$ é a utilidade do vetor de atributos (danos possíveis), k_i são os fatores de escala para relacionar as utilidades dos diferentes atributos, e $u(X_i)$ é a utilidade de um atributo (tipo de dano) específico.

Para uma área sujeita a diferentes tipos de perigo, a equação de risco passa a ser:

$$R = P[\textit{perigo1}] \times u(X_1) + P[\textit{perigo2}] \times u(X_2) + \dots P[\textit{perigoN}] \times u(X_n)$$

Considerando ainda probabilidades condicionais:

$$R = P[\textit{perigo}] \times \sum_i P[X_i / \textit{perigo}] \times u(X_i)$$

onde $P(\textit{perigo})$ é a probabilidade de determinado escorregamento ocorrer, $P[X_i / \textit{perigo}]$ é a probabilidade de um tipo de dano i ser acarretado pelo perigo analisado, e $u(X_i)$ é a utilidade deste dano.

A estruturação do modelo de decisão prossegue com a identificação dos eventos aleatórios que se seguem a cada intervenção (etapa 3) e com a disposição, em ordem cronológica, das intervenções disponíveis, dos eventos aleatórios e intervenções consideradas. Ao final de cada seqüência completa de ações e eventos aleatórios, associa-se uma conseqüência potencial. Essas relações podem ser representadas por meio de uma árvore de decisão, diagrama que dispõe graficamente as interdependências essenciais existentes entre as variáveis do problema.

A etapa final (etapa 4) estabelece o critério de decisão, que permite a comparação das conseqüências das várias alternativas de intervenção, a escolha lógica da melhor alternativa de intervenção para cada setor de risco e o estabelecimento de uma hierarquia entre os vários setores em termos de prioridade de intervenção.

Quando as conseqüências são apenas monetárias, critérios como minimização do custo esperado podem ser considerados adequados.

WU *et al.* (1996 *apud* AUGUSTO FILHO, 2001), define a seguinte equação:

$$E(C) = C_0 + PC$$

onde $E(C)$ é o custo esperado, C_0 é o custo inicial, P é a probabilidade de deflagração do processo, e C são as conseqüências associadas a este processo.

O custo esperado para cada alternativa resulta da somatória das probabilidades associadas aos ramos da árvore de decisão, multiplicados por suas respectivas conseqüências, em todos os cenários possíveis para cada alternativa analisada. A alternativa com o menor custo esperado, será teoricamente, a melhor sob o ponto de vista da relação custo/benefício.

Para problemas envolvendo conseqüências monetárias e sociais, HACHICH (1988, *apud* CARVALHO, 1996) utiliza-se do critério de minimização do custo por vida salva, definido pela equação:

$$CVS_i = \frac{[E(C_i) - E(C_0)]}{[E(M_0) - E(M_i)]}$$

onde CVS_i é o custo por vida salva da intervenção I_i , $E(C_i)$ é o custo esperado da intervenção I_i , $E(C_0)$ é o custo esperado da intervenção I_0 (situação existente), $E(M_0)$ é o número esperado de mortes para a intervenção I_0 (situação existente), e $E(C_i)$ é o número esperado de mortes para a intervenção I_i .

Segundo CARVALHO (op. cit), o modelo de decisão, desenvolvido no âmbito da Análise de Decisão, vale-se do conceito de probabilidades subjetivas para incorporar, à análise das alternativas, as incertezas a respeito da ocorrência de eventos aleatórios. A utilização dessa visão da teoria das probabilidades é muito importante quando não se dispõe de dados amostrais suficientes para gerar valores de probabilidade a partir de métodos exclusivamente empíricos.

O autor ainda afirma que de acordo com a visão subjetiva, também denominada personalista, a probabilidade expressa o grau de confiança de um particular indivíduo na ocorrência de um evento, condicionado por sua experiência e conhecimento pessoal a respeito da situação que envolve esse evento.

3.1.3.4 Representação Cartográfica de Risco Geológico

Os instrumentos cartográficos que apresentam a distribuição, o tipo e o grau dos riscos geológicos, resultado da realização das etapas de identificação e análise dos riscos geológicos em uma determinada área, visando a definição de medidas de prevenção de acidentes, são conhecidos como Cartas de Risco Geológico (CERRI & AMARAL, 1998).

Dentre as características desejáveis e marcantes das cartas de risco, incluem-se: rapidez de execução; apoio a planejadores; baixo custo e simplicidade de produção; e flexibilidade na apresentação das informações consideradas importantes.

As cartas de risco geológico devem apresentar os resultados da identificação e análise dos riscos, acompanhados por textos explicativos esclarecendo as necessidades e prioridades de intervenção, até mesmo para profissionais de outras áreas técnicas e, especialmente para os responsáveis por decisões.

Ao se iniciar a elaboração da Carta de Risco, é importante que estejam bem definidos: o objetivo do trabalho, a escala e o grau de precisão em que os resultados devem ser apresentados.

UNDRO (1988) estabelece quatro escalas de mapeamento de riscos:

- escala nacional: apropriada para planejamento do uso do solo a longo prazo, com escalas de 1:1.000.000 a 1:250.000, correspondendo a macrozoneamento de riscos;
- escala regional: voltada ao planejamento regional, com escalas de 1:125.000 a 1:62.500, também considerada como macrozoneamento de riscos;
- escala de detalhe: adequada ao planejamento urbano e à análise de vulnerabilidade, com escalas de 1:24.000 a 1:12.000, correspondendo a microzoneamento de riscos; e
- escala de projeto: dirigida a um detalhado planejamento do uso do solo e normalização de construções, com escalas de 1:12.000 a 1:200, também considerada como microzoneamento de riscos.

Segundo CERRI & AMARAL (1998), a distribuição do risco geológico pode ser representada de duas maneiras na carta de risco:

- cadastramento de risco, no qual são plotados os pontos notáveis sujeitos a risco, com indicação do grau de risco, acompanhado da adequada documentação sobre processos geológicos e possíveis danos, representados em croquis esquemáticos e fotografias locais;
- zoneamento de risco, no qual são delimitadas as zonas homogêneas em relação ao grau de risco geológico, estabelecendo tantas classes de áreas de risco quantas necessárias, levando-se em consideração a qualidade e a quantidade das informações coletadas.

Existem várias propostas ou roteiros metodológicos que abordam a elaboração de cartas de riscos geológicos.

LU (1985 *apud* AUGUSTO FILHO, 2001) identifica dois tipos principais e métodos: o método dos índices; e o da sobreposição de mapas ou *overlay*.

No método dos índices, atribui-se valor numérico diretamente proporcional ao nível de influência de cada parâmetro analisado na geração de situação de risco (por exemplo, 1 a 3 para as classes de declividade menores que 30%, entre 30% e 50%, e maiores que 50%, respectivamente. Os níveis de risco finais são expressos por índices totais, obtidos através de uma expressão numérica, como a proposta por STEVENSON (1977, *apud* AUGUSTO FILHO, *op. cit.*).

$$RISCO(R) = (P + 2W)(S + 2C)(U)$$

onde P é o fator argila, baseado nos índices de plasticidade dos solos (valores 1, 2 e 3); W é o fator água, baseado na posição do freático em relação à profundidade média das superfícies de ruptura típica dos escorregamentos (valores 1, 2 e 3); S é a inclinação da encosta (valores 1, 2 e 3); C é a complexidade da encosta, baseada na existência e idades das cicatrizes de escorregamento existentes na área (valores 1, 2 e 3); e U é o uso do solo (valores 1, 1,25 e 1,5).

VARNES *et al.* (1985), IPT (1987) e ANBALAGAN (1992) também apresentam exemplos de elaboração de cartas de risco de escorregamento baseadas em índices numéricos (AUGUSTO FILHO, *op. cit.*).

No método de sobreposição de mapas (método *overlay*), a carta de risco resulta do cruzamento de mapas temáticos.

Os mapas elaborados pelo projeto ZERMOS (zonas expostas aos riscos de movimentos de solo) na França, como o apresentado por MENEROU & CALVINO (1976), e os trabalhos apresentados por BARROS *et al.* (1990) e AMARAL (1992), no mapeamento de áreas de risco na cidade do Rio de Janeiro (RJ), constituem-se em exemplos da utilização da sobreposição de mapas como base metodológica (AUGUSTO FILHO, *op. cit.*).

CERRI (1990) propõe duas grandes etapas genéricas na elaboração de cartas ou mapas de risco geológico. A primeira envolve a produção do mapa de suscetibilidade do processo geológico considerado, obtido pelo cruzamento de mapas temáticos, incluindo o uso e ocupação da área, enquanto um dos fatores condicionantes da deflagração deste processo. A segunda abrange o cruzamento do mapa de suscetibilidade com o uso e ocupação, porém, desta vez, considerando as conseqüências potenciais (Figura 7).

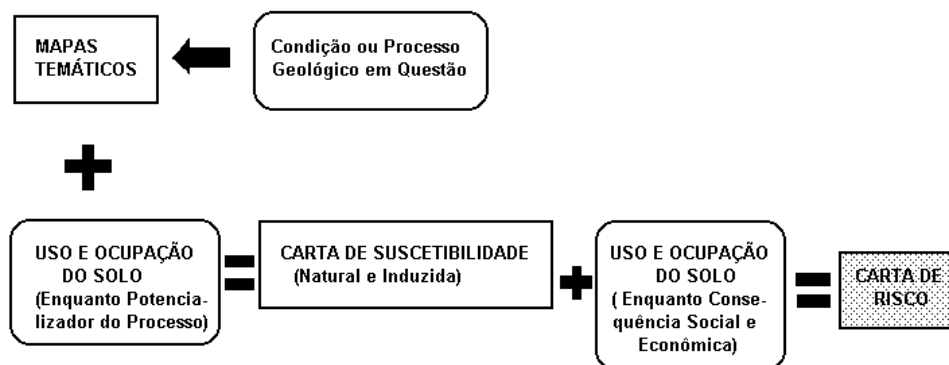


Figura 7 - Roteiro metodológico para a elaboração de cartas de risco geológico (CERRI, 1990)

A disponibilidade cada vez maior de programas, e em particular, de SIG (Sistemas de Informações Geográficas) mais desenvolvidos, tem permitido a adequação de metodologias, originalmente manuais, às técnicas de cartografia digital, automatizando a entrada e tratamento de dados, resultando em maior facilidade de atualização de informações e em alternativas de representação gráfica mais complexas.

No Brasil, AMARAL *et al.* (1993) elaboraram o SIG aplicado ao gerenciamento de riscos de escorregamentos na cidade do Rio de Janeiro (RJ) e AUGUSTO FILHO (2001) apresentou a primeira carta de risco quantificado no país, tratando de processos de escorregamentos e elaborada em ambiente de SIG (ARC/INFO e ARCVIEW).

3.1.3.5 Gerenciamento de Riscos

Os métodos e técnicas de identificação, avaliação ou análise de riscos devem fundamentar a elaboração de programas de gerenciamento, envolvendo uma série de ações de mitigação, adequadas a cada situação ou nível de risco. Estas ações de mitigação, também são identificadas como medidas de prevenção e controle, ou de naturezas estrutural e não estrutural (AUGUSTO FILHO, 2001).

De acordo com AUGUSTO FILHO (op. cit.), talvez o melhor indicador do esforço mundial, no sentido de se aplicar as técnicas de análise e gerenciamento de risco para os processos da dinâmica natural do nosso planeta, seja a ação da Organização das Nações Unidas – ONU, que proclamou os anos 90 como a Década Internacional para Redução de Desastres Naturais – DIRDN.

As metas principais propostas pela DIRDN, que se encerrou no ano 2000, foram:

- melhorar a capacidade de cada país para mitigar os efeitos dos desastres naturais com rapidez e eficácia, com especial atenção à assistência aos países em desenvolvimento, a fim de avaliar os possíveis danos em casos de desastres naturais, estabelecer sistemas de alerta e implantar estruturas resistentes aos desastres, onde e quando necessário;
- formular diretrizes e estratégias apropriadas para aplicar os conhecimentos científicos e técnicos existentes, tendo em conta as diferenças culturais e econômicas entre as nações;
- fomentar as atividades científicas e técnicas dirigidas a eliminar lacunas críticas do conhecimento, a fim de reduzir a perda de vidas humanas e bens;
- difundir a informação técnica existente – e a que se obtenha no futuro – sobre as medidas para avaliar, prever e mitigar os efeitos dos desastres naturais; e
- formular medidas para avaliar, prever, prevenir e mitigar os efeitos dos desastres naturais, mediante programas de assistência técnica e transferência de tecnologia, projetos de demonstração e atividades de educação e formação adaptadas ao tipo de desastre e ao local de que se trate, e avaliar a eficácia destes programas.

Abordando a questão de prevenção de acidentes, CERRI (1993) estabelece os objetivos, as respectivas medidas de prevenção e as correspondentes ações técnicas, destinadas à prevenção de acidentes associados a escorregamentos em encostas ocupadas.

Os objetivos apontados pelo autor são:

- Eliminar e/ ou reduzir os riscos instalados;
- Evitar a instalação de novas áreas de risco; e
- Conviver com os riscos instalados.

Para atingir esses objetivos o autor citado recorre ao emprego de medidas estruturais e não estruturais. Medidas estruturais são as que têm por objetivo principal evitar a ocorrência ou reduzir a magnitude dos processos geológicos, por meio da implantação de obras de engenharia. Frequentemente exigem aplicação maciça de capitais, no geral contemplando áreas restritas (CERRI, 2001).

Já as medidas não estruturais, correspondem àquelas de caráter extensivo, contemplando grandes áreas. Podem ser de natureza institucional, administrativa ou financeira, sendo adotadas espontaneamente ou por força de legislação. Objetivam a convivência com os riscos, reduzindo a magnitude dos processos e orientando a população afetada. No geral não exigem aplicação maciça de recursos financeiros (CERRI, op.cit.).

Para cada processo geológico caracterizado em sua investigação, CERRI (2001) apresenta um roteiro contendo as diferentes alternativas tecnológicas de prevenção de acidentes geológicos, considerando as particularidades de cada processo geológico. Na Figura 8 é apresentado o roteiro associado a Colapsibilidade dos Solos.

AUGUSTO FILHO (2001) considera que as medidas não estruturais correspondem a: cartografia de riscos geológicos, atendimentos emergenciais, planos preventivos de defesa civil, planos de seguro, disseminação de informações e treinamento.

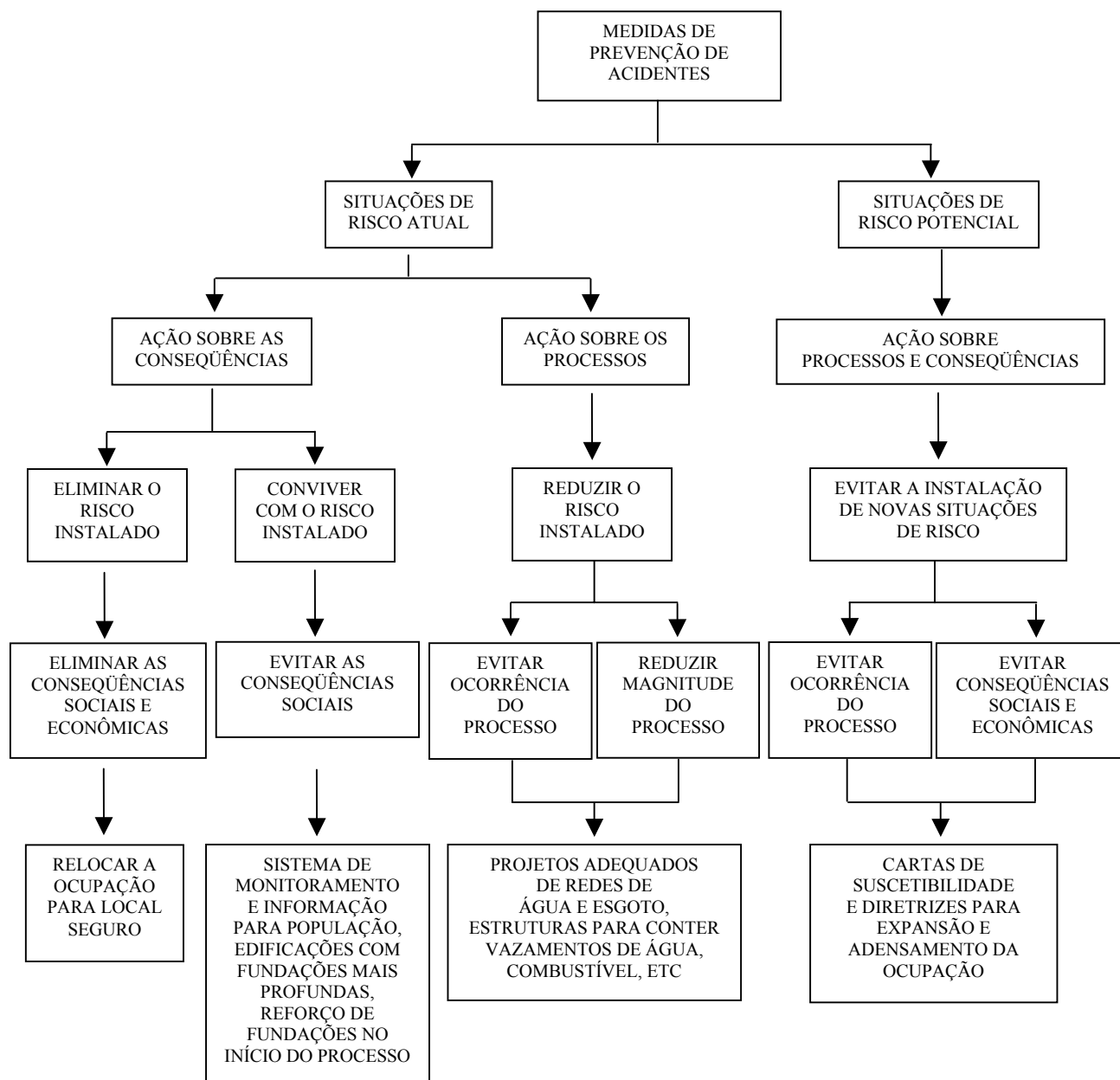


Figura 8 - Medidas de prevenção de acidentes associados a colapsabilidade dos solos (CERRI, 2001).

Em se tratando do gerenciamento de riscos relacionados a colapso de solos, vale a pena destacar as medidas de prevenção relacionadas à disseminação de informações e treinamento, e aos planos de seguro.

A disseminação de informações e treinamento, tanto para a comunidade técnico-científica como para interessados não especializados em Geologia de Engenharia (administradores públicos, equipes de defesa civil, corpo de bombeiros, prefeituras municipais e população), pode proporcionar a obtenção de resultados mais satisfatórios para a prevenção de acidentes. As informações transmitidas transformam-se em instrumentos que fixam procedimentos a serem praticados em situações de risco e orientam quanto às técnicas construtivas adequadas para a ocupação de cada área.

Quanto aos planos de seguro, apesar dos mesmos não reduzirem diretamente os perigos/ riscos associados aos riscos naturais, ou mais particularmente, aos de natureza geológica, eles podem oferecer um meio de distribuição mais extensivo dos custos decorrentes destes riscos, reduzindo as perdas individuais dos moradores das áreas de risco. Em adição a este aspecto, as recomendações das organizações de seguro podem influenciar positivamente os segurados, que estão sujeitos aos riscos de natureza geológica, incentivando-os a realizarem medidas de mitigação para obterem apólices a um custo menor. (AUGUSTO FILHO, 2001)

Dois fatores são destacados como desfavoráveis para aplicação dos planos de seguro para gerenciamento de riscos naturais, e em particular, daqueles de origem geológica: seleção adversa (*adverse selection*); e percepção de perigo (*moral hazard*).

Seleção adversa (*adverse selection*) refere-se à tendência natural de apenas os proprietários das edificações situadas nas áreas de maior risco mostrarem interesse pela aquisição do seguro. Isto pode ser um problema para as seguradoras, pois o grupo segurado teria altas probabilidades de ser afetado ao mesmo tempo, gerando a demanda de expressivos recursos financeiros num reduzido espaço de tempo para cobrir os danos, podendo causar grandes dificuldades para o fluxo de caixa das companhias seguradoras. A seleção adversa atua contrariamente a um dos princípios básicos do seguro, que é o de distribuir os danos entre um grande número de pessoas ao longo do tempo.

Este fator pode ser reduzido por políticas que induzam a aquisição de planos de seguro não apenas pelos ocupantes das áreas de alto risco, resultando em grupos maiores, na melhor distribuição no tempo dos recursos financeiros necessários para ressarcir os possíveis danos e na conseqüente possibilidade de manutenção do fluxo de caixa destes fundos de seguro.

Percepção de perigo ou risco (*moral hazard*) é a tendência natural das pessoas físicas e jurídicas seguradas reduzirem seus cuidados com relação aos perigos e riscos cobertos pelo seguro e assim modificarem indiretamente as probabilidades de ocorrência dos acidentes, com base nas quais os prêmios de seguro se baseiam, podendo resultar num acréscimo dos próprios níveis de risco e na desatualização dos valores considerados nas apólices.

O efeito da redução da percepção de perigo ou risco das pessoas seguradas pode ser controlado pelo requerimento obrigatório de medidas de planejamento e de normas regulamentadoras voltadas à construção e à operação das edificações e empreendimentos, para estes terem direito de acesso ao seguro subsidiado. No caso de seguro não subsidiado, os altos valores das apólices poderiam ser reduzidos pelas seguradoras proporcionalmente às medidas de prevenção e redução de riscos adotadas pelo usuário do seguro.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

O município de Ilha Solteira localiza-se na região noroeste do Estado de São Paulo, entre os meridianos 51°00' e 51°30'W e os paralelos 20°15' e 20°45'S, abrangendo uma área de cerca de 640km² (CEPAM, 1989). Sua localização, no Estado de São Paulo, pode ser observada na Figura 9.



Figura 9 – Localização do Município de Ilha Solteira no Estado de São Paulo.

A área urbana do município de Ilha Solteira tem aproximadamente 4,8km².

Para a finalidade deste estudo, foi considerada a parcela da área urbana cujas edificações residenciais possuem projetos que foram “padronizados” no início de implantação do núcleo urbano. Considerando toda a área urbana atual, isto significa que não foram consideradas as edificações dos bairros mais recentes (Jardim Novo Horizonte, Jardim Aeroporto, Santa Catarina e Morumbi).

Na Figura 10 pode ser observada toda a área urbana atual do município de Ilha Solteira, destacando-se a localização dos bairros mais recentes (que não foram considerados no estudo) e o conjunto de edificações consideradas neste estudo.

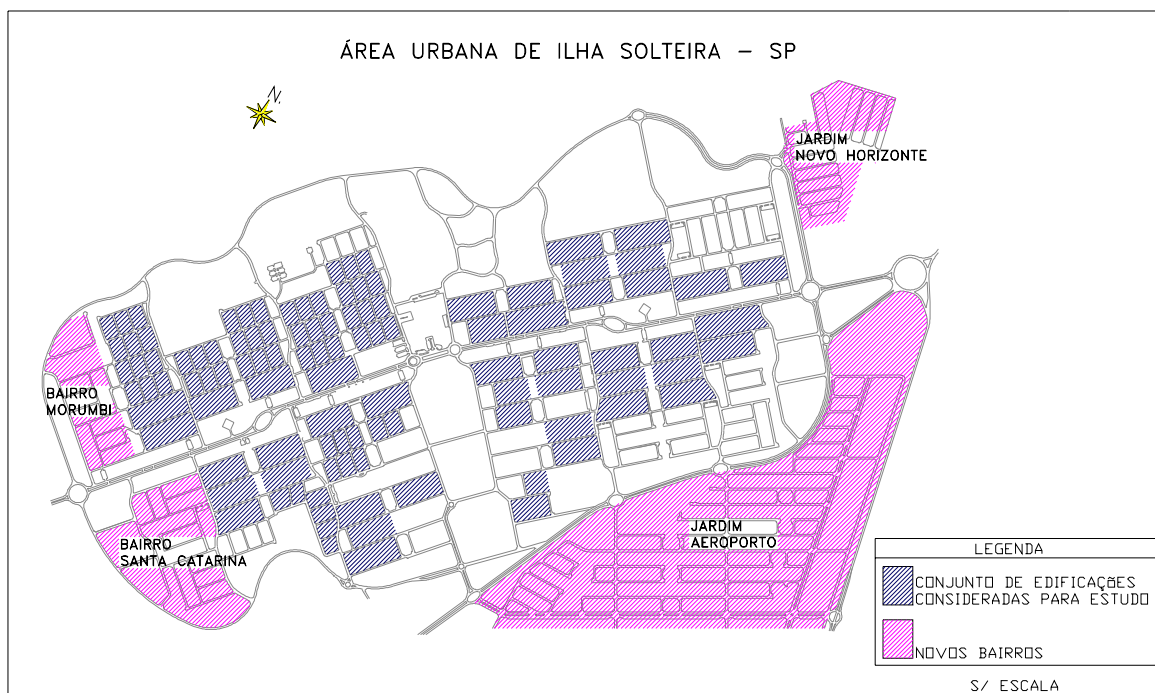


Figura 10 - Área Urbana de Ilha Solteira - SP

3.2.1 ASPECTOS NATURAIS

As informações apresentadas a seguir foram obtidas em CINDIRU (1992 e 1996).

A área do município de Ilha Solteira apresenta um substrato rochoso bastante simples composto por litótipos das formações Serra Geral do Grupo São Bento e Santo Anastácio do Grupo Bauru, ambas incluídas no contexto geológico da Bacia do Paraná.

A Formação Serra Geral, de idade juro-cretácica, é composta por basaltos toleíticos podendo ser subdividida, na região, em dois domínios: (1) basalto vesicular – porção superior da formação, com espessuras inferiores à 20m em geral; (2) basalto compacto – porção inferior, com espessuras de até 300m.

Sobreposta à Formação Serra Geral, ocorre a Formação Santo Anastácio que é representada na região por arenitos arcoseanos argilosos finos a médios com camadas conglomeráticas centimétricas.

Do ponto de vista pedológico as unidades de solos podem ser divididas em duas categorias. Enquanto aqueles derivados dos litotipos arenosos compreendem basicamente Podzólicos vermelho amarelos e Latossolos vermelho amarelo e vermelho escuro fase arenosa, os produtos residuais derivados das intrusivas correspondem a Latossolos vermelho escuros argilosos. Trabalhos anteriores têm mostrado que o processo de colapso nesta área se restringe aos solos arenosos.

Do ponto de vista de sua origem estes solos de textura arenosa apresentam um forte retrabalhamento sendo normalmente descritos na literatura técnica como “*Formações Arenosas Recentes*”, “*Sedimentos Cenozóicos*” ou “*Sedimentos Modernos*”. Este “retrabalhamento” e a imaturidade de tais depósitos seriam os componentes responsáveis pelas principais características destes materiais (alta porosidade e baixa compactidade) e de seu comportamento indesejável (alta erodibilidade e comportamento colapsível).

3.2.2 ZONEAMENTO DO MEIO FÍSICO

De acordo com LOLLO (1998), a aplicação da técnica de avaliação do terreno, utilizando-se da sistemática proposta por LOLLO (1996) para todo o município de Ilha Solteira, permitiu a identificação de dois sistemas de terreno (designados A e B), sendo o primeiro deles composto por duas unidades de terreno (A.1 e A.2) e o segundo, composto por três unidades de terreno (B.1, B.2 e B.3). Dentre as cinco unidades identificadas, uma não ocorre na área de expansão urbana (B.2).

Na área de expansão urbana o levantamento foi detalhado até o nível de elemento de terreno proporcionando um total de dez elementos de terreno sendo três deles pertencentes à unidade A.1 (elementos A.1.1, A.1.2 e A.1.3), dois pertencentes à unidade A.2 (elementos A.2.1 e A.2.2), três pertencentes à unidade B.1 (B.1.1, B.1.2 e B.1.3), e dois pertencentes à unidade B.3 (elementos de terreno B.3.1 e B.3.2).

Na área urbana de Ilha Solteira há ocorrência dos elementos A.1.2, A.2.1, A.2.2 e B.3.1.

Na Figura 11 é apresentado um esquema com a descrição apenas dos níveis hierárquicos de terreno identificados na área urbana de Ilha Solteira.

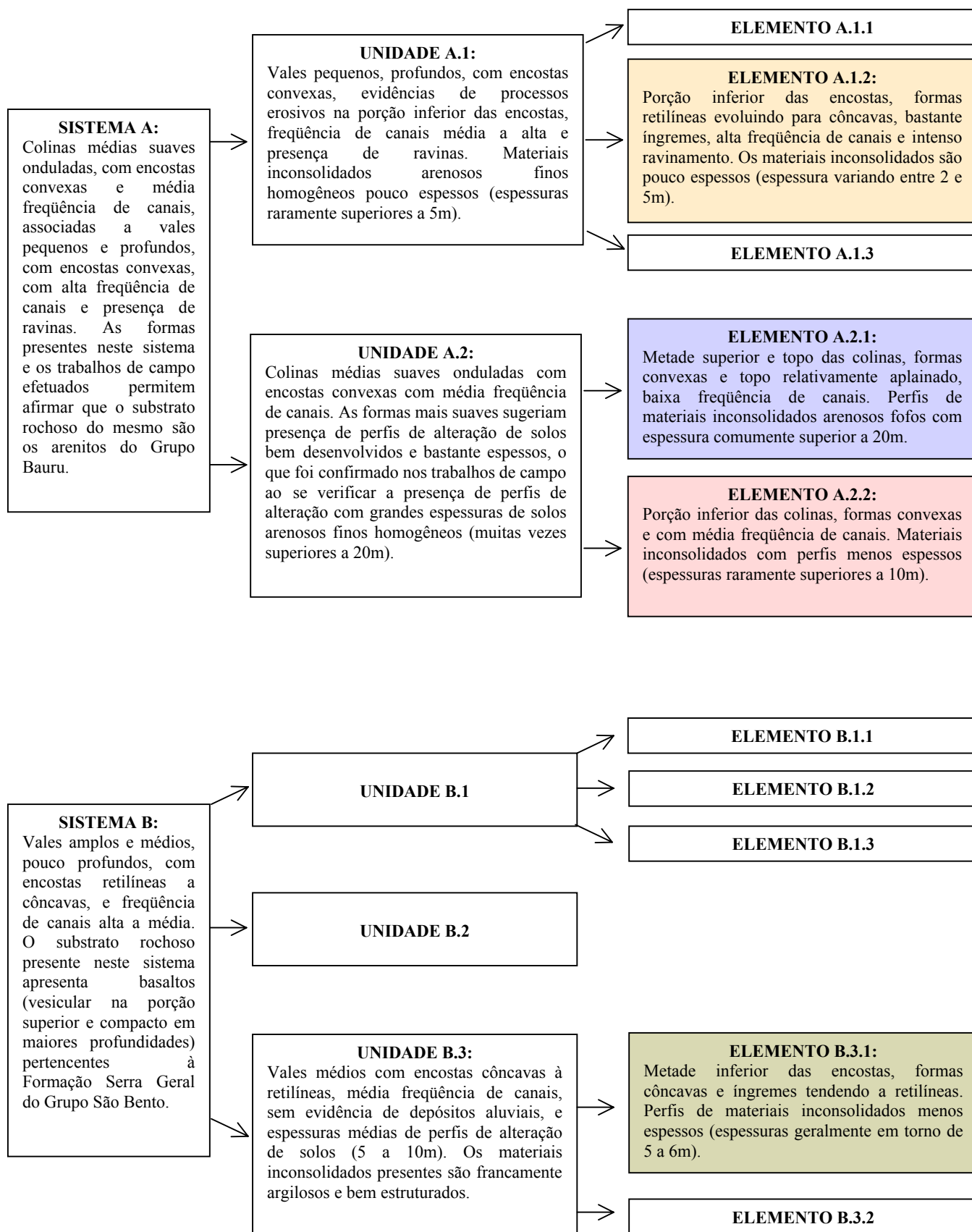


Figura 11 - Níveis hierárquicos de terreno identificados na área urbana de Ilha Solteira.

A distribuição dos elementos de terreno identificados na área urbana de Ilha Solteira pode ser verificada na Figura 12.

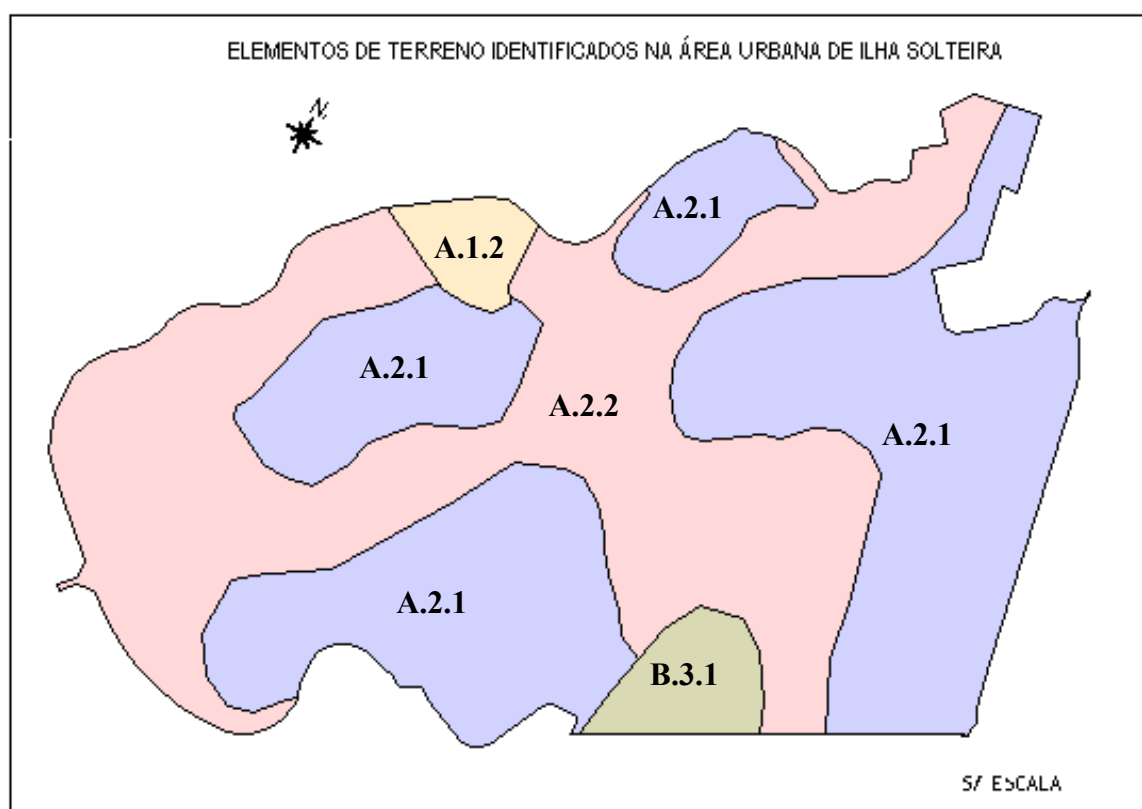


Figura 12 – Distribuição dos elementos de terreno na área urbana de Ilha Solteira.

Na área estudada ocorrem apenas os elementos A.2.1 e A.2.2.

Para confirmação das características dos perfis de alteração, típicos de cada elemento de terreno identificado, foram consultados boletins de sondagens de simples reconhecimento, resultantes de trabalhos desenvolvidos pela Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira e pela CESP (Companhia Energética de São Paulo), na área urbana de Ilha Solteira.

No Anexo 1 são apresentados:

- Figuras que representam o perfil típico de sondagem para cada elemento de terreno da área estudada (elementos A.2.1 e A.2.2);
- Quadro Resumo descrevendo estes dois elementos;
- Fotos representativas das formas de relevo e do perfil do solo da área estudada.

3.3 CADASTRO DAS OCORRÊNCIAS DE COLAPSO DE SOLOS

3.3.1 LEVANTAMENTO DAS OCORRÊNCIAS

Conforme revisão bibliográfica, os processos de colapso de solos provocam recalques em elementos de fundação, os quais são responsáveis por danos em edificações.

O primeiro sinal de ocorrência destes processos é o aparecimento de trincas em paredes ou pisos das edificações, portanto o levantamento de dados para a elaboração do cadastro das ocorrências de colapso de solos se deu através de trabalho de campo com o objetivo de identificar edificações com ocorrência de trincas resultantes do processo.

No Anexo 2 são apresentadas fotos de trincas características de processos de colapso de solos.

O trabalho de campo consistiu na realização de entrevistas junto à população da área estudada.

Na Figura 13 é apresentada uma cópia do questionário padrão elaborado para tal finalidade.

A escolha preliminar das edificações residenciais visitadas para a realização da entrevista se deu de forma aleatória através de um processo de sorteio de uma entre cada residência existente em cada viela¹ de cada passeio² da área estudada.

Em todas as residências visitadas foi perguntado, ao entrevistado, sobre o conhecimento da existência de outra residência, da mesma viela, que apresentasse problemas decorrentes de processos de colapso de solos. Nos casos afirmativos, esta outra residência mencionada também foi visitada.

¹ Viela – unidade de logradouro existente em Ilha Solteira que corresponde a uma rua entre duas quadras.

² Passeio – unidade de logradouro existente em Ilha Solteira que corresponde a um quarteirão.

Endereço:
A construção alguma vez apresentou trincas?
Quando? (mês e ano) Como foram estas trincas (local, tipo, abertas ou fechadas)? As trincas ainda existem? Foi identificado o motivo? Foram feitas obras corretivas (quando, de que tipo e quanto custaram)? O Problema voltou a acontecer (quando, onde e porquê)? Foram feitas novas obras corretivas (quando, de que tipo e quanto custaram)?
Sabe de alguma construção próxima que tenha apresentado este problema?
Tem mais alguma informação que ache útil?

Figura 13 - Exemplo do questionário utilizado para entrevista com a população.

3.3.2 BANCO DE DADOS

Completado o trabalho de campo foi elaborado um banco de dados, automatizado, para cadastro das residências nas quais foram observadas ocorrências de trincas resultantes do processo de colapso de solos.

A proposta de elaboração de um banco de dados automatizado se deveu à preocupação com o registro confiável das informações e com a possibilidade de que este arquivo de dados pudesse ser continuamente atualizado.

A elaboração do banco de dados se iniciou com a montagem de uma tabela com 10 (dez) campos (colunas) para a entrada das informações a respeito de cada residência cadastrada. Os campos foram nomeados da seguinte maneira:

Tabela 4 – Informações registradas na tabela do banco de dados.

CAMPO	NOME	INFORMAÇÃO
1	Endereço	Passeio e número da edificação cadastrada.
2	Tipo	Tipo construtivo da edificação – 3, 4, 5 ou 6. *
3	Data de Início	Quando surgiram as trincas?
4	Local – Trincas	Onde ocorrem as trincas na edificação?
5	Abertas (A) / Fechadas (F)	Como as trincas se apresentam?
6	Motivo	Por que o processo de colapso de solos foi desencadeado?
7	Obras – Data	Quando foram realizadas obras corretivas?
8	Obras – Tipo	Que tipos de obras foram realizadas?
9	Obras – Custo	Quanto custaram estas obras?
10	Recorrência	O problema voltou a acontecer?

* Essa informação será detalhada no item 3.4.2 (SUSCETIBILIDADE INDUZIDA)

A partir da tabela de dados, pôde ser gerado um formulário de dados para cada residência cadastrada. A estrutura do formulário permite a apresentação individual das informações referentes a cada residência, possibilitando as tarefas de alteração e atualização de dados para cada residência sem a necessidade de acesso à tabela com todos os registros.

A tabela de dados permite ainda a realização de consultas por critérios de escolha relacionados às informações contidas em cada campo da tabela. A consulta realizada pode ser ainda transformada em um relatório.

3.3.3 MAPA DE CADASTRO

Além do cadastro das ocorrências de colapso de solos em banco de dados, foi também realizado o cadastro das ocorrências em um mapa com o objetivo de apresentar a distribuição destas ocorrências em cada elemento de terreno da área estudada.

O lote de cada edificação com ocorrência de colapso de solos foi apresentado, com um sistema de hachuras, em uma base cartográfica da área urbana de Ilha Solteira elaborada pelo Departamento de Habitação e Urbanismo da Prefeitura Municipal de Ilha Solteira.

Esta representação resultou no Mapa de Cadastro de Ocorrências de Colapso de Solos, apresentado no Anexo 3.

3.4 ANÁLISE DE SUSCETIBILIDADE DE OCORRÊNCIA DE COLAPSO DE SOLOS

3.4.1 SUSCETIBILIDADE NATURAL

Para a caracterização da suscetibilidade natural foi analisado o comportamento do solo em relação ao processo de colapso de solos, utilizando-se de resultados de ensaios de caracterização e ensaios oedométricos duplos e também de ensaios de microscopia eletrônica de varredura.

A amostragem, os ensaios de caracterização e compactação dos solos foram realizados no âmbito do projeto “Carta de solos colapsíveis para a área urbana de Ilha Solteira (SP)” – Processo FAPESP 99/12551-2.

Para a coleta das amostras necessárias à realização dos ensaios, foram escavados dez poços com 1m de diâmetro. As amostras foram coletadas no fundo da escavação a cada metro. Em cada profundidade foram coletados:

- uma amostra com cilindro cortante, para caracterização dos índices físicos do solo;
- uma amostra indeformada (blocos cúbicos de 25cm de aresta) para a moldagem de corpos de prova para os ensaios oedométricos duplos; e
- uma amostra amolgada (em saco) para a realização de outros ensaios de caracterização do solo.

A princípio, esperava-se que os poços fossem escavados até 10 metros de profundidade. Realizando os ensaios de caracterização dos índices físicos (com cilindro cortante) imediatamente após a coleta da amostra a cada metro, percebeu-se que para alguns poços a partir dos 7 ou 8m de profundidade não havia mais variações significativas nas características do solos.

Por este motivo e pelo fato de que, na área estudada, a esmagadora maioria dos projetos de fundação raramente ultrapassa os seis metros de profundidade, alguns dos poços escavados tiveram sua escavação interrompida aos 9m de profundidade.

A distribuição dos poços escavados na área pode ser observada na Figura 14 e na Tabela 5, são apresentados os dez poços (com suas numerações), suas respectivas localizações e profundidades atingidas.



Figura 14 – Localização dos pontos de amostragem da área urbana.

Tabela 5 – Listagem, localização e profundidade de escavação dos poços de amostragem.

POÇO	LOCAL	PROF. (m)
1	Campo de Provas do Laboratório de Engenharia Civil – Unesp	10
2	Sede da Adunesp – Alameda Santa Catarina	10
3	Passeio Caconde (terreno na Esquina ao lado do número 101)	9
4	Esquina do Hospital, Alameda Rio de Janeiro	9
5	Terreno ao lado do Cerdif, Avenida Continental SN	9
6	Jardim Aeroporto (terreno na Esquina da Av. 15 de Novembro com a Rua 43)	9
7	Jardim Novo Horizonte (terreno em frente ao final da Rua A)	9
8	Agronomia – FEIS/UNESP (terreno da Casa de Vegetação)	9
9	Área Verde ao lado da Viela 100 do Passeio Lapa (fundos do Parque da Mantiqueira)	10
10	Área no Fundo do Estádio Frei Arnaldo (cruzamento da Alameda Mato Grosso com a Av. Continental)	10

Os locais de amostragem correspondem a pontos da área que satisfazem uma das seguintes condições: (1) possuem localização privilegiada com relação aos elementos de terreno, de forma a permitir melhores condições de exposição do perfil de alteração; (2) possuem grande concentração de ocorrências de colapso de solos; (3) estão relacionados às ocorrências de aterro; ou (4) apresentam baixo índice de ocupação urbana ou são passíveis de autorização dos proprietários para escavação dos poços de inspeção.

Na primeira etapa do projeto “Avaliação do efeito do esgoto doméstico como fluido de saturação no processo de colapso de solos na área urbana de Ilha Solteira (SP)” – Processo FAPESP 00/14406-9 – os solos dos pontos de amostragem 1 e 2 foram escolhidos para o estudo do colapso através da realização de ensaios oedométricos simples e duplos utilizando água destilada e esgoto doméstico como fluido de inundação. Estes dois pontos apresentam melhores condições de exposição do perfil geotécnico e representam os dois principais elementos de terreno, A.2.2 e A.2.1.

As amostras de esgoto foram coletadas nos horários de maiores concentrações de DBO, DQO, sólidos, amônia e nitrogênio (8:00, 9:00 e 10:00h) na estação piloto de tratamento de efluentes, instalado ao Sul do município (Figura 14).

Para cada ensaio oedométrico previsto, o esgoto foi retirado na entrada do sistema do reator em recipientes plásticos com capacidade para 3 litros. Após a coleta, o material foi conduzido para o Laboratório de Saneamento da FEIS/UNESP, sendo parte deste material separado para caracterização e outra (cerca de 200ml) para inundar o solo.

Numa segunda etapa, amostras dos demais poços foram separadas para ensaios oedométricos duplos inundados apenas com água destilada. Estes ensaios serviram de complementação na descrição do comportamento colapsível do solo distribuído em toda extensão urbana do município.

Visando caracterizar a estrutura interna dos solos, em termos de sua variação ao longo do perfil e entre os diferentes elementos de terreno identificados na área, foram analisados os resultados de ensaios de microscopia eletrônica de varredura, associados a ensaios de energia dispersiva para identificação dos principais elementos presentes no solo (composição semi-quantitativa).

No Anexo 4 são apresentados os seguintes resultados:

- Ensaios de caracterização e compactação dos solos;
- 1ª etapa - ensaios oedométricos com amostras do Poço 1 (representativo do elemento de terreno A.2.2);
- 2ª etapa – ensaios oedométricos com amostras do Poço 4 (representativo do elemento de terreno A.2.1);
- Microscopia eletrônica de varredura – pares de imagens e gráficos com as composições semi-quantitativas de amostras dos Poços 1 e 2.

3.4.2 SUSCETIBILIDADE INDUZIDA

Para a caracterização da suscetibilidade induzida foi necessária a identificação de mecanismos desencadeadores do processo de colapso do solo. Estes mecanismos estão relacionados aos processos de saturação do solo por infiltração de água proveniente, em muitos casos, do rompimento de condutores de água e de esgoto.

As edificações residenciais da área estudada foram construídas, durante o início da implantação do núcleo urbano, segundo seis diferentes tipos construtivos, possuindo projetos hidro-sanitários específicos para cada tipo de residência que, em grupo, viriam a compor um passeio. No Quadro 2 são apresentados estes seis tipos residenciais.

EDIFICAÇÕES	CARACTERÍSTICAS	MATERIAL CONSTRUTIVO	DESTINADAS A
TIPO 1*	- Alojamento.		Trabalhadores da obra da U.H.E. de Ilha Solteira, solteiros ou que residiam na cidade sem suas famílias.
TIPO 2*	- Dois dormitórios.	Madeira	Operários da obra e suas famílias.
TIPO 3	- Dois dormitórios; - Edificações geminadas.	Alvenaria	Operários da obra e suas famílias.
TIPO 4	- Três dormitórios; - Edificações geminadas.	Alvenaria	Pessoal de nível técnico que trabalhava na obra.
TIPO 5 E 6	- Três dormitórios; - Não são geminadas; - Maiores que as edificações do tipo 4.	Alvenaria	Pessoal de nível superior que trabalhava na obra.
* Estas edificações não foram consideradas neste trabalho pois já foram desocupadas e/ou demolidas.			

Quadro 2 – Tipos de edificações residenciais construídas durante o início de implantação do núcleo urbano.

Para a identificação do provável fator responsável pelo desencadeamento do processo de colapso foram analisadas primeiramente as informações obtidas nas entrevistas junto à população da área estudada, registradas no banco de dados.

Em seguida foram analisados os projetos das redes pública e privada de água e esgoto da área estudada, tentando-se determinar pontos vulneráveis ao desencadeamento do processo de colapso de solos.

Para tanto, foram solicitados, ao Departamento de Habitação e Urbanismo da Prefeitura Municipal de Ilha Solteira, cópias dos projetos hidro-sanitários de cada tipo de edificação considerado no trabalho (tipos 3, 4, 5 e 6) e também uma cópia da planta da rede pública de água e esgoto.

A análise das informações do banco de dados e dos projetos hidro-sanitários, quanto à disseminação das trincas pela edificação afetada, permitiu a classificação da possibilidade de ocorrência de colapso de solos (P) em 3 (três) diferentes graus, caracterizando-se a suscetibilidade induzida:

Baixo: ocorrência de trincas em apenas uma área (cômodo) da edificação.

Médio: ocorrência de trincas em duas diferentes áreas da edificação

Alto: ocorrência de trincas em mais de duas diferentes áreas da edificação.

Para cada grau de disseminação de trincas nas edificações foi atribuído um peso correspondendo à gravidade do problema. Assim, para Baixo, Médio e Alto graus de disseminação das trincas foram atribuídos os pesos 1, 2 e 3 respectivamente.

3.5 AVALIAÇÃO DO RISCO DE OCORRÊNCIA DE COLAPSO DE SOLOS

Para a avaliação de risco foi utilizado o mecanismo tradicionalmente usado em trabalhos desta natureza o qual considera o risco (R) como uma associação de dois fatores fundamentais: a possibilidade de ocorrência do processo (P) e as conseqüências provocadas pelo processo (C).

No caso em questão a caracterização da possibilidade de ocorrência se deu com base nas análises de suscetibilidade (natural e induzida), enquanto a avaliação das conseqüências foi feita com base nas perdas ocasionadas (neste caso, foram consideradas apenas perdas materiais já que a possibilidade de perda de vida relacionada a processos de colapso de solos é desprezível).

A proposta de avaliação de risco de colapso de solos é um assunto novo o que dificulta a possibilidade de se realizar uma avaliação **quantitativa** do risco, pois para este tipo de análise é necessário que se pondere valores para diferentes situações de risco, com diferentes graus de danos e diferentes custos de obras de recuperação relacionados a um processo geológico com poucas referências de trabalhos de análises de risco.

Por este motivo, este trabalho foi baseado na análise **qualitativa** dos dados, utilizando-se da visão subjetiva de avaliação de risco.

3.5.1 CLASSIFICAÇÃO DAS CONSEQÜÊNCIAS DO PROCESSO

Para a avaliação das conseqüências do processo de colapso de solos foi realizado um trabalho de pesquisa junto aos profissionais e empresas de engenharia que atuam no município de Ilha Solteira visando obter informações técnicas a respeito de possíveis trabalhos de recuperação que o profissional tenha realizado em residências que apresentaram danos provocados pelo processo de colapso de solo.

Primeiramente consultou-se o Departamento de Habitação e Urbanismo da Prefeitura Municipal de Ilha Solteira e a Associação Regional dos Engenheiros de Ilha Solteira e Adjacências (AREIA) para conseguir lista dos profissionais cadastrados nestes estabelecimentos. Com as listas em mãos selecionou-se, para entrevista, os engenheiros e arquitetos que atuam mais especificamente na área de construção civil (obras de residências locais).

Na Figura 15 é apresentada uma cópia do questionário elaborado para a realização das entrevistas.

Vale a pena ressaltar que o levantamento das informações não foi feito com base apenas nas perguntas do questionário, mas também nos relatos de experiências do profissional em relação ao assunto deste trabalho.

Nome:
Já fez trabalho de recuperação de obras com trincas (ou reforma)?
Como eram estas trincas (local, tipo, abertas ou fechadas)?
Foi identificada a causa das trincas?
Quais foram as obras corretivas (de que tipo e quanto custaram)?
Sabe se o problema voltou a se manifestar (quando, onde e porquê)?
Foram feitas novas obras corretivas (de que tipo e quanto custaram)?
Pode fornecer o endereço das residências em questão?

Figura 15 – Exemplo do questionário utilizado para entrevista com profissionais da engenharia.

Como resultado da pesquisa notou-se que as conseqüências do processo (C), estão relacionadas aos custos de obras de recuperação dos danos causados.

As diferentes obras de recuperação podem ser separadas em quatro grupos:

1. Recuperação da alvenaria (tratamento das trincas com telas elásticas, execução de juntas de dilatação, preenchimento das trincas).
2. Recuperação da rede (substituição das tubulações de água e/ou esgoto com problema).
3. Reforço estrutural (execução de cinta de amarração, vigas, pilares).
4. Reforço da fundação (construção ou substituição de elementos de fundação).

Diante da dificuldade de se apresentar as várias possibilidades de custo que estão relacionadas com diferentes situações possíveis de acontecer (diferentes locais afetados, diferentes mecanismos desencadeadores, diferentes obras de recuperação), os custos foram hierarquizados qualitativamente considerando os seguintes graus:

Baixo: situação em que o custo está relacionado apenas a obras de recuperação de alvenaria ou a obras de recuperação de rede de água e/ou esgoto.

Médio: situação em que, além dos custos com as obras acima mencionadas, existem custos relacionados a obras de reforço estrutural.

Alto: situação em que, além dos custos acima descritos, existem custos relacionados a obras de reforço de fundação.

A estes graus de custo de obras de recuperação foram atribuídos os pesos 1, 2 e 3 respectivamente.

Para a edificação na qual já foi realizada obra corretiva e a mesma foi informada no questionário, esta foi a obra considerada para análise dos custos.

Para as edificações nas quais ainda não foram realizadas obras corretivas, foi considerado qual o tipo de obra que melhor se adequaria à situação, em função dos danos ocorridos. Assim, recomendações quanto a reforços estruturais ou de fundações só foram propostas quando as conseqüências do colapso comprometiam a estabilidade da edificação. Para os casos nos quais as trincas são abertas foi considerada a necessidade de um reforço estrutural.

3.5.2 DETERMINAÇÃO DOS GRAUS DE RISCO

O risco de colapso de solos (R) foi então classificado a partir da combinação (somatória) dos pesos referentes aos índices P e C , de acordo com o esquema abaixo:

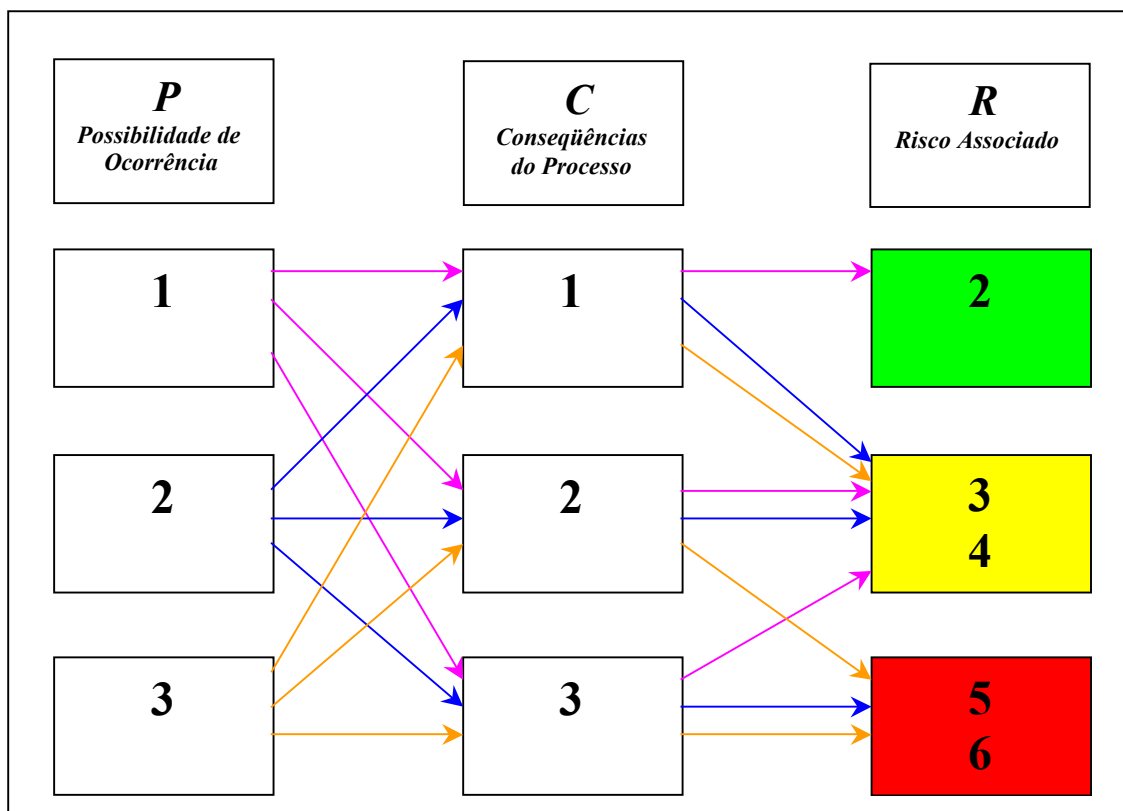


Figura 16 – Esquema proposto para avaliação do grau de risco de colapso de solos.

Sendo:

- Edificação com baixo grau de risco
- Edificação com médio grau de risco
- Edificação com alto grau de risco

É importante destacar que a situação de risco iminente não foi considerada nesta análise porque para se caracterizar a iminência do colapso seria necessário a monitoração do solo nas condições reais do início do processo, tarefa de considerada dificuldade pois é uma situação que está relacionada à dinâmica interna do solo e apenas com a utilização de dispositivos sob toda a edificação seria possível detectar exatamente o local e instante do início do processo.

3.5.3 REPRESENTAÇÃO CARTOGRÁFICA DO RISCO

Considerando a classificação das situações de risco de colapso de solos foi possível representar, para cada edificação residencial com ocorrência do processo, o grau de risco atual em relação ao processo, resultando na obtenção da carta de cadastramento de risco de colapso de solos para a área estudada, apresentada no Anexo 5.

A representação do risco foi feita com um sistema de hachuras considerando-se as cores referentes aos resultados do esquema da Figura 16.

Com os resultados do cadastramento de risco de colapso de solos foi possível definir zonas homogêneas em relação ao grau de risco.

As zonas definidas correspondem a grupos de edificações da área estudada que satisfazem as seguintes condições: (1) estão localizadas num mesmo quadrante da área estudada; (2) estão localizadas num mesmo elemento de terreno e (3) possuem tipos construtivos semelhantes.

Os tipos construtivos semelhantes foram considerados em dois grupos denominados: Grupo 3-4 (edificações do tipo 3 e do tipo 4) e Grupo 5-6 (edificações do tipo 5 e do tipo 6).

Para cada grupo de edificações (Grupo 3-4 e Grupo 5-6) foram somados os pesos de baixo, médio e alto graus de risco das edificações cadastradas e calculadas as suas porcentagens de ocorrência no grupo.

Depois, para cada zona delimitada, seguiu-se o mesmo raciocínio obtendo-se as porcentagens de ocorrência de cada grau na zona.

Finalmente, para cada grau de risco calculou-se a relação abaixo:

$$\frac{\% \text{ de ocorrência do grau na zona}}{\% \text{ de ocorrência do grau no grupo}}$$

A zona recebeu a classificação segundo o grau de risco com maior valor numérico resultante da relação acima.

Sobre a carta de cadastramento foram delimitadas as zonas e depois as mesmas foram classificadas com um sistema de hachuras na cor que representa o grau de risco. Esta representação resultou na carta de zoneamento de risco de colapso de solos para a área estudada, apresentada no Anexo 6.

Na Figura 17 e na Tabela 6 são apresentadas as 12 (doze) zonas delimitadas que satisfazem as 3 (três) condições anteriormente descritas.



Figura 17– Zonas delimitadas para classificação dos graus de risco de colapso de solos.

Tabela 6 – Características das zonas delimitadas para avaliação do risco de colapso de solos.

REGIÃO	ZONA	CARACTERÍSTICAS
1º Quadrante	1	Conjunto de edificações do grupo 3-4, localizadas no elemento de terreno A.2.2.
	2	Conjunto de edificações do grupo 3-4, localizadas no elemento de terreno A.2.1.
2º Quadrante	3	Conjunto de edificações do grupo 5-6, localizadas no elemento de terreno A.2.1.
	4	Conjunto de edificações do grupo 3-4, localizadas no elemento de terreno A.2.1.
	5	Conjunto de edificações do grupo 5-6, localizadas no elemento de terreno A.2.2.
3º Quadrante	6	Conjunto de edificações do grupo 3-4, localizadas no elemento de terreno A.2.2.
	7	Conjunto de edificações do grupo 3-4, localizadas no elemento de terreno A.2.2.
	8	Conjunto de edificações do grupo 5-6, localizadas no elemento de terreno A.2.2.
	9	Conjunto de edificações do grupo 3-4, localizadas no elemento de terreno A.2.1.
4º Quadrante	10	Conjunto de edificações do grupo 5-6, localizadas no elemento de terreno A.2.1.
	11	Conjunto de edificações do grupo 3-4, localizadas no elemento de terreno A.2.2.
	12	Conjunto de edificações do grupo 3-4, localizadas no elemento de terreno A.2.1.

4 RESULTADOS E ANÁLISES

4.1 BANCO DE DADOS

O trabalho de campo realizado através das entrevistas junto à população da área estudada, possibilitou a identificação de 177 (cento e setenta e sete) edificações residenciais com ocorrências de evidências de processo de colapso de solos, disseminadas por toda a área.

Estas 177 (cento e setenta e sete) edificações e as informações obtidas foram apresentadas na tabela do Banco de Dados e a partir desta tabela foram criados os formulários de dados (um para cada edificação residencial cadastrada). Abaixo são apresentados a tabela e exemplos dos formulários.

Endereço	Tipo	Data de Início	Local - Trincas	Abertas (A) / Fechadas (F)	Motivo	Obras - Data	Obras - Tipo	Custo (R\$)	Recorrência
P. Apucarana, 301	6		Toda a casa	A	Infiltração - rede de esgoto externa	Janeiro/99	Rec. Rede	1.000,00	Não
P. Araras, 105	3		Frente da casa	F	Não identificado				
P. Araras, 123	3		Toda a casa	Maioria - F; algumas - A	Não identificado				
P. Araras, 220	3		Sala	F	Não identificado				
P. Araras, 504	3		Cozinha	F	Não identificado				
P. B. Horizonte, 308	3		Sala	F	Infiltração	4 anos atrás			Não
P. B. Horizonte, 418	3		Sala	A	Não identificado	Não se recorda	Ref. Estrutural		Sim
P. Barbacena, 205	6		Lavanderia	A	Infiltração	Não se recorda	Ref. Fundação	1.500,00	Não
P. Barras, 107	4		Sala/ Quartos/ Fundo da casa	Sala - F; outras - A	Não identificado				
P. Barras, 207	4		Quartos	A	Não identificado				
P. Barras, 414	4		Frente da casa	F	Infiltração - esgoto da frente da casa	Não se recorda	Ref. Fundação		Não
P. Batalha, 111	4		Sala	F	Não identificado				
P. Batalha, 401	4		Nas paredes hidráulicas	F	Infiltração	Não se recorda			Não
P. Batalha, 403	4		Frente da casa/ Quartos	F	Infiltração	Não se recorda			Não
P. Batalha, 408	4		Quartos/ Banheiro	F	Não identificado				
P. Bauru, 101	5	10 anos atrás	Toda a casa	F	Não identificado	4 anos atrás	Ref. Fundação		Sim
P. Bauru, 206	5		Cozinha/ Quintal	F	Não identificado				
P. Bauru, 307	5	6 anos atrás	Toda a casa	F	Não identificado	2 anos atrás	Ref. Estrutural		Não
P. Bauru, 408	5	10 anos atrás	Sala/ Quartos/ Quintal	F	Não identificado				
P. Brilhante, 302	6		Toda a casa	Algumas - F; outras - A	Infiltração - rede de esgoto externa				
P. Cabo, 113	3		Frente da casa	F	Não identificado				
P. Cabo, 214	3		Fundo da casa	F	Não identificado				
P. Cabo, 308	3		Sala	F	Não identificado	Não se recorda	Rec. Alvenaria		Não
P. Caconde, 101	5	7 anos atrás	Sala de TV	F	Não identificado	Não se recorda	Ref. Estrutural		Sim
P. Caconde, 203	5		Quartos/ Quintal	F	Não identificado	Não se recorda	Ref. Estrutural		Sim
P. Caconde, 305	5	10 anos atrás	Sala/ Saleta/ Quartos	A	Não identificado	Não se recorda	Ref. Fundação		Sim
P. Caconde, 403	5		Toda a casa	F	Não identificado	1999	Ref. Estrutural		Não
P. Cambará, 105	6		Sala/ Fundo da casa	F	Não identificado				
P. Cambará, 208	6		Cozinha	F	Não identificado	Não se recorda			Não
P. Cambará, 404	6		Frente da casa/ Quartos	Quartos - A; outras - F	Infiltração	1993	Ref. Fundação		Não
P. Campos, 305	6		Quartos/ Copa/ Quintal	Copa - A; outras - F	Não identificado	Não se recorda	Ref. Fundação		Sim
P. Canindé, 207	3		Sala	F	Não identificado				
P. Canindé, 423	3		Frente da casa/ Sala	F	Infiltração	Não se recorda			Não
P. Canindé, 518	3		Sala/ Fundo da casa	F	Não identificado				
P. Caracol, 303	3		Fundo da casa	A	Não identificado	Não se recorda			Não
P. Caracol, 304	3		Sala/ Quartos	F	Não identificado				
P. Caracol, 502	3		Frente da casa/ Cozinha	Cozinha - A; outras - F	Infiltração	Não se recorda			Não

Endereço	Tipo	Data de Início	Local - Trincas	Abertas (A) / Fechadas (F)	Motivo	Obras - Data	Obras - Tipo	Custo (R\$)	Recorrência
P. Caracol, 504	3		Frente da casa	A	Não identificado	Não se recorda	Rec. Alvenaria		Sim
P. Caruaru, 121	3		Frente da casa	A	Não identificado				
P. Caruaru, 413	3		Cozinha	A	Não identificado				
P. Colinas, 214	4		Quartos	A	Não identificado				
P. Colinas, 405	4		Frente e do Fundo da casa	A	Infiltração	Não se recorda			Não
P. Colinas, 504	4		Sala	F	Não identificado				
P. Correntes, 113	4		Fundo da casa	F	Infiltração	Não se recorda			Não
P. Correntes, 202	4		Sala	A	Infiltração na frente da casa	Não se recorda	Ref. Estrutural		Não
P. Corumbá, 101	5		Sala/ Banheiro social	F	Não identificado				
P. Corumbá, 408	5		Quartos	F	Não identificado				
P. Cristalina, 404	3	3 anos atrás	Fundo da casa	A	Não identificado	Não se recorda	Rec. Alvenaria		Sim
P. Cristalina, 406	3		Frente da casa	F	Não identificado				
P. Cuiabá, 205	3		Toda a casa	F	Infiltração - rede de esgoto interna	Não se recorda	Ref. Fundação		
P. Cuiabá, 320	3		Sala/ Quartos	F	Não identificado				
P. Cuiabá, 422	3		Frente da casa	F	Não identificado	Não se recorda	Rec. Alvenaria		Sim
P. Curitiba, 407	3		Cozinha/ Quartos	F	Não identificado				
P. Curitiba, 522	3		Sala/ Cozinha	F	Não identificado				
P. Floresta, 107	3		Frente da casa	A	Não identificado				
P. Floresta, 113	3		Frente da casa	F	Infiltração - rede de esgoto externa	Não se recorda			Sim
P. Floresta, 219	3		Frente da casa	A	Infiltração	Não se recorda	Rec. Rede		Não
P. Floresta, 410	3		Frente da casa	F	Não identificado				
P. Floresta, 417	3		Sala	F	Não identificado				
P. Floresta, 506	3		Frente da casa	A	Não identificado	Não se recorda			Não
P. Floresta, 508	3		Sala	F	Não identificado	Não se recorda			Sim
P. Floresta, 510	3		Cozinha	A	Não identificado	Não se recorda	Ref. Estrutural		Não
P. Fortaleza, 103	3		Frente da casa/ Banheiro	F	Não identificado	Não se recorda	Rec. Alvenaria		Sim
P. Fortaleza, 212	3		Frente e Fundo da casa/ Cozinha	Cozinha - A; outras - F	Não identificado				
P. Fortaleza, 306	3		Cozinha	F	Não identificado	Não se recorda	Ref. Estrutural		Não
P. Fortaleza, 404	3		Frente da casa/ Quartos	F	Não identificado	Não se recorda			Não
P. Fortaleza, 406	3		Cozinha	F	Não identificado				
P. Fortaleza, 408	3		Cozinha	F	Não identificado	Não se recorda			Não
P. Fortaleza, 518	3		Frente da casa	F	Não identificado	Não se recorda			Não
P. Goiânia, 101	3		Cozinha	F	Infiltração				
P. Goiânia, 123	3		Frente da casa	F	Não identificado	Não se recorda			Não
P. Icaraiá, 418	3		Nas paredes hidráulicas	F	Infiltração	Não se recorda			Não
P. Icaraiá, 502	3		Frente da casa/ Sala	F	Infiltração	Não se recorda			Sim
P. Ilhéus, 301	3		No piso de toda a casa/ banheiro	Piso - A; banheiro - F	Não identificado	Não se recorda			Não

Endereço	Tipo	Data de Início	Local - Trincas	Abertas (A) / Fechadas (F)	Motivo	Obras - Data	Obras - Tipo	Custo (R\$)	Recorrência
P. Ilhéus, 314	3		Na sala	F	Não identificado	Não se recorda			Não
P. Ilhéus, 401	3		Toda a casa	A	Infiltração - rede de esgoto externa	Não se recorda			Não
P. Ilhéus, 407	3		Toda a casa	F	Não identificado				
P. Ilhéus, 409	3		Toda a casa	Cozinha - A	Não identificado				
P. Imperatriz, 223	3		Cozinha/ Banheiro	A	Infiltração no banheiro				
P. Imperatriz, 224	3		Cozinha/ Banheiro	A	Infiltração no banheiro				
P. Imperatriz, 412	3		Sala/ Cozinha	A	Não identificado	Não se recorda			Não
P. Ipiranga, 201	6		Frente da casa/ Quartos	Quartos - A; outras - F	Não identificado				
P. Ipiranga, 203	6		Sala	F	Não identificado				
P. Itu, 217	3	1 ano atrás	Frente e Fundo da casa	Maioria - F; algumas - A	Não identificado	Não se recorda			Sim
P. Itu, 218	3		Frente da casa	A	Infiltração				
P. Itu, 409	3		Sala/ Quartos	F	Não identificado				
P. Itu, 520	3		Sala/ Cozinha	A	Infiltração - rede de esgoto externa	Não se recorda			Não
P. Jaú, 103	5		Toda a casa	F	Não identificado	1994	Ref. Fundação		Sim
P. Jau, 208	5		Quartos	F	Não identificado				
P. Jaú, 402	5		Toda a casa	F	Não identificado				
P. Juazeiro, 109	3		Quartos/ Fundo da casa	A	Não identificado				
P. Juazeiro, 205	3		Frente da casa	F	Infiltração - rede de esgoto externa	Não se recorda	Rec. Rede		Não
P. Juazeiro, 226	3		Frente da casa	F	Infiltração - rede de esgoto externa	Não se recorda	Rec. Rede		Não
P. Juazeiro, 310	3		Fundo da casa	F	Não identificado				
P. Juazeiro, 516	3		Banheiro	F	Não identificado				
P. Ladário, 101	5	1 ano atrás	Toda a casa	F	Não identificado				
P. Laguna, 107	3	3 anos atrás	Sala/ Cozinha	F	Não identificado				
P. Laguna, 205	3		Fundo da casa	F	Não identificado				
P. Laguna, 407	3	10 anos atrás	Cozinha	A	Não identificado				
P. Laguna, 408	3		Sala	A	Não identificado				
P. Laguna, 506	3		Sala	A	Não identificado	Não se recorda			Não
P. Lambari, 304	6		Sala	F	Não identificado				
P. Lapa, 404	5		Frente da casa	F	Não identificado	Não se recorda	Ref. Fundação		Não
P. Limeira, 105	3	12 anos atrás	Cozinha/ Fundo da casa	F	Não identificado				
P. Limeira, 209	3	7 anos atrás	Fundo da casa	F	Infiltração	6 anos atrás			Não
P. Limeira, 216	3		Fundo da casa	F	Não identificado				
P. Limeira, 420	3	3 anos atrás	Frente e Fundo da casa	F	Não identificado				
P. Londrina, 303	4		Cozinha/ Banheiro	A	Não identificado				
P. Londrina, 312	4		Fundo da casa	F	Não identificado				
P. Londrina, 401	4		Fundo da casa	F	Infiltração				
P. Londrina, 403	4		Fundo da casa	F	Infiltração				

Endereço	Tipo	Data de Início	Local - Trincas	Abertas (A) / Fechadas (F)	Motivo	Obras - Data	Obras - Tipo	Custo (R\$)	Recorrência
P. Manaus, 301	4		Fundo da casa	F	Não identificado	Não se recorda	Rec. Alvenaria		Não
P. Marília, 209	3		Cozinha/ Quartos	A	Não identificado	Não se recorda			Não
P. Maringá, 201	3		Frente da casa	F	Não identificado				
P. Mococa, 101	5		Toda a casa	F	Não identificado	1988/ 1990/ 1993	Ref. Fundação	1.000,00	Sim
P. Mococa, 202	5		Cozinha	F	Não identificado	Não se recorda	Ref. Estrutural		Sim
P. Mococa, 204	5		Quartos	A	Não identificado	Não se recorda	Ref. Estrutural		Sim
P. Mococa, 304	5	15 anos atrás	Quartos/ Banheiro social	A	Não identificado	Não se recorda	Ref. Estrutural		Não
P. Monção, 210	4		Sala/ Cozinha	F	Não identificado				
P. Niterói, 301	3		Sala/ Cozinha / Quartos	A	Infiltração	Não se recorda			Não
P. Niterói, 303	3		Banheiro/ Fundo da casa	A	Não identificado	Não se recorda			Sim
P. Olinda, 105	3		Frente e Fundo da casa/ Sala/ Quartos	F	Não identificado				
P. Olinda, 202	3		Frente da casa/ Cozinha/ Quartos	F	Não identificado				
P. Olinda, 308	3		Frente e Fundo da casa	F	Não identificado	Não se recorda			Não
P. Olinda, 309	3		Frente da casa/ Sala/ Banheiro	F	Não identificado				
P. Olinda, 405	3		Frente da casa	F	Infiltração - rede de esgoto externa	Não se recorda			Não
P. Olinda, 502	3		Sala/ Quartos	A	Infiltração - rede de esgoto externa	Não se recorda			Sim
P. Olinda, 504	3		Sala/ Quartos	A	Infiltração - rede de esgoto externa	Não se recorda			Não
P. Orós, 214	3		Banheiro	F	Infiltração	Não se recorda	Rec. Alvenaria		Não
P. Ouro Preto, 202	6		Toda a casa	F	Infiltração	4 anos atrás	Ref. Estrutural		Não
P. Ouro Preto, 302	6		Sala	A	Infiltração	Não se recorda	Ref. Estrutural		Não
P. Palmas, 201	5		Frente da casa	F	Infiltração - rede de esgoto externa	Não se recorda			Não
P. Palmas, 202	5		Frente da casa	F	Infiltração - rede de esgoto externa	Não se recorda			Não
P. Palmas, 204	5		Frente da casa	F	Infiltração - rede de esgoto externa	Não se recorda			Não
P. Paranaguá, 305	6		Frente da casa	A	Não identificado	6 anos atrás			Sim
P. Paranaguá, 402	6		Fundo da casa	F	Não identificado				
P. Prado, 109	3		Nas paredes hidráulicas	F	Infiltração	Não se recorda			Não
P. Prado, 117	3		Nas paredes hidráulicas	F	Infiltração				
P. Prado, 206	3		Banheiro	F	Infiltração				
P. Prado, 218	3		Sala	F	Não identificado				
P. Recanto, 210	3		Cozinha/ Quartos	F	Não identificado				
P. Recife, 324	3		Toda a casa	F	Não identificado	Não se recorda			Sim
P. Recife, 322	3		Sala/ Cozinha	F	Não identificado				
P. Rochedos, 101	6		Sala	F	Não identificado	5 anos atrás	Ref. Estrutural		Não
P. Rochedos, 208	6		Lavanderia	F	Não identificado				
P. Sabará, 208	6		Sala	F	Não identificado				
P. Sabará, 305	6		Cozinha	F	Infiltração - esgoto da cozinha	Não se recorda	Rec. Rede		Não
P. Salgueiro, 211	3		Frente da casa	F	Infiltração - rede de esgoto externa	Não se recorda	Rec. Alvenaria		Não

Endereço	Tipo	Data de Início	Local - Trincas	Abertas (A) / Fechadas (F)	Motivo	Obras - Data	Obras - Tipo	Custo (R\$)	Recorrência
P. Salgueiro, 215	3		Frente da casa	F	Infiltração - rede de esgoto externa	Não se recorda	Rec. Alvenaria		Não
P. Salgueiro, 402	3		Sala	F	Não identificado	Não se recorda			Sim
P. Salvador, 310	3		Frente da casa	A	Não identificado				
P. Salvador, 414	3		Frente da casa	F	Não identificado				
P. Santos, 111	3		Frente e Fundo da casa	F	Não identificado				
P. Santos, 322	3		Frente da casa/ Quartos	Quartos - F; outras - A	Não identificado				
P. São Luiz, 113	4		Frente da casa/ Sala/ Cozinha	Cozinha - A; outras - F	Infiltração - rede de esgoto externa	Não se recorda	Ref. Estrutural		Não
P. São Luiz, 115	4		Frente da casa/ Sala/ Cozinha	Cozinha - A; outras - F	Infiltração - rede de esgoto externa	Não se recorda	Ref. Estrutural		Não
P. São Luiz, 204	4		Quartos	A	Não identificado				
P. São Luiz, 306	4		Frente e Fundo da casa	F	Infiltração	Não se recorda			Não
P. São Luiz, 310	4		Frente da casa	F	Não identificado				
P. São Luiz, 512	4		Frente da casa	F	Infiltração - rede de esgoto externa	Não se recorda			Não
P. Sobral, 312	3		Frente da casa	F	Não identificado	Não se recorda	Ref. Estrutural		Não
P. Sobral, 318	3		Cozinha	F	Não identificado				
P. Sobral, 518	3		Sala/ Cozinha/ Fundo da casa	Fundo da casa - A; outras - F	Não identificado				
P. Sobral, 520	3		Sala/ Banheiro	Sala - F; banheiro - A	Não identificado	Não se recorda			Sim
P. Sorocaba, 113	3		Sala/ Fundo da casa	Sala - F; fundo da casa - A	Não identificado				
P. Sorocaba, 508	3	25 anos atrás	Sala/ Cozinha	F	Não identificado				
P. Teresina, 216	3		Frente da casa/ Sala	F	Não identificado				
P. Teresina, 314	3	4 anos atrás	Frente da casa	F	Infiltração				
P. Teresina, 316	3	4 anos atrás	Frente da casa	F	Infiltração - rede de esgoto externa	3 anos atrás	Rec. Rede		Não
P. Teresina, 510	3		Sala/ Cozinha/ Quartos	A	Infiltração	Não se recorda	Ref. Estrutural	2.000,00	Sim
P. Teresina, 522	3		Cozinha/ Quartos	A	Infiltração	Não se recorda	Ref. Estrutural		Não
P. Tijucas, 217	3		Cozinha/ Fundo da casa	Cozinha - A; outras - F	Não identificado	Não se recorda	Rec. Alvenaria		Não
P. Tijucas, 319	3		Sala/ Cozinha/ Quartos	F	Não identificado				
P. Tijucas, 405	3		Sala/ Cozinha/ Fundo da casa	F	Não identificado				
P. Tijucas, 510	3		Frente da casa	A	Infiltração				
P. Uberaba, 301	3		Frente da casa/ Sala/ Quartos	F	Não identificado				
P. Uberaba, 518	3		Frente da casa/ Sala	F	Não identificado	Não se recorda	Ref. Estrutural		Não

Exemplos de Formulários criados pelo Banco de Dados:

Endereço	P. Apucarana, 301
Tipo	6
Data de Início	
Local - Trincas	Toda a casa
Abertas (A) / Fechadas (F)	A
Motivo	Infiltração - rede de esgoto externa
Obras - Data	Janeiro/99
Obras - Tipo	Rec. Rede
Custo (R\$)	1.000,00
Recorrência	Não

Endereço	P. Araras, 105
Tipo	3
Data de Início	
Local - Trincas	Frente da casa
Abertas (A) / Fechadas (F)	F
Motivo	Não identificado
Obras - Data	
Obras - Tipo	
Custo (R\$)	
Recorrência	

Endereço	P. Araras, 123
Tipo	3
Data de Início	
Local - Trincas	Toda a casa
Abertas (A) / Fechadas (F)	Maioria - F; algumas - A
Motivo	Não identificado
Obras - Data	
Obras - Tipo	
Custo (R\$)	
Recorrência	

4.2 CLASSIFICAÇÃO QUANTO À SUSCETIBILIDADE INDUZIDA

A análise das informações obtidas nas entrevistas e dos projetos hidro-sanitários permitiu a classificação quanto ao grau de disseminação das trincas pela edificação residencial cadastrada e a identificação dos prováveis fatores desencadeadores do processo de colapso de solos.

O resultado desta análise, para cada tipo de edificação residencial, é apresentado nas tabelas e gráficos a seguir:

Tabela 7 – Edificações Tipo 3: Classificação quanto à suscetibilidade induzida.

EDIFICAÇÕES TIPO 3 – 113 ocorrências cadastradas			
Endereço	Grau de Diss.	Provável Fator Desencadeador do Processo de Colapso de Solos	Obs.
Araras 105	1	Ruptura da tubulação de esgoto da frente da casa	
Araras 123	3	Problemas na rede de esgoto externa	esquina
Araras 220	1	Ruptura da tubulação de esgoto da frente da casa	
Araras 504	1	Ruptura da tubulação de esgoto da cozinha	
Belo Horizonte 308	1	Ruptura da tubulação de esgoto da frente da casa	
Belo Horizonte 418	1	Ruptura da tubulação de esgoto da frente da casa	
Cabo 113	1	Ruptura da tubulação de esgoto da frente da casa	
Cabo 214	1	Ruptura da canaleta de drenagem pluvial do fundo da casa	
Cabo 308	1	Ruptura da tubulação de esgoto da frente da casa	
Canindé 207	1	Ruptura da tubulação de esgoto da frente da casa	
Canindé 423	2	Problemas na rede de água externa	esquina
Canindé 518	2	Ruptura da tubulação de esgoto da frente da casa e da canaleta do fundo	
Caracol 303	1	Ruptura da canaleta de drenagem pluvial do fundo da casa	
Caracol 304	2	Ruptura da tubulação de esgoto da frente da casa	
Caracol 502	2	Problemas na rede de esgoto externa	esquina
Caracol 504	1	Problemas na rede de esgoto externa	v-esquina
Caruaru 121	1	Ruptura da tubulação de esgoto da frente da casa	
Caruaru 413	1	Ruptura da tubulação de esgoto da cozinha	
Cristalina 404	1	Ruptura da canaleta de drenagem pluvial do fundo da casa	
Cristalina 406	1	Ruptura da tubulação de esgoto da frente da casa	
Cuiabá 205	3	Problemas em toda a rede de esgoto interna	
Cuiabá 320	2	Ruptura da tubulação de esgoto da frente da casa e da canaleta do fundo	
Cuiabá 422	1	Ruptura da tubulação de esgoto da frente da casa	
Curitiba 407	2	Ruptura da tubulação de esgoto da cozinha	
Curitiba 522	2	Ruptura da tubulação de esgoto da cozinha	
Floresta 107	1	Problemas na rede de esgoto externa	
Floresta 113	1	Problemas na rede de esgoto externa	
Floresta 219	1	Ruptura da tubulação de esgoto da frente da casa	
Floresta 410	1	Ruptura da tubulação de esgoto da frente da casa	
Floresta 417	1	Ruptura da tubulação de esgoto da frente da casa	
Floresta 506	1	Ruptura da tubulação de esgoto da frente da casa	
Floresta 508	1	Ruptura da tubulação de esgoto da frente da casa	
Floresta 510	1	Ruptura da tubulação de esgoto da cozinha	
Fortaleza 103	2	Ruptura da tubulação de esgoto do banheiro	
Fortaleza 212	3	Ruptura da tubulação de esgoto da frente da casa e da canaleta do fundo	
Fortaleza 306	1	Ruptura da tubulação de esgoto da cozinha	
Fortaleza 404	2	Ruptura da tubulação de esgoto da frente da casa	
Fortaleza 406	1	Ruptura da tubulação de esgoto da cozinha	
Fortaleza 408	1	Ruptura da tubulação de esgoto da cozinha	
Fortaleza 518	1	Ruptura da tubulação de esgoto da frente da casa	
Goiânia 101	1	Ruptura da tubulação de esgoto da cozinha	esquina
Goiânia 123	1	Ruptura da tubulação de esgoto da frente da casa	esquina
Icarai 418	3	Problemas em toda a rede de água interna	
Icarai 502	2	Problemas na rede de água externa	esquina
Ilhéus 301	3	Problemas na rede de esgoto externa	esquina
Ilhéus 314	1	Ruptura da tubulação de esgoto da frente da casa	
Ilhéus 401	3	Problemas na rede de esgoto externa	esquina

Tabela 7 – Continuação

EDIFICAÇÕES TIPO 3 – 113 ocorrências cadastradas			
Endereço	Grau de Diss.	Provável Fator Desencadeador do Processo de Colapso de Solos	Obs.
Ilhéus 407	3	Problemas na rede de esgoto externa	v-esquina
Ilhéus 409	3	Problemas na rede de esgoto externa	v-esquina
Imperatriz 223	2	Ruptura da tubulação de esgoto do banheiro	esquina
Imperatriz 224	2	Ruptura da tubulação de esgoto do banheiro	esquina
Imperatriz 412	2	Ruptura da tubulação de esgoto da cozinha	
Itu 217	2	Ruptura da tubulação de esgoto da frente da casa e da canaleta do fundo	
Itu 218	1	Ruptura da tubulação de esgoto da frente da casa	
Itu 409	2	Ruptura da tubulação de esgoto da frente da casa	
Itu 520	2	Problemas na rede de esgoto externa	
Juazeiro 109	2	Ruptura da canaleta de drenagem pluvial do fundo da casa	
Juazeiro 205	1	Problemas na rede de esgoto externa	
Juazeiro 226	1	Problemas na rede de esgoto externa	
Juazeiro 310	1	Ruptura da canaleta de drenagem pluvial do fundo da casa	
Juazeiro 516	1	Ruptura da tubulação de esgoto do banheiro	
Laguna 107	2	Ruptura da tubulação de esgoto da cozinha	
Laguna 205	1	Ruptura da canaleta de drenagem pluvial do fundo da casa	
Laguna 407	1	Ruptura da tubulação de esgoto da cozinha	
Laguna 408	1	Ruptura da tubulação de esgoto da cozinha	
Laguna 506	1	Ruptura da tubulação de esgoto da frente da casa	
Limeira 105	2	Ruptura da canaleta de drenagem pluvial do fundo da casa	
Limeira 209	1	Ruptura da canaleta de drenagem pluvial do fundo da casa	
Limeira 216	1	Ruptura da canaleta de drenagem pluvial do fundo da casa	
Limeira 420	2	Ruptura da tubulação de esgoto da frente da casa e da canaleta do fundo	
Marília 209	2	Ruptura da tubulação de esgoto da cozinha	
Maringá 201	1	Ruptura da tubulação de esgoto da frente da casa	esquina
Niterói 301	3	Problemas na rede de esgoto externa	esquina
Niterói 303	2	Problemas na rede de esgoto externa	v-esquina
Olinda 105	3	Ruptura da tubulação de esgoto da frente da casa e da canaleta do fundo	
Olinda 202	3	Problemas na rede de água externa	esquina
Olinda 308	2	Ruptura da tubulação de esgoto da frente da casa e da canaleta do fundo	
Olinda 309	3	Ruptura da tubulação de esgoto da frente da casa e da canaleta do fundo	
Olinda 405	1	Problemas na rede de esgoto externa	
Olinda 502	2	Problemas na rede de esgoto externa	esquina
Olinda 504	2	Problemas na rede de esgoto externa	
Orós 214	1	Ruptura da tubulação de esgoto do banheiro	
Prado 109	3	Problemas em toda a rede de água interna	
Prado 117	3	Problemas em toda a rede de água interna	
Prado 206	1	Ruptura da tubulação de esgoto do banheiro	
Prado 218	1	Ruptura da tubulação de esgoto da frente da casa	
Recanto 210	2	Ruptura da tubulação de esgoto da cozinha	
Recanto 324	3	Problemas na rede de esgoto externa	esquina
Recife 322	2	Ruptura da tubulação de esgoto da cozinha	
Salgueiro 211	1	Ruptura da tubulação de esgoto da frente da casa	
Salgueiro 215	1	Ruptura da tubulação de esgoto da frente da casa	
Salgueiro 402	1	Ruptura da tubulação de esgoto da frente da casa	esquina
Salvador 310	1	Ruptura da tubulação de esgoto da frente da casa	

Tabela 7 - Continuação

EDIFICAÇÕES TIPO 3 – 113 ocorrências cadastradas			
Endereço	Grau de Diss.	Provável Fator Desencadeador do Processo de Colapso de Solos	Obs.
Salvador 414	1	Ruptura da tubulação de esgoto da frente da casa	
Santos 111	2	Ruptura da tubulação de esgoto da frente da casa e da canaleta do fundo	
Santos 322	2	Ruptura da tubulação de esgoto da frente da casa	
Sobral 312	1	Ruptura da tubulação de esgoto da frente da casa	
Sobral 318	1	Ruptura da tubulação de esgoto da cozinha	
Sobral 518	3	Ruptura da tubulação de esgoto da cozinha	
Sobral 520	2	Ruptura da tubulação de esgoto da cozinha	
Sorocaba 113	2	Ruptura da canaleta de drenagem pluvial do fundo da casa	
Sorocaba 508	2	Ruptura da tubulação de esgoto da cozinha	
Teresina 216	2	Ruptura da tubulação de esgoto da frente da casa	
Teresina 314	1	Problemas na rede de esgoto externa	
Teresina 316	1	Problemas na rede de esgoto externa	
Teresina 510	3	Ruptura da tubulação de esgoto da cozinha	
Teresina 522	2	Ruptura da tubulação de esgoto da cozinha	
Tijucas 217	2	Ruptura da tubulação de esgoto da cozinha	
Tijucas 319	3	Ruptura da tubulação de esgoto da cozinha	
Tijucas 405	3	Ruptura da tubulação de esgoto da cozinha	
Tijucas 510	1	Ruptura da tubulação de esgoto da frente da casa	
Uberaba 301	3	Problemas na rede de água externa	esquina
Uberaba 518	2	Ruptura da tubulação de esgoto da frente da casa	

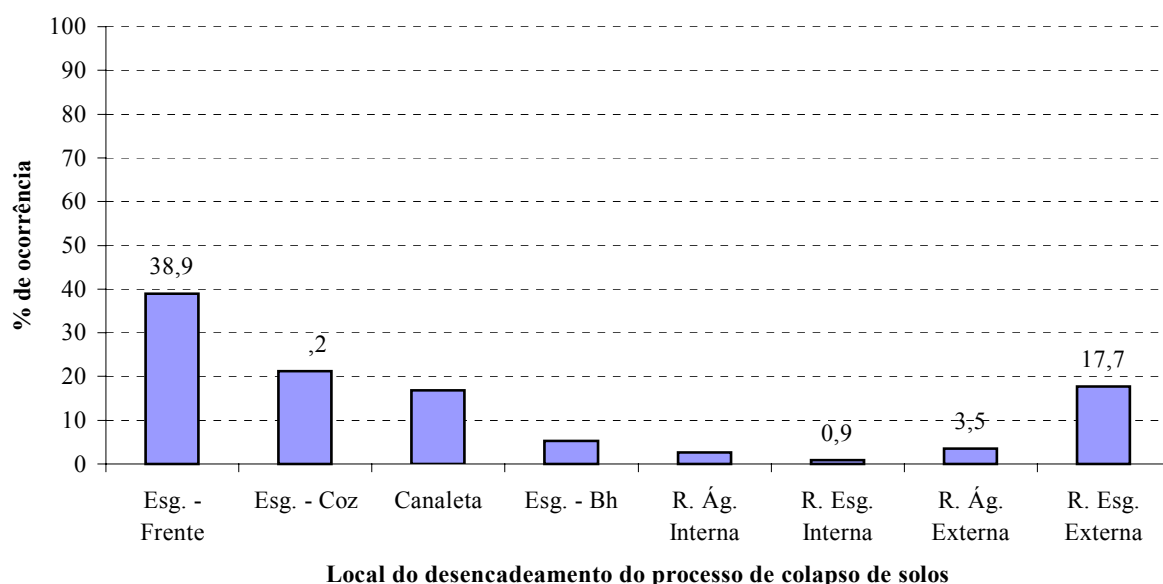


Figura 18 – Edificações Tipo 3: Local do desencadeamento do processo de colapso de solos x porcentagem de ocorrências.

Tabela 8 – Edificações Tipo 4: Classificação quanto à suscetibilidade induzida.

EDIFICAÇÕES TIPO 4 – 24 ocorrências cadastradas			
Endereço	Grau de Diss.	Provável Fator Desencadeador do Processo de Colapso de Solos	Obs.
Barras 107	3	Problemas em toda a rede de esgoto interna	
Barras 207	1	Ruptura da tubulação de esgoto do banheiro	
Barras 414	1	Ruptura da tubulação de esgoto da frente da casa	
Batalha 111	1	Ruptura da tubulação de esgoto da cozinha	
Batalha 401	3	Problemas em toda a rede de água interna	esquina
Batalha 403	2	Problemas em toda a rede de água interna	
Batalha 408	2	Ruptura da tubulação de esgoto do banheiro	
Colinas 214	1	Ruptura da tubulação de esgoto do banheiro	
Colinas 405	2	Ruptura da tubulação de esgoto da frente da casa e da canaleta do fundo	
Colinas 504	1	Ruptura da tubulação de esgoto da cozinha	
Correntes 113	2	Ruptura da tubulação de esgoto do banheiro	
Correntes 202	1	Problemas na rede de esgoto externa	esquina
Londrina 303	2	Ruptura da tubulação de esgoto do banheiro	
Londrina 312	1	Ruptura da canaleta de drenagem pluvial do fundo da casa	
Londrina 401	1	Ruptura da canaleta de drenagem pluvial do fundo da casa	esquina
Londrina 403	1	Ruptura da canaleta de drenagem pluvial do fundo da casa	
Manaus 301	1	Problemas na rede de esgoto externa	esquina
Monção 210	2	Ruptura da tubulação de esgoto da cozinha	
São Luiz 113	3	Problemas na rede de esgoto externa	v-esquina
São Luiz 115	3	Problemas na rede de esgoto externa	esquina
São Luiz 204	1	Ruptura da tubulação de esgoto do banheiro	
São Luiz 306	2	Ruptura da tubulação de esgoto da frente da casa e da canaleta do fundo	
São Luiz 310	1	Ruptura da tubulação de esgoto da frente da casa	
São Luiz 512	1	Ruptura da tubulação de esgoto da frente da casa	

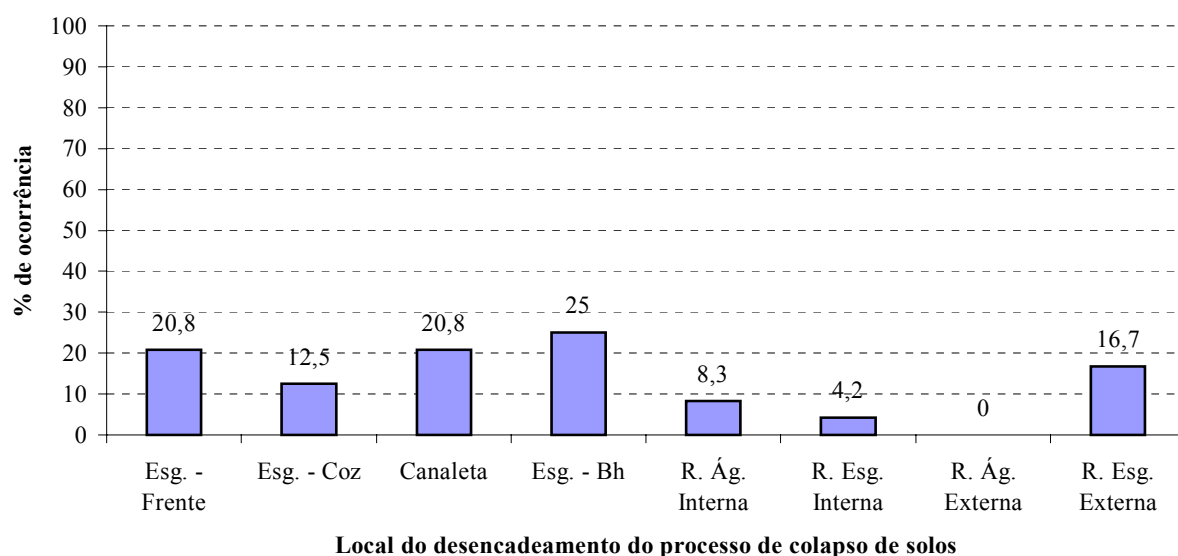


Figura 19 – Edificações Tipo 4: Local do desencadeamento do processo de colapso de solos x porcentagem de ocorrências.

Tabela 9 – Edificações Tipo 5: Classificação quanto à suscetibilidade induzida.

EDIFICAÇÕES TIPO 5 – 22 ocorrências cadastradas			
Endereço	Grau de Diss.	Provável Fator Desencadeador do Processo de Colapso de Solos	Obs.
Bauru 101	3	Problemas na rede de esgoto externa	esquina
Bauru 206	2	Ruptura da tubulação de esgoto da cozinha	
Bauru 307	3	Problemas na rede de esgoto externa	esquina
Bauru 408	3	Problemas na rede de esgoto externa	esquina
Caconde 101	1	Ruptura da tubulação de esgoto do banheiro da suíte	esquina
Caconde 203	2	Ruptura da tubulação de esgoto do banheiro da suíte	
Caconde 305	3	Problemas na rede de esgoto externa	esquina
Caconde 403	3	Problemas na rede de esgoto externa	esquina
Corumbá 101	2	Ruptura da tubulação de esgoto do banheiro social	esquina
Corumbá 408	1	Ruptura da tubulação de esgoto do banheiro social	
Jaú 103	3	Ruptura da tubulação de esgoto do banheiro social	
Jaú 208	1	Problemas na rede de esgoto externa	esquina
Jaú 402	3	Problemas na rede de esgoto externa	esquina
Ladário 101	3	Problemas na rede de esgoto externa	esquina
Lapa 404	1	Ruptura da tubulação de esgoto da cozinha	
Mococa 101	3	Problemas na rede de esgoto externa	esquina
Mococa 202	1	Ruptura da tubulação de esgoto da cozinha	esquina
Mococa 204	1	Ruptura da tubulação de esgoto do banheiro da suíte	
Mococa 304	2	Ruptura da tubulação de esgoto do banheiro social	
Palmas 201	1	Problemas na rede de esgoto externa	esquina
Palmas 202	1	Problemas na rede de esgoto externa	esquina
Palmas 204	1	Problemas na rede de esgoto externa	v-esquina

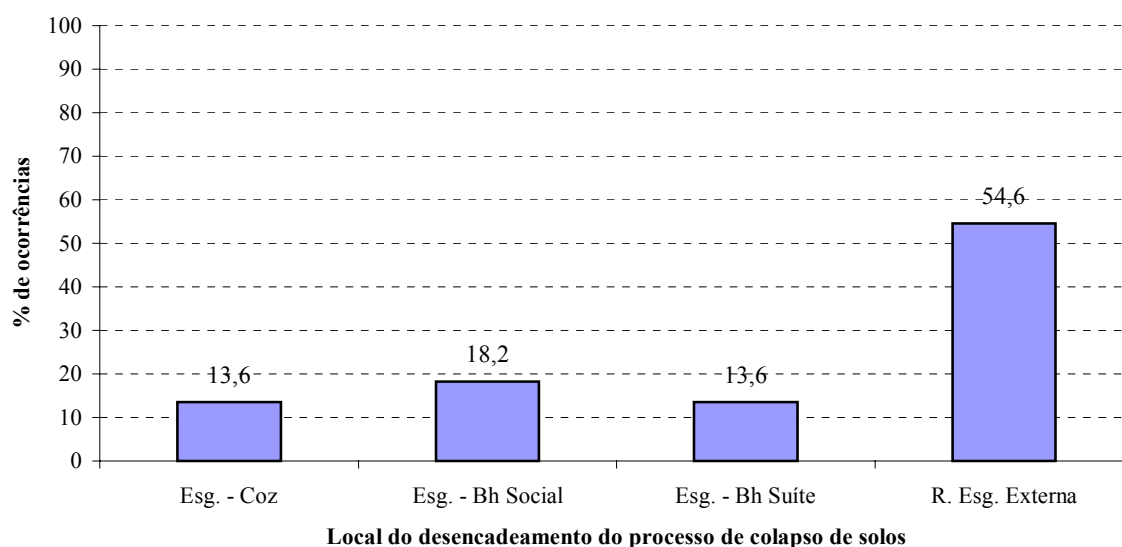


Figura 20 – Edificações Tipo 5: Local do desencadeamento do processo de colapso de solos x porcentagem de ocorrências.

Tabela 10 – Edificações Tipo 6: Classificação quanto à suscetibilidade induzida.

EDIFICAÇÕES TIPO 6 – 18 ocorrências cadastradas			
Endereço	Grau de Diss.	Provável Fator Desencadeador do Processo de Colapso de Solos	Obs.
Apucarana 301	3	Problemas na rede de esgoto externa	esquina
Barbacena 205	1	Ruptura da tubulação de esgoto da cozinha	
Brilhante 302	3	Problemas na rede de esgoto externa	esquina
Cambará 105	1	Ruptura da tubulação de esgoto da cozinha	
Cambará 208	1	Ruptura da tubulação de esgoto da cozinha	esquina
Cambará 404	1	Ruptura da tubulação de esgoto da cozinha	
Campos 305	3	Ruptura da tubulação de esgoto da cozinha	
Ipiranga 201	2	Problemas na rede de esgoto externa	esquina
Ipiranga 203	1	Problemas na rede de esgoto externa	v-esquina
Lambari 304	1	Ruptura da tubulação de esgoto da cozinha	
Ouro Preto 202	3	Problemas na rede de esgoto externa	esquina
Ouro Preto 302	1	Problemas na rede de esgoto externa	esquina
Paranaguá 305	1	Problemas na rede de esgoto externa	
Paranaguá 402	1	Problemas na rede de esgoto externa	esquina
Rochedos 101	1	Problemas na rede de esgoto externa	esquina
Rochedos 208	1	Ruptura da tubulação de esgoto da cozinha	esquina
Sabará 208	1	Problemas na rede de esgoto externa	esquina
Sabará 305	1	Ruptura da tubulação de esgoto da cozinha	

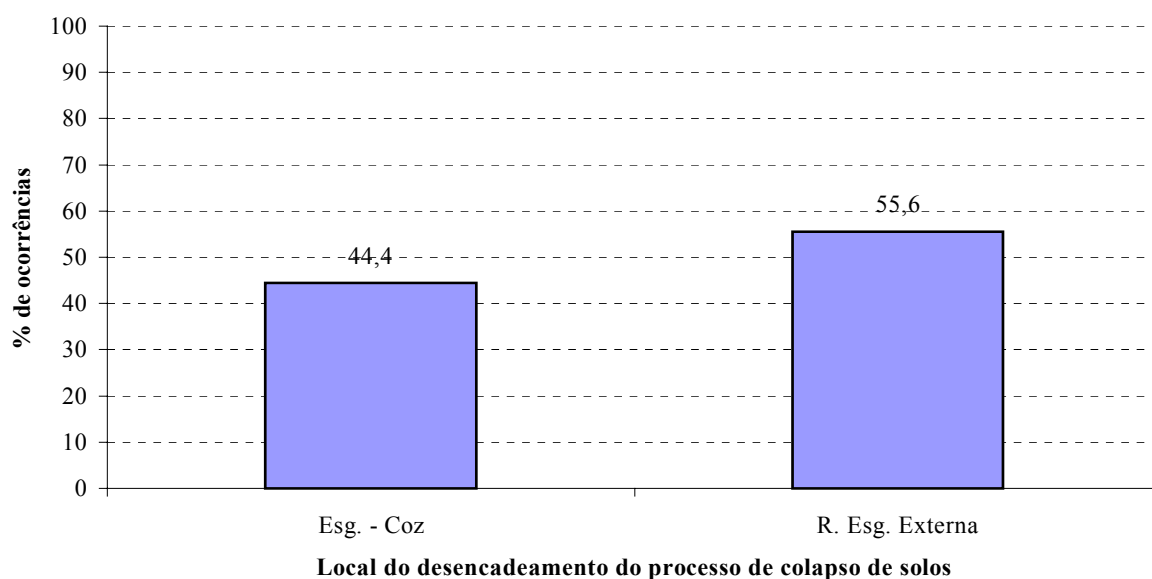


Figura 21 – Edificações Tipo 6: Local do desencadeamento do processo de colapso de solos x porcentagem de ocorrências.

4.2.1 ANÁLISE DAS INFORMAÇÕES DAS TABELAS E GRÁFICOS

- Com relação aos diferentes locais de desencadeamento do processo de colapso de solos pode-se observar que as edificações dos tipos 3 e 4 possuem distribuição semelhante enquanto que as edificações dos tipos 5 e 6 diferem dos tipos anteriores mas possuem distribuição nas áreas internas próximas (cozinha e banheiro) e predominância de ocorrências causadas por problemas na rede externa de esgoto.
- 17,5% das edificações do grupo 3-4 possuem trincas ocasionadas por infiltração causada por danos existentes na canaleta de drenagem pluvial que passa pelo fundo das edificações destes tipos construtivos. Este tipo de ocorrência aponta um fator desencadeador de colapso importante, específico dos tipos 3 e 4.
- Das ocorrências causadas por problemas na rede externa (de água e esgoto), 80% são edificações localizadas nas esquinas ou são edificações vizinhas a estas (v-esquina). Isto se explica pelo fato das esquinas estarem relacionadas aos pontos onde ocorrem junções na rede (conexões e curvas).
- 59,5% das edificações com alto grau de disseminação das trincas são as que sofreram problemas de infiltração na rede externa de esgoto. Isto pode ser explicado pelo fato de que as tubulações de esgoto da rede pública possuem dimensões maiores, com volume maior de fluido de saturação, portanto a ruptura destas tubulações pode resultar em infiltrações que abrangem uma maior área afetando toda a proximidade.
- A análise dos resultados apresentados nos gráficos acima mostram uma forte predominância de processos de colapso de solos devidos a rupturas de tubulações de esgoto tanto da rede pública como da rede privada.

4.3 CADASTRAMENTO DE RISCO DE COLAPSO DE SOLOS

Conforme descrito no item 3.5.3, a representação do grau de risco para cada edificação residencial com ocorrência do processo resultou na obtenção da carta de cadastramento de risco de colapso de solos para a área estudada, apresentada no Anexo 5.

O risco de colapso de solos (R) foi classificado a partir da somatória dos valores referentes aos índices P (possibilidade de ocorrência do processo de colapso de solos) e C (conseqüências do processo) de acordo com o esquema proposto neste trabalho (Figura 16).

O índice P corresponde ao grau de disseminação de trincas pela edificação, conforme classificado nas tabelas do item 4.2.

O índice C corresponde ao grau de custo de obras de recuperação, caracterizado segundo o proposto no item 3.5.1.

Os resultados da classificação quanto aos graus de risco de colapso de solos para os diferentes tipos de edificação são apresentados a seguir.

Tabela 11 – Edificações Tipo 3: Classificação do risco de ocorrência de colapso de solos.

Endereço	P	C	R	Endereço	P	C	R
Araras 105	1	1	2	Juazeiro 205	1	1	2
Araras 123	3	2	5	Juazeiro 226	1	1	2
Araras 220	1	1	2	Juazeiro 310	1	1	2
Araras 504	1	1	2	Juazeiro 516	1	1	2
Belo Horizonte 308	1	1	2	Laguna 107	2	1	3
Belo Horizonte 418	1	2	3	Laguna 205	1	1	2
Cabo 113	1	1	2	Laguna 407	1	2	3
Cabo 214	1	1	2	Laguna 408	1	2	3
Cabo 308	1	1	2	Laguna 506	1	1	2
Canindé 207	1	1	2	Limeira 105	2	1	3
Canindé 423	2	1	3	Limeira 209	1	1	2
Canindé 518	2	1	3	Limeira 216	1	1	2
Caracol 303	1	1	2	Limeira 420	2	1	3
Caracol 304	2	1	3	Marília 209	2	2	4
Caracol 502	2	2	4	Maringá 201	1	1	2
Caracol 504	1	1	2	Niterói 301	3	3	6
Caruaru 121	1	1	2	Niterói 303	2	2	4
Caruaru 413	1	1	2	Olinda 105	3	1	4
Cristalina 404	1	1	2	Olinda 202	3	1	4
Cristalina 406	1	1	2	Olinda 308	2	1	3
Cuiabá 205	3	3	6	Olinda 309	3	1	4
Cuiabá 320	2	1	3	Olinda 405	1	1	2
Cuiabá 422	1	1	2	Olinda 502	2	1	3
Curitiba 407	2	1	3	Olinda 504	2	1	3
Curitiba 522	2	1	3	Orós 214	1	1	2
Floresta 107	1	1	2	Prado 109	3	1	4
Floresta 113	1	1	2	Prado 117	3	1	4
Floresta 219	1	1	2	Prado 206	1	1	2
Floresta 410	1	1	2	Prado 218	1	1	2
Floresta 417	1	1	2	Recanto 210	2	1	3
Floresta 506	1	1	2	Recanto 324	3	1	4
Floresta 508	1	1	2	Recife 322	2	1	3
Floresta 510	1	2	3	Salgueiro 211	1	1	2
Fortaleza 103	2	1	3	Salgueiro 215	1	1	2
Fortaleza 212	3	2	5	Salgueiro 402	1	1	2
Fortaleza 306	1	2	3	Salvador 310	1	1	2
Fortaleza 404	2	1	3	Salvador 414	1	1	2
Fortaleza 406	1	1	2	Santos 111	2	1	3
Fortaleza 408	1	2	3	Santos 322	2	1	3
Fortaleza 518	1	1	2	Sobral 312	1	2	3
Goiânia 101	1	1	2	Sobral 318	1	1	2
Goiânia 123	1	1	2	Sobral 518	3	1	4
Icarai 418	3	1	4	Sobral 520	2	1	3
Icarai 502	2	1	3	Sorocaba 113	2	1	3
Ilhéus 301	3	1	4	Sorocaba 508	2	1	3
Ilhéus 314	1	1	2	Teresina 216	2	1	3
Ilhéus 401	3	1	4	Teresina 314	1	1	2
Ilhéus 407	3	1	4	Teresina 316	1	1	2
Ilhéus 409	3	2	5	Teresina 510	3	2	5
Imperatriz 223	2	2	4	Teresina 522	2	2	4
Imperatriz 224	2	2	4	Tijucas 217	2	2	4
Imperatriz 412	2	1	3	Tijucas 319	3	1	4
Itu 217	2	2	4	Tijucas 405	3	1	4
Itu 218	1	1	2	Tijucas 510	1	1	2
Itu 409	2	1	3	Uberaba 301	3	1	4
Itu 520	2	2	4	Uberaba 518	2	2	4
Juazeiro 109	2	2	4				

Tabela 12 – Edificações Tipo 4: Classificação do risco de ocorrência de colapso de solos.

Endereço	<i>P</i>	<i>C</i>	<i>R</i>
Barras 107	3	2	5
Barras 207	1	2	3
Barras 414	1	3	4
Batalha 111	1	1	2
Batalha 401	3	1	4
Batalha 403	2	1	3
Batalha 408	2	1	3
Colinas 214	1	1	2
Colinas 405	2	1	3
Colinas 504	1	1	2
Correntes 113	2	1	3
Correntes 202	1	2	3
Londrina 303	2	1	3
Londrina 312	1	1	2
Londrina 401	1	1	2
Londrina 403	1	1	2
Manaus 301	1	1	2
Monção 210	2	1	3
São Luiz 113	3	2	5
São Luiz 115	3	2	5
São Luiz 204	1	2	3
São Luiz 306	2	1	3
São Luiz 310	1	1	2
São Luiz 512	1	1	2

Tabela 13 – Edificações Tipo 5:
Classificação do risco de
ocorrência de colapso de solos.

Endereço	<i>P</i>	<i>C</i>	<i>R</i>
Bauru 101	3	3	6
Bauru 206	2	2	4
Bauru 307	3	2	5
Bauru 408	3	2	5
Caconde 101	1	2	3
Caconde 203	2	2	4
Caconde 305	3	3	6
Caconde 403	3	2	5
Corumbá 101	2	1	3
Corumbá 408	1	2	3
Jaú 103	3	3	6
Jaú 208	1	2	3
Jaú 402	3	2	5
Ladário 101	3	1	4
Lapa 404	1	3	4
Mococa 101	3	3	6
Mococa 202	1	2	3
Mococa 204	1	2	3
Mococa 304	2	2	4
Palmas 201	1	1	2
Palmas 202	1	1	2
Palmas 204	1	1	2

Tabela 14 – Edificações Tipo 6:
Classificação do risco de
ocorrência de colapso de solos.

Endereço	<i>P</i>	<i>C</i>	<i>R</i>
Apucarana 301	3	2	5
Barbacena 205	1	3	4
Brilhante 302	3	2	5
Cambará 105	1	1	2
Cambará 208	1	1	2
Cambará 404	2	3	5
Campos 305	3	3	6
Ipiranga 201	2	2	4
Ipiranga 203	1	1	2
Lambari 304	1	1	2
Ouro Preto 202	3	2	5
Ouro Preto 302	1	2	3
Paranaguá 305	1	1	2
Paranaguá 402	1	1	2
Rochedos 101	1	2	3
Rochedos 208	1	2	3
Sabará 208	1	1	2
Sabará 305	1	1	2

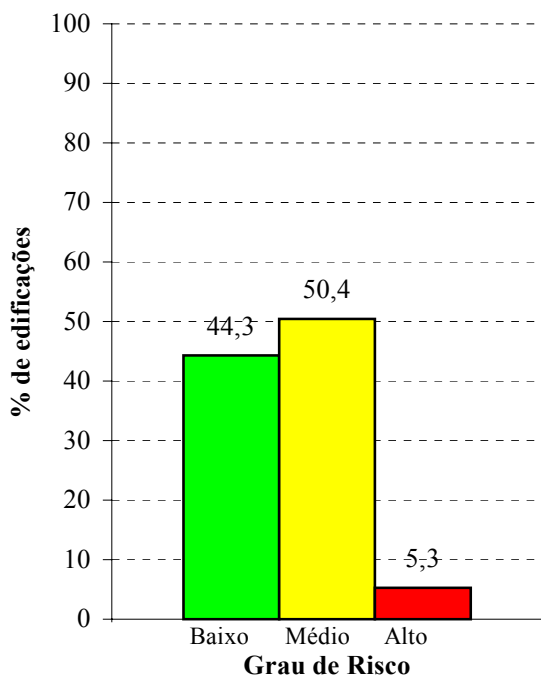


Figura 22 – Edificações Tipo 3:
% de ocorrência de cada grau de risco.

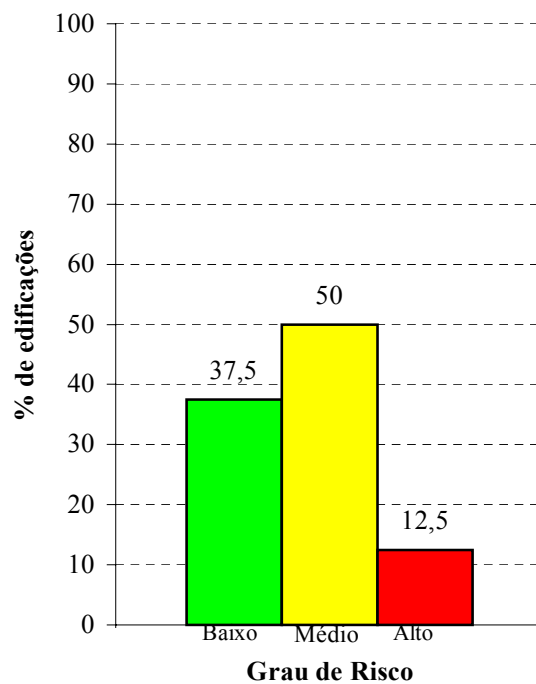


Figura 23 – Edificações Tipo 4:
% de ocorrência de cada grau de risco.

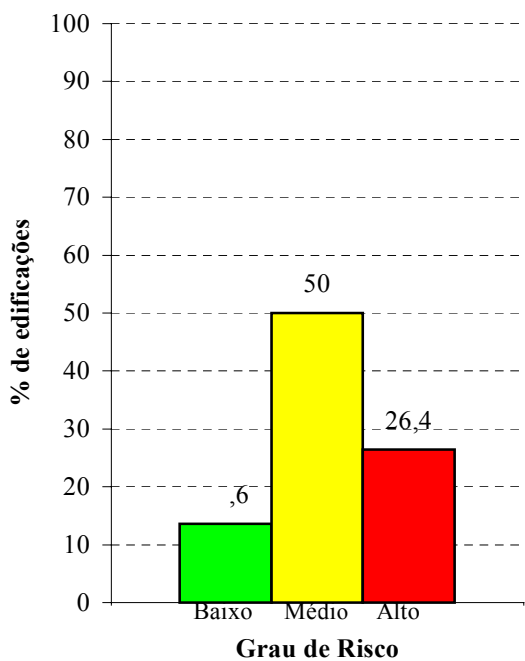


Figura 24 – Edificações Tipo 5:
% de ocorrência de cada grau de risco.

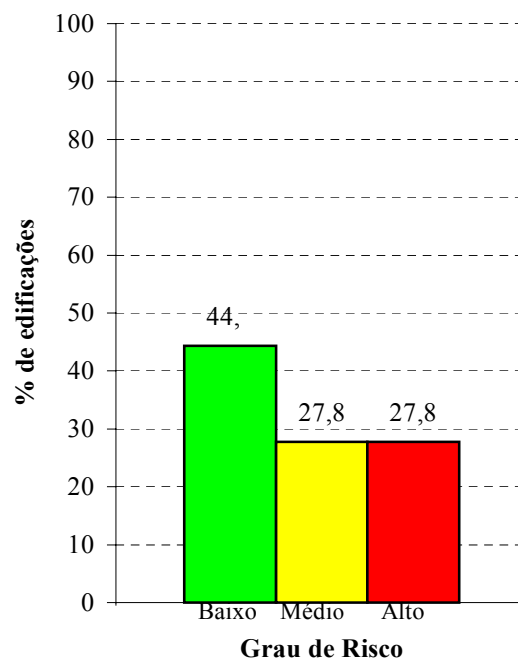


Figura 25 – Edificações Tipo 6:
% de ocorrência de cada grau de risco.

4.3.1 ANÁLISE DAS INFORMAÇÕES DAS TABELAS E GRÁFICOS

- Quanto aos custos com obras de recuperação (*C*), via de regra enquadram-se no grupo de recuperação da alvenaria (grau de custo – 1). Este tipo de obra, porém, só é definitivo quando o processo já está estabilizado (não causando mais recalques na edificação). O grau de custo 1 envolve ainda a recuperação da rede (água e/ou esgoto), que é praticamente obrigatória uma vez que o desencadeamento do processo é causado por rupturas nas tubulações da rede. Nos casos em que as trincas apresentavam-se abertas, considerou-se a necessidade de um reforço estrutural (grau de custo – 2). Quanto às obras de reforço de fundação (grau de custo – 3) só foram considerados os casos declarados nas entrevistas.
- Quanto ao risco de colapso de solos (*R*), observa-se que 48% das edificações cadastradas classificam-se com médio grau de risco, 39,6% com baixo grau de risco e 12,4% com alto grau de risco. Para as edificações do grupo 3-4, 66,7% das ocorrências com médio grau de risco resultam de uma combinação na qual o grau de distribuição das trincas pela edificação é alto (3) ou médio (2), e o grau de custo com a obra de recuperação é baixo (1). Já para as edificações do grupo 5-6, 62,5% das ocorrências com médio grau de risco resultam de uma combinação na qual o grau de distribuição das trincas pela edificação é baixo (1), e o grau de custo com a obra de recuperação é alto (3) ou médio (2).
- Observa-se que as edificações com alto grau de risco predominam no grupo 5-6.

4.4 ZONEAMENTO DE RISCO DE COLAPSO DE SOLOS

Abaixo são apresentadas as relações que classificaram cada zona da carta de zoneamento de colapso de solos para a área estudada (Anexo 6).

Tabela 15 – Porcentagem de cada grau de risco em cada grupo de edificações.

Edificações	Σ pesos*			% do grau no grupo		
	Baixo Grau	Médio Grau	Alto Grau	Baixo Grau	Médio Grau	Alto Grau
Grupo 3-4	118	234	47	29,6	58,6	11,8
Grupo 5-6	22	55	70	15	37,4	47,6

* Somatória dos pesos obtidos das tabelas 11, 12, 13 e 14.

Tabela 16 – Classificação do risco nas zonas com edificações do grupo 3-4.

Edificações grupo 3-4	Σ pesos			% do grau na zona			% de ocorrência do grau na zona % de ocorrência do grau no grupo			Classificação da zona
	Baixo Grau	Médio Grau	Alto Grau	Baixo Grau	Médio Grau	Alto Grau	Baixo Grau	Médio Grau	Alto Grau	
Zona 1	14	33	10	24,6	57,9	17,5	0,83	0,99	1,48	Alto grau de risco
Zona 2	14	27	10	27,5	52,9	19,6	0,93	0,90	1,66	Alto grau de risco
Zona 4	4	14	6	16,7	58,3	25	0,56	0,99	2,12	Alto grau de risco
Zona 6	8	9	0	47,1	52,9	0	1,59	0,90	0,00	Baixo grau de risco
Zona 7	6	36	6	12,5	75	12,5	0,42	1,28	1,06	Médio grau de risco
Zona 9	12	29	5	26,1	63	10,9	0,88	1,08	0,92	Médio grau de risco
Zona 11	48	33	5	55,8	38,4	5,8	1,89	0,66	0,49	Baixo grau de risco
Zona 12	10	56	5	14,1	78,9	7	0,48	1,35	0,59	Médio grau de risco

Tabela 17 – Classificação do risco nas zonas com edificações do grupo 5-6.

Edificações grupo 5-6	Σ pesos			% do grau na zona			% de ocorrência do grau na zona % de ocorrência do grau no grupo			Classificação da zona
	Baixo Grau	Médio Grau	Alto Grau	Baixo Grau	Médio Grau	Alto Grau	Baixo Grau	Médio Grau	Alto Grau	
Zona 3	10	27	10	21,3	57,4	21,3	1,42	1,53	0,45	Médio grau de risco
Zona 5	12	4	10	46,1	15,4	38,5	3,07	0,41	0,81	Baixo grau de risco
Zona 8	0	4	22	0	15,4	84,6	0,00	0,41	1,78	Alto grau de risco
Zona 10	0	20	28	0	41,7	58,3	0,00	1,11	1,22	Alto grau de risco

Observa-se que as Zonas 1, 2 e 4 (edificações do grupo 3-4) resultaram em regiões com alto grau de risco mesmo com poucas edificações com alto grau de risco. Isto pode ser justificado pelo fato de que para as poucas ocorrências de alto grau em todas as edificações do grupo, as porcentagens que ocorrem nessas zonas são significativas.

A classificação obtida para as Zonas 8 e 10 (edificações do grupo 5-6) já era esperada, uma vez que a concentração de edificações com alto grau de risco é grande nestas regiões.

5 CONCLUSÕES

- Um dos aspectos fundamentais com relação aos processos de colapso de solos existentes na área estudada é o fato de que os mesmos são disseminados por toda a área independente do perfil de alteração do solo em que ocorrem. As variações notadas entre os tipos de solo (presentes nos elementos A.2.1 e A.2.2) se resumem basicamente à espessura da camada superior que apresenta os valores mais baixos de compactidade.
- As análises dos resultados dos ensaios para caracterização dos solos e dos ensaios de microscopia eletrônica indicam características típicas de perfis de alteração do solo que determinam um comportamento colapsível, justificando a disseminação das ocorrências do processo por toda a área estudada.
- Quanto a semelhança no fator desencadeador do processo de colapso de solos e na distribuição das ocorrências de trincas pela edificação, os tipos construtivos 3, 4, 5 e 6 podem ser agrupados da seguinte maneira: Grupo 3-4 e Grupo 5-6.
- Com relação a projetos de água e esgoto, é fundamental a adoção de dutos de PVC ao invés de dutos cerâmicos e deve haver um controle rigoroso na execução das redes pública e privada de água e esgoto, especialmente no que diz respeito às suas conexões.
- Para as edificações do grupo 3-4 o processo de colapso de solos pode ser desencadeado por infiltração existente na canaleta de drenagem pluvial que passa pelo fundo destas edificações. Este problema é de fácil identificação e controle, uma vez que pode ser solucionado com a simples substituição das canaletas por tubulações enterradas.
- Os resultados mostram uma forte predominância de processos de colapso de solos devidos a rupturas de tubulações de esgoto tanto da rede pública como da rede privada.

- Quanto a futuros projetos de fundação seriam viáveis as seguintes soluções: (1) a adoção de um maior número de elementos de fundação visando melhor distribuição da carga nos mesmos; (2) adoção de fundação profunda o suficiente para atravessar a camada de comportamento colapsível, ou (3) a adoção de fundações rasas com prévia compactação do fundo da vala destas fundações.
- A avaliação do risco de colapso de solos, com base na possibilidade de ocorrência do processo e nos danos por ele causados permitiu verificar que a maioria das edificações cadastradas classifica-se com médio grau de risco. No entanto a combinação dos índices P (possibilidade de ocorrência do processo) e C (custos com obras de recuperação), que determina o médio grau de risco, possui características diferentes entre os dois grupos de edificações, uma vez que para o grupo 3-4 o índice de maior peso é o P , enquanto para o grupo 5-6 o índice C é mais importante.
- As edificações com alto grau de risco predominam no grupo 5-6, principalmente nos passeios cujas edificações foram construídas sobre aterros mal compactados.
- Quanto ao zoneamento de risco de colapso de solos, apesar das zonas 1, 2 e 4 classificarem-se como zonas de alto risco, observa-se que nas zonas 8 e 10 existe maior predominância de ocorrências de alto risco.
- A metodologia proposta para o cadastramento e zoneamento de risco de colapso de solos mostrou-se viável para a área estudada.
- Diante da realidade da área estudada em relação à ocorrência de processos de colapso de solos, é importante que o assunto seja divulgado à população e que seja desenvolvida uma política de conscientização e treinamento dos profissionais da área de construção civil.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, C., D'ORSI, R.N., BARROS, W.T., AMARAL, F.P. SIG Alternativo Aplicado ao Gerenciamento de Áreas de Risco Geológico no Rio de Janeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 7, 1993, ABGE, P.51-55.

AMERICAN GEOLOGICAL INSTITUTE **Dictionary of Geological Terms**. New York: Anchor Books, 1974. p. 278.

ANBALAGAN, R. Landslide hazard evaluation and zonation mapping in mountainous terrain. **Engineering Geology**, 1992, n.32, p.269-277.

AUGUSTO FILHO, O., CERRI, L.E.S., AMENOMORI, C.J. Riscos geológicos: aspectos conceituais. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE RISCO GEOLÓGICO URBANO, 1, 1990, São Paulo. **Anais...**, São Paulo, ABGE, 1990, p. 334-341.

AUGUSTO FILHO, O., BITAR, O.Y., SOUZA, L.A.P., JACINTO DE ALMEIDA, M.C. Análise e zoneamento de risco associado à mineração em área urbana: o caso da extração de areia no lago de Carapicuíba-SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37, 1992, São Paulo. **Anais...**, São Paulo, SBG, 1992, v.1, p. 116-117.

AUGUSTO FILHO, O. **Cartas de Risco de Escorregamentos**: uma proposta metodológica e sua aplicação no município de Ilhabela, SP. São Paulo, 1994, 167p. Dissertação (Mestre em Engenharia) – Escola Politécnica – Universidade de São Paulo.

AUGUSTO FILHO, O. **Cartas de riscos de escorregamentos quantificada em ambiente de SIG como subsídio para planos de seguro em áreas urbanas: um ensaio em Caraguatatuba (SP)**. Rio Claro. 2001 (Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista. Instituto de Geociências e Ciências Exatas.) 196p.

AYALA, F.J., PEÑA, M. Los Mapas de riesgos geológicos en la prevención y gestión de desastres naturales en España. In: ENCUESTRO INTERNACIONAL "CATÁSTROFES Y SOCIEDAD", 1989, Madrid. **Ponencias y Comunicaciones...**, Madrid, Instituto Tecnológico de Seguridad MAPFRE - ITSEMAP, 1989, p. 387-412.

BATES, R.L. & JACKSON, J.A. **Glossary of Geology**. 1 ed. Falls Church - Virginia: American Geological Institute, 1980. p. 349.

BELCHER, D.J. *The Use of Soil Maps in Highway Engineering*. In: American Road Scholl, 1942a, Proceedings, [s.l.], Purdue University, Engineering Bulletin n. 26, p. 64, 1942a.

BELCHER, D.J. *Use of Aerial Photographs in War Time Engineering*. **Rds. Str.**, 85-7/1942b.

BELCHER, D.J. *The Engineering Significance of Soil Patterns*. In: Annual Meeting of Highway Research Board, 1943, Proceedings, [s.l.], 1943.

BELCHER, D.J. Engineering Applications of Aerial Reconnaissance. **Geological Society of America Bulletin**, New York, v. 57, n. 8, p. 727-734, august, 1946.

BELCHER, D.J.; GREGG, L.S. & WOODS, K.B. *The Formation, Distribution and Engineering Characteristics of Soils*. **Highway Research Bulletin**, Research Series n. 87, 10/1943.

BOURNE, R. *Regional Survey and its Relation to Stocktaking of Agricultural and Forest Resources of the British Empire*. **Ox. For. Men.**, 13/1931.

CARVALHO, C.S. **Gerenciamento de riscos geotécnicos em encostas urbanas, uma proposta baseada na análise de decisão**. São Paulo. 1996 Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica – Universidade de São Paulo.

CARVALHO, D. & SOUZA, A. Análise do efeito de umedecimento do solo em fundações rasas e profundas em solos porosos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, 9, 1990, Salvador. **Anais...**, Salvador, ABMS, v. 2, p. 109-114.

CASTRO, J.W.A., TENA, F.P., MEIRELES, A.J.A., GURGEL, G.A.S., GURGEL JUNIOR, J.B. A influência dos processos litorâneos na identificação de áreas de risco costeiro nas praias da margem oeste do Rio Ceará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37, 1992, São Paulo. **Anais...**, São Paulo: SBG, 1992, v.1, p. 106-108

CEPAM **Projeto Ilha Solteira** – Alternativas para o Desenvolvimento Econômico Local e Elaboração de Legislação de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo. Governo do Estado de São Paulo – Secretaria do Governo – Fundação Prefeito Faria Lima, São Paulo, 1989, 7 vol.

CENDRERO, A., DIAZ DE TERAN, J.R., FERNANDEZ, O., GARROTE, R., GONZALEZ LASTRA, J.R., INORIZA, J., LUTTIG, G., OTAMENDI, J., PEREZ, M., SERRANO, A. Metodología de elaboración de mapas de riesgos a escala 1:5.000. In: GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO, 1987, Santander. **Comunicaciones...**, Santander, 1987, v.2, p. 843-870.

CERRI, L.E.S. Carta geotécnica: contribuições para uma concepção voltada às necessidades brasileiras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 6, 1990, Salvador. **Anais...**, Salvador, ABGE, 1990, v.1, p.309-317.

CERRI, L.E.S. **Riscos geológicos associados a escorregamentos: uma proposta para prevenção de acidentes**. Rio Claro. Tese (doutorado) - Geociências (Campus de Rio Claro), Universidade Estadual Paulista, 1993. 197p.

CERRI, L.E.S. & AMARAL, C. Riscos Geológicos. In: OLIVEIRA & BRITO (ed). **Geologia de engenharia**. São Paulo. p. 301-310. (ABGE), 1998.

CERRI, L.E.S. **Subsídios para a seleção de alternativas de medidas de prevenção de acidentes geológicos**. Rio Claro. Tese (livre-docência) – Geociências (Campus de Rio Claro), Universidade Estadual Paulista, 2001.

CINDIRU **Termo de Referência para o Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica e Social para o desenvolvimento da Agricultura Irrigada na Região de Urubupungá.** Consórcio Intermunicipal para o Desenvolvimento da Irrigação na Região de Urubupungá, 1992, 153p.

CINDIRU **Desenvolvimento da Agricultura Irrigada na Região de Urubupungá – Relatório Preliminar de Reconhecimento.** Consórcio Intermunicipal para o Desenvolvimento da Irrigação na Região de Urubupungá, 1996, 67p.

COOKE, R.U. & DOORNKAMP, J.C. Land-systems Mapping. In: COOKE, R.U. & DOORNKAMP, J.C. **Geomorphology in Environmental Management: an introduction.** 1.ed. London: Pitman Press, 1978. Cap. 13, p. 326-351.

DENISOV, N.Y. The Engineering Properties of Loeses and Loess Loams. Gosstroirzdat, Moscow, 1951. 136p.

EINSTEIN, H.H. Landslide risk – systematic approaches to assessment and management. In: CRUDEN & FELL (ed.), **Landslide risk assessment.** Proceedings of the International Workshop on Landslide Risk Assessment. A.A. Balkema. p.25-49, 1997.

FERREIRA, R.C.; PERES, J.E.E. & BENVENUTO, C. Uma análise de modelos geotécnicos para a previsão de recalques em solos colapsíveis. In : CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, 9, 1990, Salvador. **Anais...**, Salvador, ABMS, 1990, v. 2, p. 73-79.

FERREIRA, S.R.M. & FUCALE, S.P. Características de variação de volume em solos colapsíveis do Estado de Pernambuco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 9, 1999, São Paulo. **Anais...**, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, São Paulo, 1999 (anais em mídia eletrônica – CD).

FOOKES, P.G. & VAUGHAN, P.R. Introduction. In: FOOKES, P.G. & VAUGHAN, P.R. **A Handbook of Engineering Geomorphology.** 1.ed. New York: Blakie & Son, 1986. Cap. 1, p. 1-8.

GARNER, H.F. **The Origin of Landscapes.** New York: Oxford University Press, 1974. 734p.

GARRY, G., DECAILLOT, P. La representacion cartographique des risques naturels. **Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées,** Paris. N.150-151, Juil., Août., Sept., Oct., 1987, p. 20-28.

GEODFREY, A.E. & CLEAVES, E.T. Landscape Analysis: theoretical considerations and practical needs. **Environmental Geology & Water Sciences,** New York, v. 17, n. 2, p. 141-155, august 1991.

GIBBS, H.J. & BARA, J.P. Stability Problems of Collapsing Soil. **Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division.** ASCE, Vol. 93, n. SM4, p. 577-594, 1967.

GREGORY, K.J. A Physical Geography Equation. **National Geographer,** [s.l.], v. 12, p. 155-173, 1978.

HOWARD, A.D. & SPOCK, L.E. Classification of Land Forms. **Journal of Geomorphology**, [s.l.], v. 3, p. 332-345, 1940.

HITTLE, J.E. *Airphoto Interpretation of Engineering Sites and Materials*. **Photogramm. Engng.**, 15/1949.

HUNT, C.B. **Geology of Soils**. San Francisco: W.H. Freeman, 1974. 344p.

JENKINS, D.S.; BELCHER, D.J.; GREGG, L.E. & WOODS, K.B. *The Origin, Distribution and Airphoto Identification of United States Soils*. **U.S. Dept. of Commerce**, Washington, 1946.

JENNINGS, J.E. & KNIGHT, K. A guide to construction on or with materials exhibiting additional settlement due to collapse of grain structure. **In: Regional Conference for Africa on Soil Mechanics and Foundation Engineering**, 6, Durban. *Proceedings...*, pp.99-105, 1975

KRIEG, R.A. & RENGER, R.D. Preconstruction Terrain Evaluation for the Trans-Alaska Pipeline Project. **In: COATES, D.R. Geomorphology and Engineering - Geomorphology Symposium 7th**. 2.ed. London: George Allen & Unwin, 1980. Cap. 4, p. 55-76.

LOLLO, J.A. **"Landform": Conceituação, Descrição e Aplicabilidade na Caracterização Preliminar de Unidades do Meio Físico para Cartografia Geotécnica**. São Carlos : EESC/USP. 1994. 46p. Seminário (Pós-graduação em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1994.

LOLLO, J.A. **O Uso da Técnica de Avaliação do Terreno no Processo de Elaboração do Mapeamento Geotécnico: sistematização e aplicação na Quadrícula de Campinas**. São Carlos : EESC/USP. 1996. 2v. Tese (Doutorado em Engenharia Civil - Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1996.

LOLLO, J.A. Caracterização geotécnica da área de expansão urbana de Ilha Solteira (SP) com o uso de formas de relevo. **In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA**, 3, 1998, Florianópolis. **Anais...**, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, Florianópolis, (anais em mídia eletrônica – CD), 1998.

LUTENEGGER, A.J. & SABER, R.T. Determination of Collapse Potential of Soils. **Geotechnical Testing Journal**. ASTM, Vol. 11, n. 3, Setembro, p. 173-178, 1988.

MACEDO, E. S., AKIOSSI, A. Escorregamentos ocorridos no Brasil entre 1988 e 1996: levantamento a partir de notícias de jornal. **In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA**, 39, 1996, Salvador. **Anais...**, Salvador: SBG, 1996, v. 4, p. 149-152.

MENDES, R.M. **Mapeamento Geotécnico da área central urbana de São José do Rio Preto (SP) na escala 1:10.000 como subsídio ao Planejamento Urbano**. São Carlos, 2001 (Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos, Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia) 245p.

MITCHELL, H.C. Definitions and Terms Used in Geodetic and others Surveys. Washington: U.S. Government Printing Office, **Coast and Geodetic Survey Special Publication n. 242**, [s.l.], p. 64, 1948.

MONKHOUSE, F.J. & SMALL, J. **A Dictionary of the Natural Environment**. 1.ed. London: Edward Arnold, p. 174, 1978.

NAKAZAWA, V.A., PRANDINI, F.L., DINIZ, N.C. **Subsidências e colapsos de solo em áreas urbanas**. In: Curso de geologia aplicada ao meio ambiente. São Paulo: ABGE. p.101-133, 1995.

OFICINA NACIONAL PARA LA PREVISION Y ATENCION DE DESASTRES. Conceptos sobre planificacion y urbana y prevencion de desastres. Documentos de apoyo. Bogota, 1990, não paginado.

OGURA, A.T. Análise de riscos geológicos em planos preventivos de defesa civil. In: BITAR (coord). **Curso de geologia aplicada ao meio ambiente**. São Paulo. p.203-215. (ABGE), 1995.

REGINATTO, A.R., FERRERO, J.C. Colapse Potencial of Soils and Soil-Water Chemistry. IN: **International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering**, 8, Moscow. *Proceedings...*Moscow: v.2.2, p. 177-183, 1973.

RICE, C.M. **Dictionary of Geological Terms**. Princeton - New Jersey: 1956. p. 212.

SOUZA, A. Colapsividade dos solos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 21, 1992, Santa Maria (RS). **Anais...**, Santa Maria, SBEA, 1992, p. 141-156.

UNDRO - OFFICE OF THE UNITED NATIONS DISASTER RELIEF. **Disaster prevention and mitigation**: a compendium o current Knowlodgment. New York, v.5, Land use aspects, 1978, 690p.

UNDRO - OFFICE OF THE UNITED NATIONS DISASTER RELIEF. Resolution on the international decade on natural disaster reductions.. **Undro News**. Jan/feb. 15p. 1988.

VARGAS, M. **Introdução à Mecânica dos Solos**. 2a Edição, Mc Graw-Hill do Brasil, São Paulo, 1978, 509p.

VARNES D.J. **Landslide hazard zonation: a review of principles and practice**. Paris, UNESCO, 1985, 63p.

VILAR, O.M. RODRIGUES, J.E., NOGUEIRA, J.B. **Solos Colapsíveis**: um problema para a engenharia de solos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SOLOS TROPICAIS, 1, Rio de Janeiro, p.209-224. 1981

WAY, D.S. **Terrain Analysis**. Strounddsburg: Hutchinson & Ross, 1973. 392p.

WOLF, P.R. Photographic Interpretation. In: WOLF, P.R. **Elements of Photogrammetry**. 2.ed. Singapore: McGraw-Hill, 1983. 514-529.

ANEXO 01

CARACTERÍSTICAS DOS ELEMENTOS DE TERRENO A.2.1 E A.2.2.

As Figuras I e II representam o perfil típico de sondagem para cada elemento de terreno da área estudada (elementos A.2.1 e A.2.2) e no Quadro I é apresentado um resumo destes elementos de terreno.

N SPT	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	PROF. (m)
3		1
2		2
2		3
3		4
3	Areia Fina pouco argilosa, fofa a medianamente compacta, marrom avermelhada	5
4		6
4		7
5		8
7		9
8		10
9		11
10		12
12		13
15	Areia Fina pouco argilosa, pouco compacta a medianamente compacta, marrom amarelada, laterizada	13,55
8		14
9		15
51/30		16
	Areia Fina, compacta, com seixos de quartzo, $\phi \pm 1\text{cm}$	16,55
		17

Figura I – Perfil Típico de sondagem para o elemento A.2.1

N SPT	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	PROF. (m)
2		1
3	Areia Fina muito argilosa, fofa a pouco compacta, marrom avermelhada	2
4		3
4		4
5		5
		5,47
*	Areia Fina muito argilosa, fofa e pouco compacta, marrom avermelhada com seixos de quartzo ϕ até 2cm	6
*		7
		7,70
18		8
		9
16	Areia Fina argilosa, rija a dura, avermelhada	10
16		11
18		12
25		13
20		

Obs.: * Não executado ensaio de SPT devido a presença de seixos

Figura II – Perfil Típico de sondagem para o elemento A.2.2

ELEMENTO DE TERRENO	CARACTERÍSTICAS	MATERIAL INCONSOLIDADO	ABRANGÊNCIA	COMPACIDADE
A.2.1	<ul style="list-style-type: none"> Formas convexas e topo aplainado; Baixa frequência de canais. 	Areia fina argilosa com espessuras superiores a 20m.	Ocorre em quatro porções da área urbana, distribuídas nas regiões sudeste, centro-oeste e nordeste. $A_{abrange\tilde{c}ia} \cong 2,5 \text{ km}^2$.	Até 14m: $N_{SPT} < 10$ linha de seixos Abaixo: $10 < N_{SPT} < 20$
A.2.2	<ul style="list-style-type: none"> Formas convexas; Média frequência de canais. 	Areia fina argilosa com espessuras entre 12 e 13m.	Ocorre nas porções central, extremo norte e extremo sul da área urbana. $A_{abrange\tilde{c}ia} \cong 2,0 \text{ km}^2$.	Até 7m: $N_{SPT} < 8$ linha de seixos Abaixo: $15 < N_{SPT} < 20$

Quadro I – Resumo da descrição dos elementos de terreno presentes na área estudada.

Na Foto I pode-se observar as formas de relevo características da área estudada.



Foto I – Formas de relevo características da área estudada.

Na Foto II é apresentado um perfil de solo típico da área estudada, na qual pode-se observar a descontinuidade da linha de seixos.



Foto II – Perfil típico do solo da área estudada

ANEXO 02

**FOTOS DE TRINCAS CARACTERÍSTICAS
DE PROCESSOS DE COLAPSO DE SOLOS.**



Foto III – Edificação Tipo 3: Trincas no muro da frente.



Foto IV – Edificação Tipo 3: Trincas na parede da cozinha, ao lado do banheiro.



Foto V – Edificação Tipo 3: Trincas no piso do quintal, próximo à canaleta.



Foto VI – Edificação Tipo 4: Trincas no muro do quintal, próximo à canaleta.



Foto VII – Edificação Tipo 5: Trincas na parede da sala.



Foto VIII – Edificação Tipo 6: Trincas na parede do quarto.

ANEXO 03

MAPA DE CADASTRO DE OCORRÊNCIAS DE COLAPSO DE SOLOS

ANEXO 04

RESULTADOS DE ENSAIOS COM AMOSTRAS DE SOLOS DA ÁREA ESTUDADA.

I – ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO E COMPACTAÇÃO DOS SOLOS (Processo FAPESP 99/12551-2).

- Análise granulométrica conjunta (NBR 7181/84)
- Limites de consistência (NBR 7180/84 e NBR 6459/84)
- Massa específica dos sólidos (NBR 6508/84)
- Compactação Proctor Normal (NBR 7182/86)

Tabela I – Resultados dos ensaios de caracterização dos solos (Processo FAPESP 99/12551-2)

Solo	ρ_s (g/cm ³)	Granulometria (%)			Limites de Consistência (%)			Compactação Proctor Normal	
		Argila	Silte	Areia	LL	LP	IP	ρ_{dmax} (g/cm ³)	wot (%)
P-1	2,68 – 2,72	23	13	61	24,7	14,6	10,1	1,94	11,4
P-2	2,71 – 2,72	21	18	61	24,5	15,7	8,8	1,95	11,6
P-3	2,66 – 2,73	31	13	56	27,1	18,9	8,2	1,89	13,0
P-4	2,72 – 2,78	20	18	62	24,6	15,5	9,1	1,99	10,8
P-5	2,70 – 2,72	18	18	64	21,4	14,0	7,4	2,00	10,3
P-6	2,69 – 2,72	21	18	61	26,6	15,7	10,9	1,98	11,4
P-7	2,68 – 2,76	25	16	59	26,8	14,9	11,9	1,91	12,1
P-8	2,68 – 2,73	20	15	65	22,7	13,6	9,1	2,00	10,5
P-9	2,71 – 2,77	21	19	60	24,9	14,4	10,5	1,95	11,8
P-10	2,69 – 2,73	25	19	56	21,5	10,9	10,6	1,95	11,3

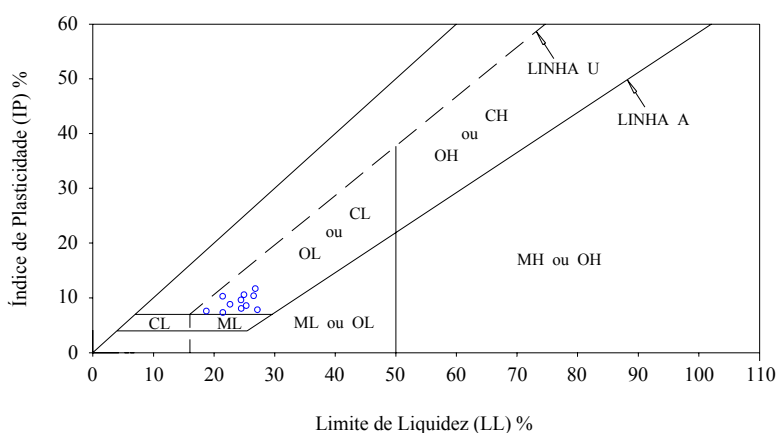


Figura III – Carta de Plasticidade

Levando em consideração os dados dos dez poços de amostragem, o solo pode ser classificado, de acordo com o SUCS (Sistema Unificado de Classificação dos Solos), no grupo SC, das areias argilosas.

II – ENSAIOS OEDOMÉTRICOS – 1ª ETAPA (Processo FAPESP 00/14406-9).

Os resultados apresentados a seguir são de ensaios realizados com amostras do poço 1 (Campo de Provas do Laboratório de Engenharia Civil – Unesp). Estes ensaios foram realizados no Laboratório de Solos e Rochas da FEIS/UNESP.

As Tabelas II e III apresentam os seguintes índices: (n) natural e (i) inundado; (ρ_i) massa específica inicial do solo; (w_i) teor de umidade inicial; (ρ_{di}) massa específica seca inicial; (e_i) índice de vazios inicial; (Sr_i) grau de saturação inicial; (e_f) índice de vazios final; (Sr_f) grau de saturação final; (σ_o) tensão geostática, (σ_f) tensão de fluência; (C) coeficiente de colapso por Reginatto & Ferrero (1973); (σ_i) tensão de inundação; (e_{ai}) índice de vazios antes da inundação; (Δe) variação do índice de vazios devido a inundação e (I) potencial de colapso por Lutenegger & Saber (1988).

Tabela II – Resultados dos ensaios oedométricos duplos do poço de amostragem número 1

Ensaio	ρ_i (g/cm ³)	w_i (%)	ρ_{di} (g/cm ³)	e_i	Sr_i (%)	Fluido de Inundação	e_r	Sr_r (%)	σ_o (kPa)	σ_r (kPa)	C
1m-n	1,56	8,5	1,43	0,874	26,1	–	0,516	49,6	15,6	125,0	–
1m-i	1,60	8,6	1,47	0,823	28,0	água	0,412	100	16,0	53,0	0,34
1m-i	1,54	10,5	1,39	0,928	30,3	esgoto	0,432	84,9	15,4	38,0	0,20
2m-n	1,55	9,9	1,41	0,914	29,2	–	0,558	39,7	31,1	125,0	–
2m-i	1,52	10,3	1,38	0,957	29,1	água	0,490	94,7	31,2	37,0	0,06
2m-i	1,65	12,1	1,47	0,837	39,0	esgoto	0,469	98,9	31,9	64,0	0,35
3m-n	1,72	11,1	1,55	0,753	40,1	–	0,481	61,6	48,3	156,0	–
3m-i	1,87	10,9	1,67	0,629	47,1	água	0,287	100	49,9	73,0	0,22
3m-i	1,83	10,8	1,53	0,778	37,8	esgoto	0,476	100	50,2	114,0	0,61
4m-n	1,69	12,1	1,50	0,804	40,8	–	0,615	39,3	65,2	271,0	–
4m-i	1,68	11,9	1,50	0,807	40,0	água	0,486	91,7	66,7	109,0	0,21
4m-i	1,73	13,0	1,53	0,771	45,7	esgoto	0,470	85,2	67,5	118,0	0,25

Tabela III – Resultados dos ensaios oedométricos simples do poço de amostragem número 1

Ensaio	ρ_i (g/cm ³)	w_i (%)	ρ_{di} (g/cm ³)	e_i	Sr_i (%)	Fluido de Inundação	σ_i (kPa)	e_{ai}	Δe	e_r	Sr_r (%)	I (%)
1m-l	1,58	10,3	1,43	0,872	31,7	água	200	0,729	0,143	0,434	99,1	8,28
1m-i	1,55	10,1	1,40	0,907	29,8	esgoto	200	0,781	0,216	0,417	100	12,14
2m-i	1,54	12,2	1,37	0,971	33,9	água	200	0,815	0,177	0,473	99,0	9,74
2m-i	1,55	12,4	1,38	0,957	35,0	esgoto	200	0,826	0,222	0,454	100	12,17
3m-i	1,59	10,4	1,44	0,889	31,8	água	200	0,820	0,182	0,473	100	9,99
3m-i	1,74	10,2	1,58	0,722	38,4	esgoto	200	0,640	0,113	0,367	100	6,87
4m-i	1,63	12,4	1,45	0,869	38,7	água	200	0,773	0,101	0,495	93,7	5,68
4m-i	1,68	12,2	1,49	0,819	40,4	esgoto	200	0,733	0,080	0,471	95,8	4,64

As Figuras IV, V, VI e VII apresentam as curvas de compressão dos corpos de prova correspondentes às profundidades de 1, 2, 3 e 4m.

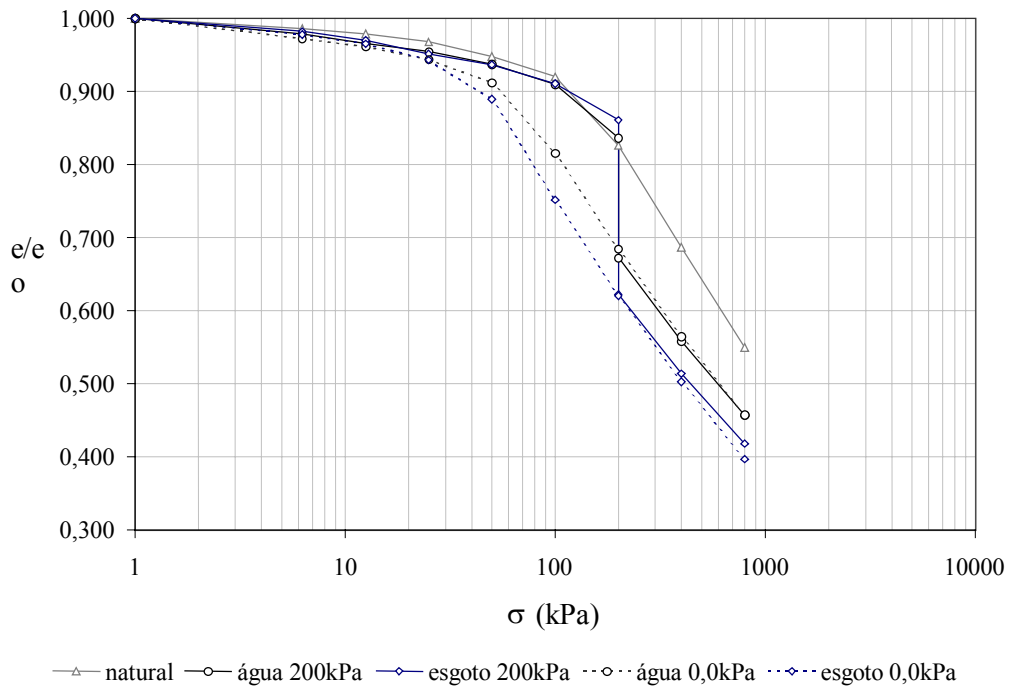


Figura IV – Curvas de compressão a 1m de profundidade

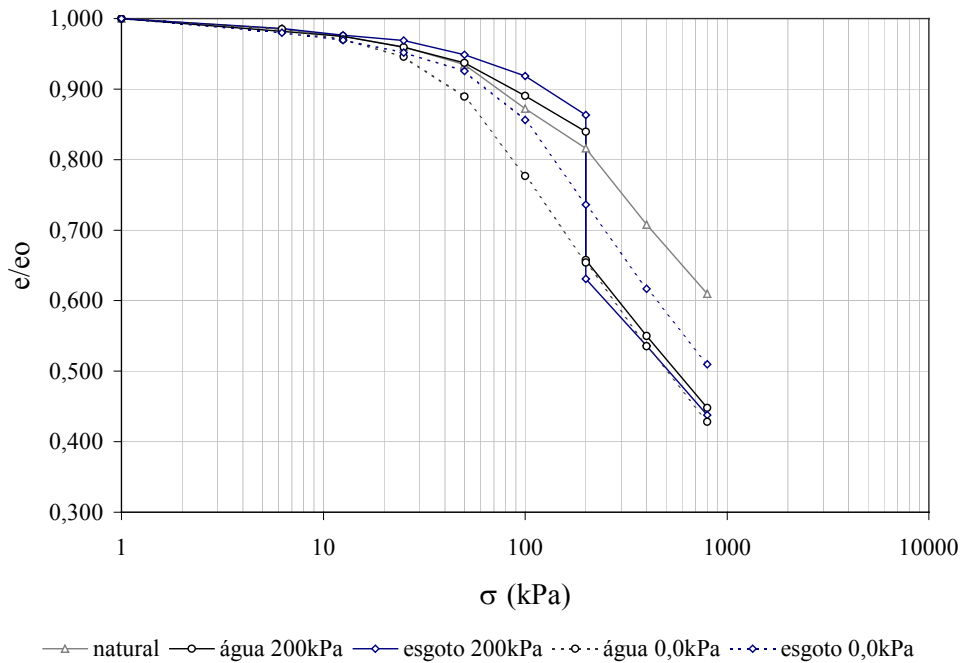


Figura V – Curvas de compressão a 2m de profundidade

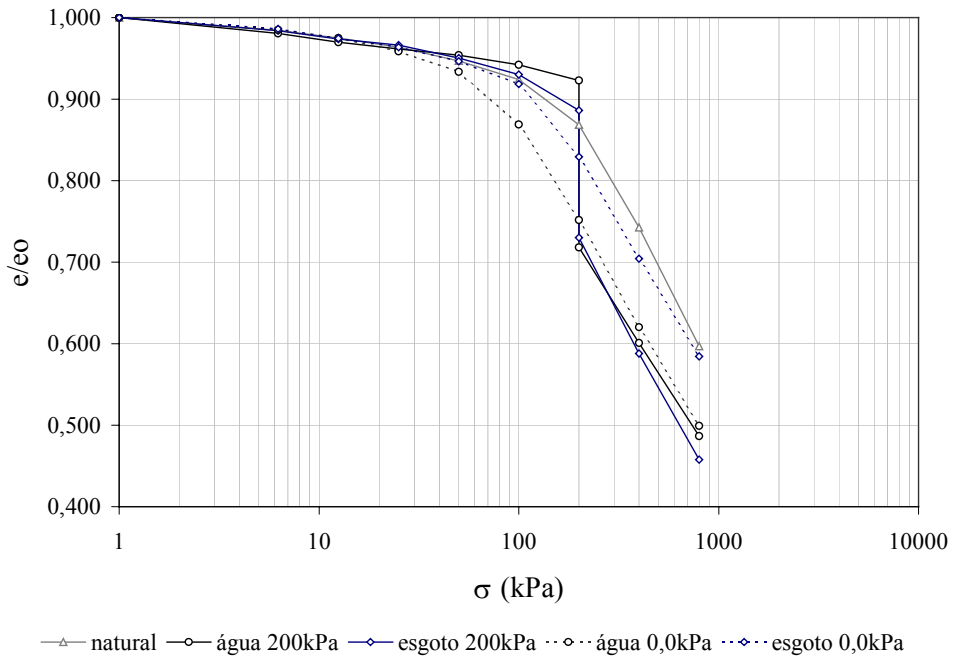


Figura VI – Curvas de compressão a 3m de profundidade

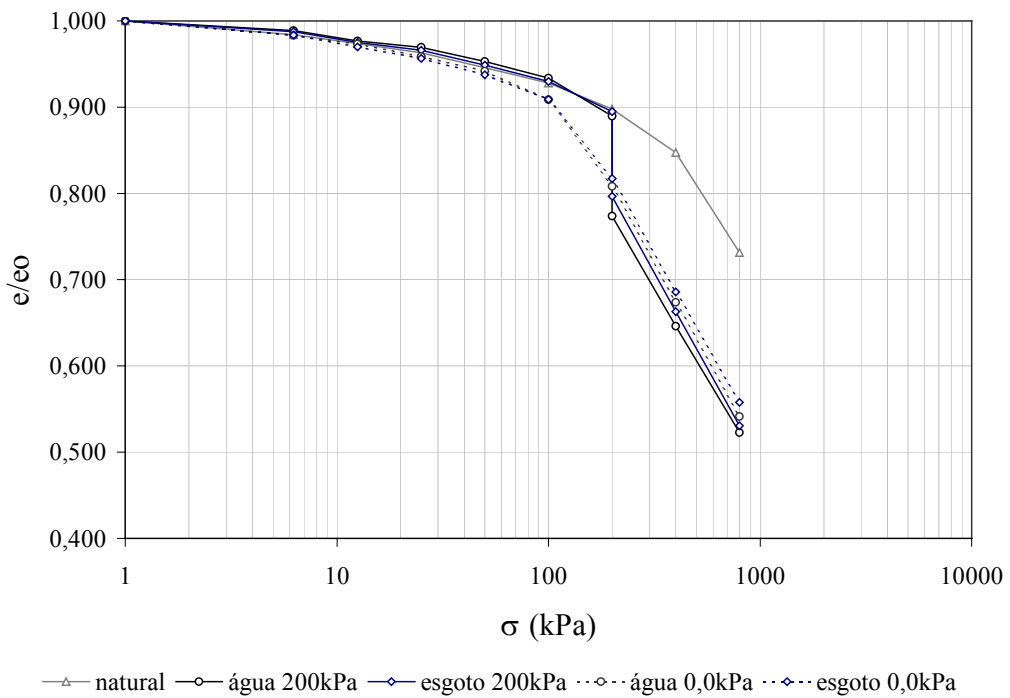


Figura VII – Curvas de compressão a 4m de profundidade

Em todo perfil de subsolo considerado, o colapso foi maior nas subcamadas próximas a superfície. O solo inundado com esgoto apresentou potenciais de colapso superior ao solo inundado com água a 1 e 2 m de profundidade. Para as profundidades de 3 e 4 metros, a água proporcionou maior colapso.

III – ENSAIOS OEDOMÉTRICOS – 2ª ETAPA (Processo FAPESP 00/14406-9).

Os resultados apresentados a seguir são de ensaios realizados com amostras do poço 4 (Esquina do Hospital, Alameda Rio de Janeiro). Estes ensaios foram realizados no Laboratório Central de Engenharia da CESP em Ilha Solteira.

Os índices apresentados na Tabela IV seguem as mesmas definições descritas para as Tabelas II e III.

Tabela IV – Resultados dos ensaios oedométricos duplos do poço de amostragem número 4

Ensaio	ρ_i (g/cm ³)	w_i (%)	ρ_{di} (g/cm ³)	e_i	Sr_i (%)	Fluido de Inundação	e_r	Sr_r (%)	σ_o (kPa)	σ_r (kPa)	C
1m-n	1,53	9,1	1,40	0,940	26,3	–	0,474	51,6	15,3	93,0	–
1m-i	1,56	9,2	1,43	0,908	27,6	água	0,447	94,2	15,6	50,0	0,44
2m-n	1,62	8,5	1,50	0,832	28,0	–	0,520	41,6	31,5	148,0	–
2m-i	1,59	8,6	1,46	0,871	27,0	água	0,441	96,3	31,5	70,0	0,33
3m-n	1,59	8,3	1,47	0,856	26,4	–	0,519	44,0	47,4	209,0	–
3m-i	1,60	8,3	1,49	0,824	27,4	água	0,428	96,0	47,5	78,0	0,19
4m-n	1,60	9,0	1,47	0,894	28,0	–	0,519	42,8	63,4	163,0	–
4m-i	1,57	8,9	1,44	0,928	26,6	água	0,438	96,4	63,2	56,0	-0,07

IV – MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA

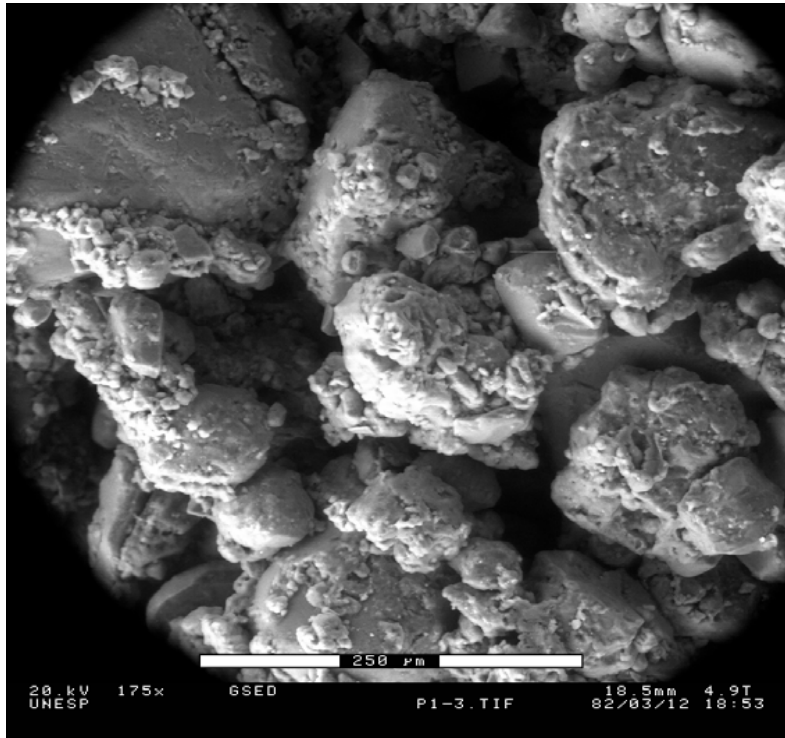
O primeiro par de imagens mostra o resultado do ensaio de microscopia para amostras do poço 1 (representativo do elemento de terreno A.2.2), à 3 e à 6m de profundidade.

O segundo par de imagens está relacionado com amostras do poço 2 (representativo do elemento de terreno A.2.1), também à 3 e à 6m de profundidade.

O terceiro par de imagens é apresentado para análise comparativa de amostras de solos (Poços 1 e 2) dos dois elementos de terreno (A.2.1 e A.2.2) à mesma profundidade (3m).

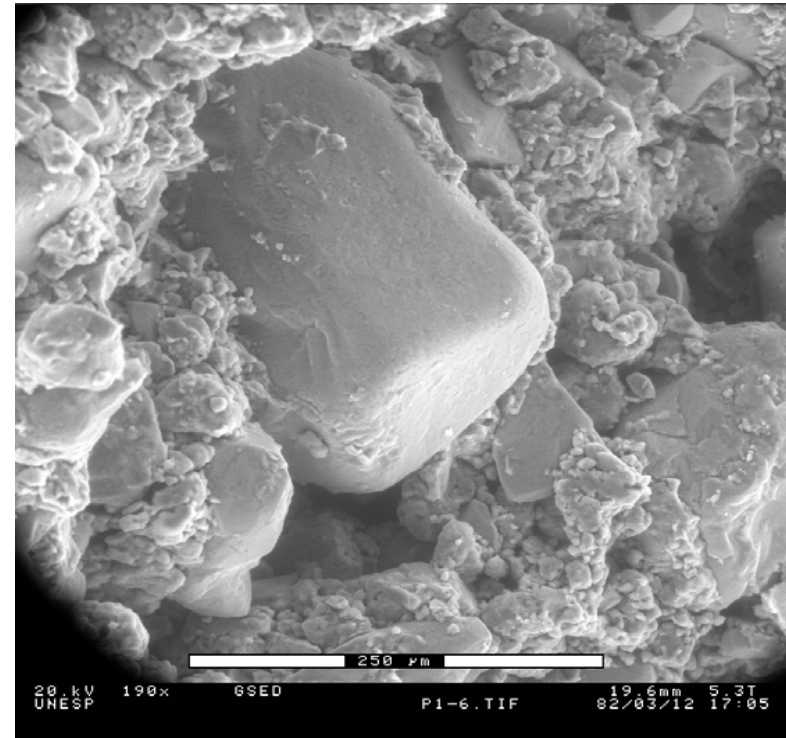
IMAGENS DE MICROSCÓPIO ELETRÔNICO

AMOSTRA DO POÇO 1 - PROFUNDIDADE: 3M



- Maior porosidade.

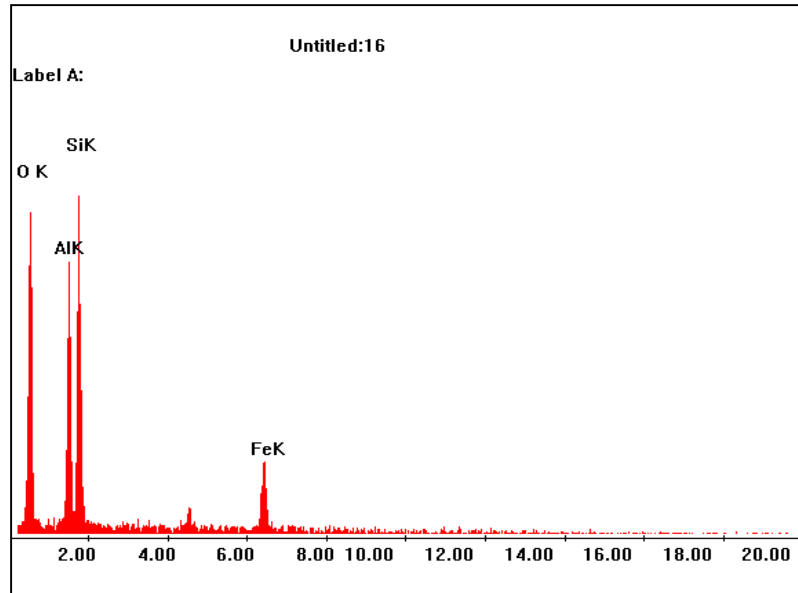
AMOSTRA DO POÇO 1 - PROFUNDIDADE: 6M



- Horizonte menos evoluído.

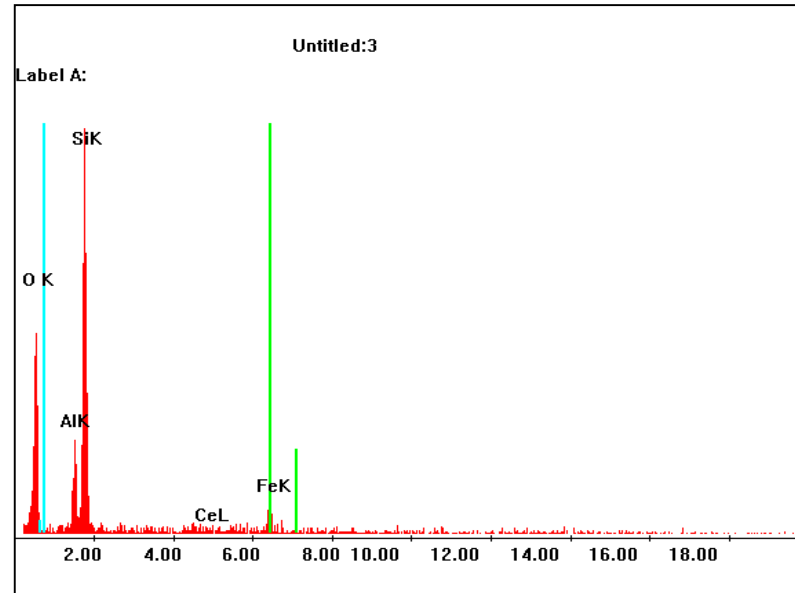
COMPOSIÇÃO SEMI-QUANTITATIVA

AMOSTRA DO POÇO 1 - PROFUNDIDADE: 3M



- Maior porcentagem de óxidos e hidróxidos de Fe e Al.

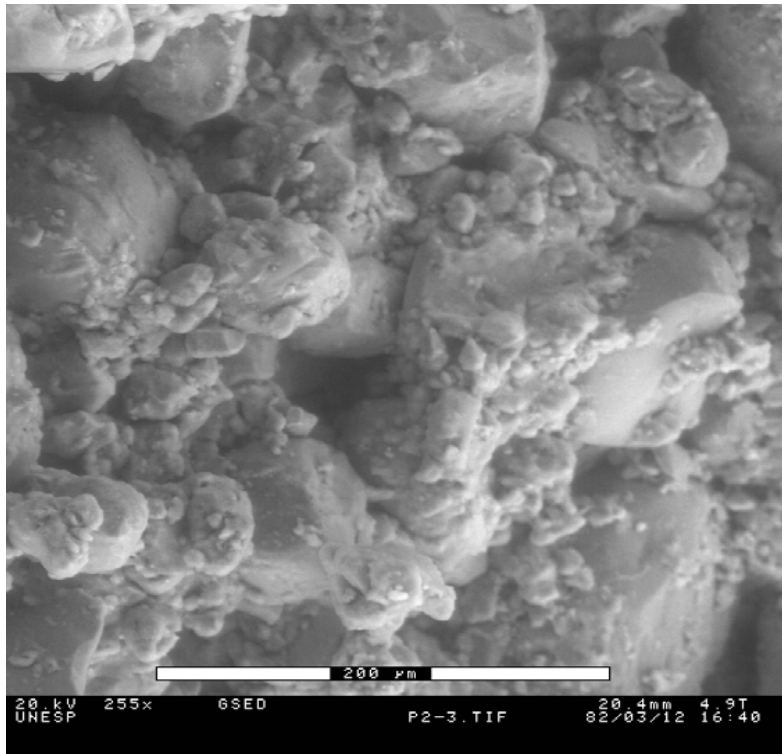
AMOSTRA DO POÇO 1 - PROFUNDIDADE: 6M



- Maior quantidade de Si.

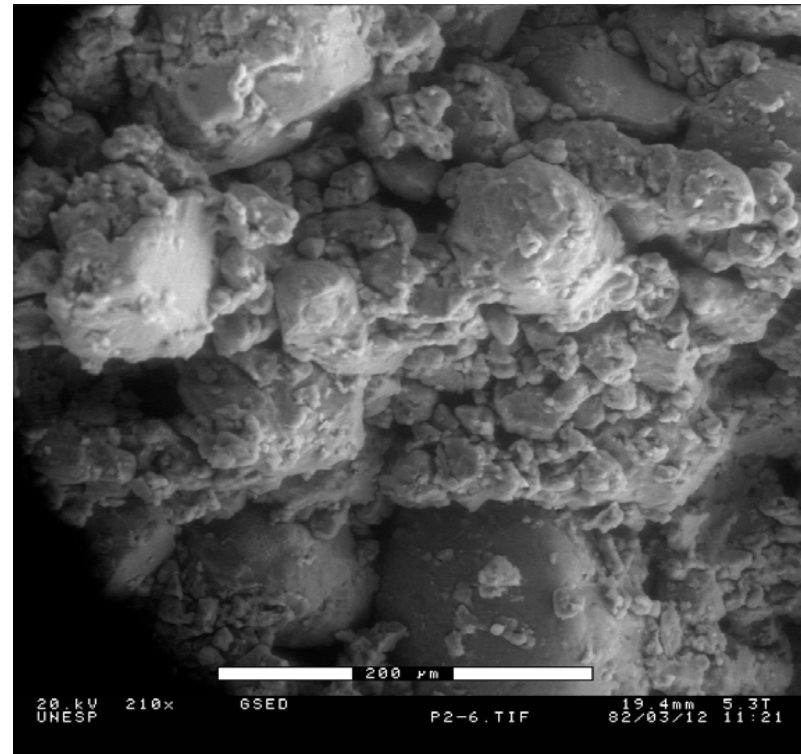
IMAGENS DE MICROSCÓPIO ELETRÔNICO

AMOSTRA DO POÇO 2 - PROFUNDIDADE: 3M



- Maior porosidade

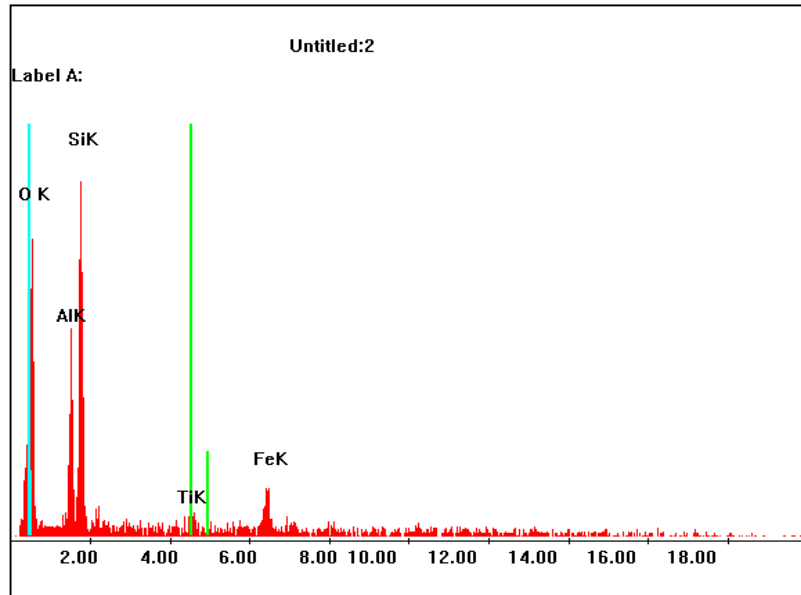
AMOSTRA DO POÇO 2 - PROFUNDIDADE: 6M



- Horizonte menos lixiviado.

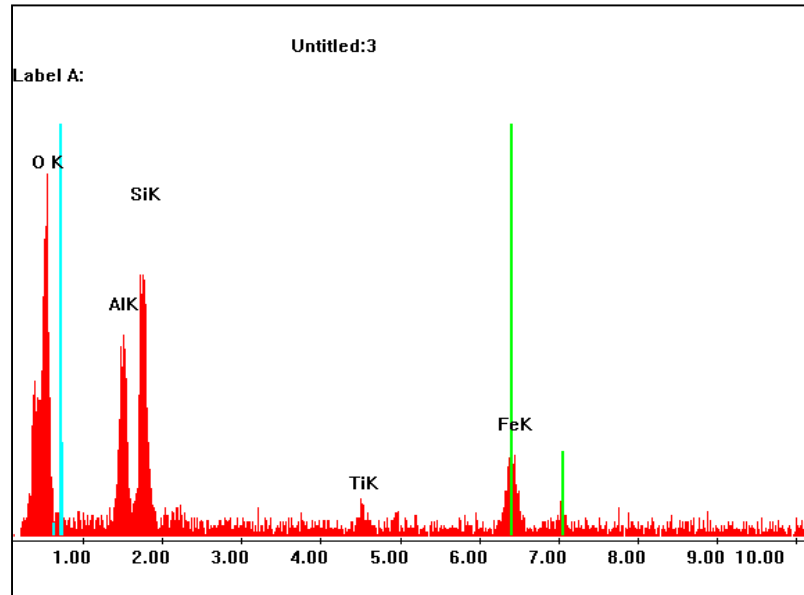
COMPOSIÇÃO SEMI-QUANTITATIVA

AMOSTRA DO POÇO 2 - PROFUNDIDADE: 3M



- Menor quantidade de O

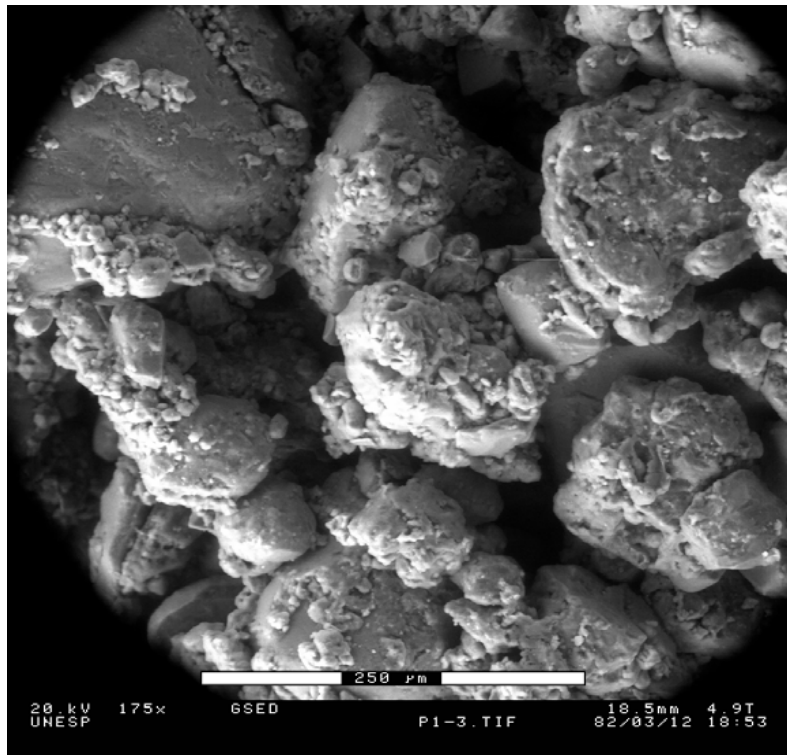
AMOSTRA DO POÇO 2 - PROFUNDIDADE: 6M



- Menor quantidade de Si

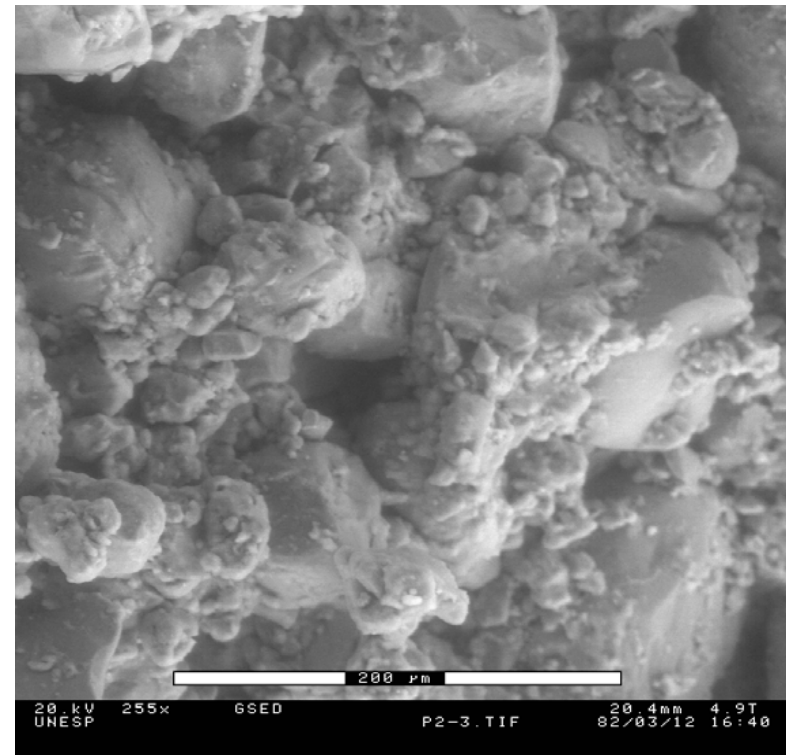
IMAGENS DE MICROSCÓPIO ELETRÔNICO

AMOSTRA DO POÇO 1 - PROFUNDIDADE: 3M



- Grãos maiores;
- Alta porosidade.

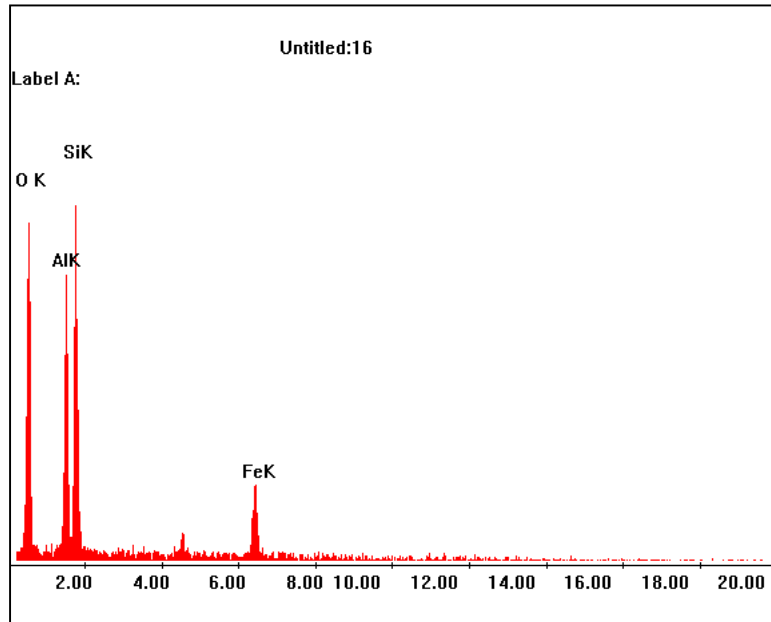
AMOSTRA DO POÇO 2 - PROFUNDIDADE: 3M



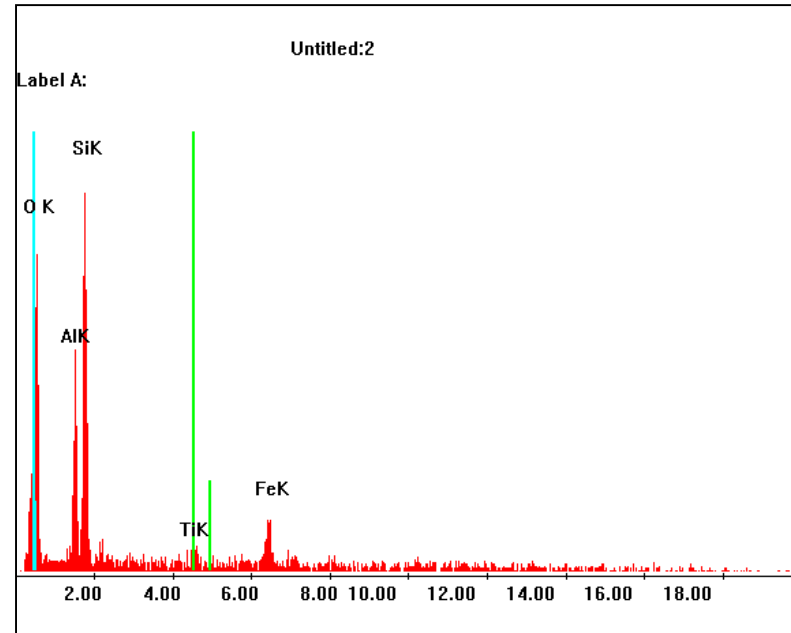
- Grão menores;
- Menor porosidade.

COMPOSIÇÃO SEMI-QUANTITATIVA

AMOSTRA DO POÇO 1 - PROFUNDIDADE: 3M



AMOSTRA DO POÇO 2 - PROFUNDIDADE: 3M



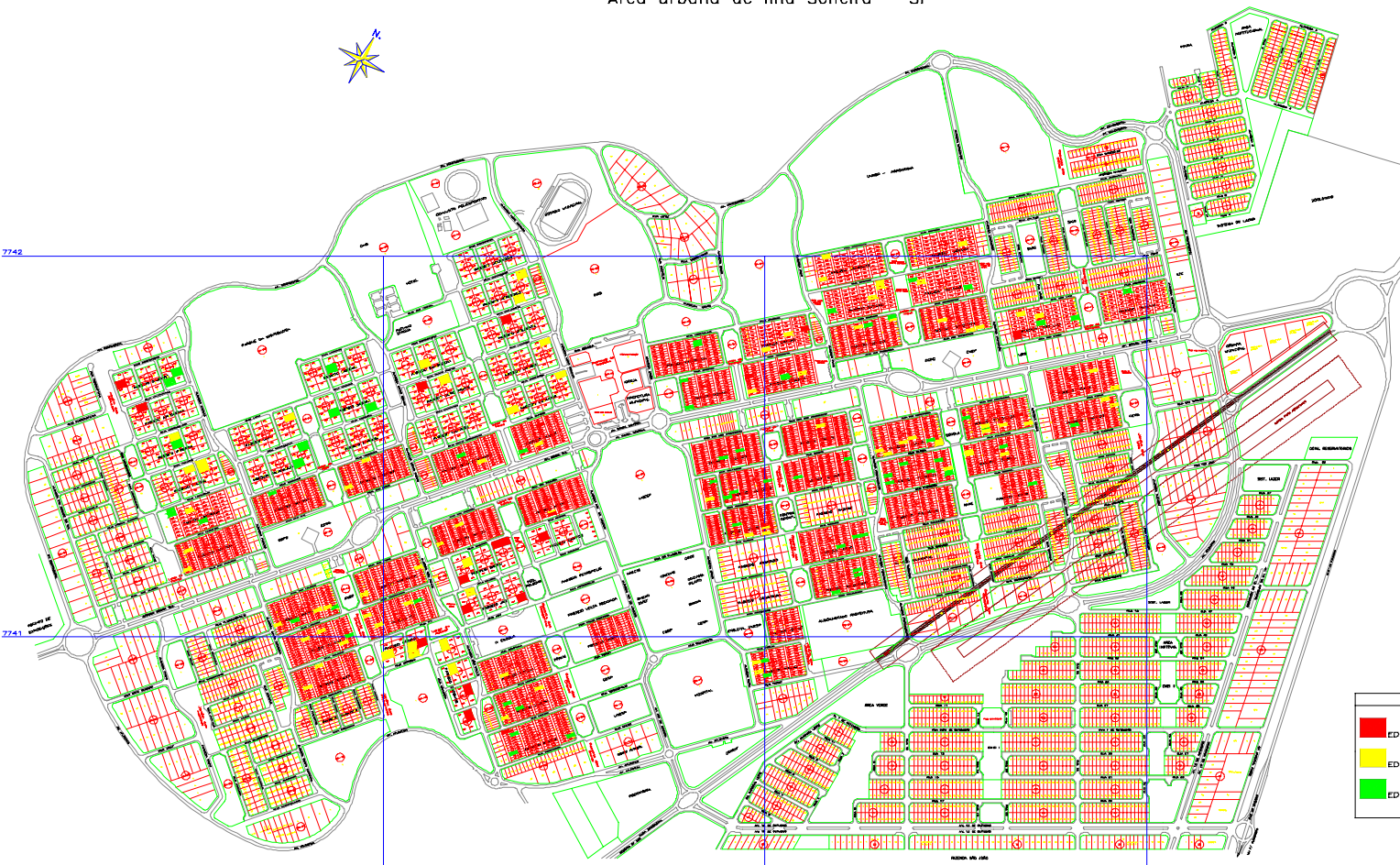
- Maiores quantidades de Fe e Al

ANEXO 05

CARTA DE CADASTRAMENTO DE RISCO DE COLAPSO DE SOLOS

CARTA DE CADASTRAMENTO DE RISCO DE COLAPSO DE SOLOS

Área urbana de Ilha Solteira – SP



LEGENDA	
■	EDIFICAÇÃO COM ALTO GRAU DE RISCO
■	EDIFICAÇÃO COM MÉDIO GRAU DE RISCO
■	EDIFICAÇÃO COM BAIXO GRAU DE RISCO

PROJETO: CARTA DE RISCO DE COLAPSO DE SOLOS PARA A ÁREA URBANA DE ILHA SOLTEIRA – SP
AUTOR: Eng.º Cristiano Magalhães Gasparini de Oliveira
ÁREA ESTUDADA: Delimitada no projeto.
Bases cartográficas elaboradas pelo Departamento de Habitação e Urbanismo da Pref. Municipal de Ilha Solteira
Escala: 1:250
Data: 02/03/2002
Folha: 02/03

ANEXO 06

CARTA DE ZONEAMENTO DE RISCO DE COLAPSO DE SOLOS

CARTA DE ZONEAMENTO DE RISCO DE COLAPSO DE SOLOS

Área urbana de Ilha Solteira – SP

