

**MAPEAMENTO GEOTÉCNICO PRELIMINAR E CORRELAÇÃO ENTRE
PROPRIEDADES MECÂNICAS DO SOLO EM ÁREAS SUSCETÍVEIS A
DESLIZAMENTO DE TERRA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO
RIO CUNHA, RIO DOS CEDROS - SC**

Romério Scaburri Júnior

Orientador: Rafael Augusto dos Reis Higashi, Dr.

2011/2



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E
AMBIENTAL

**MAPEAMENTO GEOTÉCNICO PRELIMINAR E
CORRELAÇÃO ENTRE PROPRIEDADES MECÂNICAS DO
SOLO EM ÁREAS SUSCETÍVEIS A DESLIZAMENTO DE
TERRA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CUNHA, RIO
DOS CEDROS - SC**

Trabalho apresentado à Universidade
Federal de Santa Catarina para
Conclusão do Curso de Graduação
em Engenharia Sanitária e
Ambiental.

ROMÉRIO SCABURRI JÚNIOR

Orientador:
Rafael Augusto dos Reis Higashi, Dr.

FLORIANÓPOLIS/SC
FEVEREIRO/2012

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E
AMBIENTAL

**MAPEAMENTO GEOTÉCNICO PRELIMINAR E
CORRELAÇÃO ENTRE PROPRIEDADES MECÂNICAS DO
SOLO EM ÁREAS SUSCETÍVEIS A DESLIZAMENTO DE
TERRA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CUNHA, RIO
DOS CEDROS - SC**

ROMÉRIO SCABURRI JÚNIOR

Trabalho submetido à Banca Examinadora
como parte dos requisitos para Conclusão do
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e
Ambiental – TCC II

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Rafael Augusto dos Reis Higashi
(Orientador)



Profª Drª. Liseane Padilha Thives
(Membro da Banca)



Engª. Gisele Marilha Pereira Reginatto
(Membro da Banca)

Florianópolis/SC
Fevereiro/2012

Dedico esse trabalho à
minha irmã Priscilla, que
tenho certeza de que está
acompanhando todos os
meus passos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais pelo amor, pelas lições de honestidade e cidadania, pelo imenso apoio e pela educação que me forneceram, não só no período da graduação, mas por toda a minha vida.

À minha irmã Patrícia pelo companheirismo, carinho e por sempre torcer por mim. Também torço imensamente pelo seu sucesso.

Ao meu orientador Professor Rafael Higashi, pelo auxílio ao tema proposto, pela confiança depositada e pelos ensinamentos.

Ao Professor Marciano Maccarini e aos integrantes do Laboratório de Mecânica dos Solos, pela disponibilização do mesmo e pelos vários momentos de descontração e proporção de um ambiente leve e agradável de se trabalhar.

À Professora Liseane Thives por ter se aceitado de forma tão gentil a fazer parte dos membros da banca examinadora.

À Amanda Stiz, pela valiosa amizade nos momentos difíceis da graduação e por sempre ser tão compreensiva.

À Gisele Reginatto, pela grande amizade, conselhos, ensinamentos, carinho e enorme paciência nos ensaios. Meu muito obrigado

Às colegas do Laboratório de Hidrologia, Patrícia, Nadine, Chelsea e Laís, pela amizade e auxílio quando lá trabalhei e em especial à Professora Claudia Weber, pelos conselhos, incentivo e conhecimento transmitido nesse período.

A todos que me acompanharam durante a vida acadêmica e contribuíram para a realização desse trabalho.

RESUMO

A região do Vale do Itajaí, localizada no estado de Santa Catarina, é propícia a desastres naturais em épocas chuvosas, a exemplo da tragédia ocorrida em 2008, marcada pelos vários deslizamentos de terra ocasionados pela intensa pluviometria. Neste contexto, esta pesquisa foi desenvolvida tendo como área de estudo a bacia hidrográfica do Rio Cunha, localizada no município de Rio dos Cedros, que faz parte da bacia do rio Itajaí-Açu. O objetivo do trabalho foi realizar um mapeamento geotécnico da bacia por meio de uma metodologia voltada para solos tropicais e determinar as propriedades dos solos da região para elaborar funções de correlação entre as mesmas. Para tanto, foram realizadas coletas de amostras de solos nas zonas de escorregamento e, em laboratório, apurados seus atributos físicos, que englobam a análise granulométrica e os limites de Atterberg, bem como os parâmetros de resistência ao cisalhamento.

Palavras-chave: propriedades físicas dos solos, mapeamento geotécnico, funções de correlação, resistência ao cisalhamento

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplo de gráfico de granulometria (ABNT NM248/03)	29
Figura 2 – Gráfico para a determinação expedita MCT pelo Método das pastilhas (NOGAMI e VILLIBOR, 1994 e 1996).	33
Figura 3 – Diagrama da metodologia Davison Dias (MAFRA JR, 2007)	38
Figura 4 – Localização da Bacia do Rio Cunha	41
Figura 5 – Mapa Pedológico da Bacia do Rio Cunha	43
Figura 6 – Mapa Geológico da Bacia do Rio Cunha	47
Figura 7 – Fluxograma da metodologia do trabalho	50
Figura 8 – Delimitação da Bacia Hidrográfica do Rio Cunha	51
Figura 9 – Localização dos pontos de coleta	53
Figura 10 – Pastilhas após secagem em estufa	58
Figura 11 – Medição da penetração no centro das pastilhas	59
Figura 12 – Eliminação de bolhas de ar com o uso de bomba de sucção ...	60
Figura 13 – Mapa Litológico da Bacia do Rio Cunha	64
Figura 14 – Mapa Geotécnico Preliminar	65
Figura 15 – Mapa geotécnico preliminar conectado ao banco de dados	66
Figura 16 – Correlação entre a fração de argila e limite de liquidez	71
Figura 17 – Correlação entre a fração areia e limite de liquidez	72
Figura 18 – Correlação entre a fração de argila e índice de plasticidade	72
Figura 19 – Correlação entre a fração de areia e índice de plasticidade	73
Figura 20 – Correlação entre argila e coesão e entre areia e coesão	74
Figura 21 – Correlação entre argila + silte e coesão e entre silte + areia e coesão	74
Figura 22 – Correlação entre o índice de plasticidade e coesão e entre limite de liquidez e coesão	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Faixa granulométrica (ABNT 6502/95)	23
Tabela 2 – Horizontes dos solos (DAVISON DIAS, 1987)	25
Tabela 3 – Classes de solo segundo a metodologia MCT (HIGASHI, 2006)	32
Tabela 4 – Área e abrangência das unidades pedológicas	44
Tabela 5 – Descrição das unidades pedológicas (IBGE, 2003)	45
Tabela 6 – Área e abrangência das unidades geológicas	46
Tabela 7 – Coordenadas UTM e profundidade dos pontos de coleta	53
Tabela 8 – Área e abrangência das unidades litológicas	63
Tabela 9 – Área e abrangência das unidades geotécnicas	65
Tabela 10 – Dados granulométricos (%)	67
Tabela 11 – Limites de Atterberg (%)	68
Tabela 12 – Massa específica (g/cm ³) e classificação MCT	69
Tabela 13 – Parâmetros de estabilidade	70

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	19
1.1	OBJETIVO GERAL.....	20
1.1.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1	CONCEPÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS	22
2.1.1	CONCEPÇÃO E CICLO DAS ROCHAS	22
2.1.2	CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS.....	22
2.1.3	PEDOLOGIA.....	24
2.1.4	SOLOS TROPICAIS.....	26
2.1.4.1	SOLOS LATERÍTICOS.....	26
2.1.4.2	SOLOS SAPROLÍTICOS	27
2.2	CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS	28
2.2.1	ANÁLISE GRANULOMÉTRICA	28
2.2.2	ÍNDICES DE CONSISTÊNCIA DO SOLO	29
2.2.2.1	LIMITE DE LIQUIDEZ	30
2.2.2.2	LIMITE DE PLASTICIDADE	30
2.2.2.3	ÍNDICE DE PLASTICIDADE	30
2.2.3	RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DO SOLO	30
2.2.4	CLASSIFICAÇÃO MCT PARA SOLOS TROPICAIS	31
2.2.4.1	CLASSE L – COMPORTAMENTO LATERÍTICO	33
2.2.4.2	CLASSE N – COMPORTAMENTO NÃO-LATERÍTICO	34
2.3	MAPEAMENTO GEOTÉCNICO.....	34
2.3.1	METODOLOGIAS DE MAPEAMENTO GEOTÉCNICO.....	35
2.3.1.1	METODOLOGIA FRANCESA (1972)	36
2.3.1.2	METODOLOGIA PUCE (1978)	36
2.3.1.3	METODOLOGIA DAVISON DIAS (1995).....	37
2.3.2	SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG) NO MAPEAMENTO GEOTÉCNICO).....	39
3	ÁREA DE ESTUDO.....	41
3.1	LOCALIZAÇÃO	41
3.2	CARACTERÍSTICAS DA BACIA DO RIO CUNHA	42
3.2.1	PEDOLOGIA.....	42
3.2.2	GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA	46
3.2.2.1	COMPLEXO LUÍS ALVES (ALA)	46
3.2.2.2	FORMAÇÃO MAFRA (CPM)	47
3.2.2.3	SEDIMENTOS ALUVIONARES.....	47
3.2.3	CLIMA.....	48
4	METODOLOGIA.....	49
4.1	DELIMITAÇÃO DA BACIA	51
4.2	CRIAÇÃO EM SIG DE MAPAS TEMÁTICOS BÁSICOS	51
4.2.1	ANÁLISE ATRAVÉS DE MAPAS EXISTENTES E CRIAÇÃO DE UM MAPA GEOTÉCNICO PRELIMINAR.....	51
4.3	DETERMINAÇÃO DOS PONTOS DE COLETA DE AMOSTRAS DEFORMADAS E INDEFORMADAS DO SOLO	52
4.4	CARACTERIZAÇÃO DO SOLO	54

4.4.1	ANÁLISE GRANULOMÉTRICA (NBR 7181/1984)	54
4.4.1.1	PENEIRAMENTO	55
4.4.1.2	SEDIMENTAÇÃO	55
4.4.2	LIMITES DE ATTERBERG	56
4.4.2.1	LIMITE DE LIQUIDEZ (NBR 6459/1984)	56
4.4.2.2	LIMITE DE PLASTICIDADE (NBR 7180/1984)	57
4.4.3	IDENTIFICAÇÃO EXPEDITA MCT (ENSAIO DAS PASTILHAS)	57
4.4.4	DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DOS GRÃOS (NBR 6508/1984)	59
4.5	DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA DO SOLO	61
4.5.1	ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO (ASTM D3080- 04)	61
4.6	CRIAÇÃO DE FUNÇÕES DE CORRELAÇÃO	61
4.7	CRIAÇÃO DO BANCO DE DADOS DO MAPA GEOTÉCNICO PRELIMINAR	62
5	RESULTADOS	63
5.1	CRIAÇÃO DAS UNIDADES GEOTÉCNICAS	63
5.1.1	MAPA LITOLÓGICO	63
5.1.2	MAPA GEOTÉCNICO PRELIMINAR	64
5.1.3	MAPA GEOTÉCNICO PRELIMINAR COM BANCO DE DADOS	66
5.2	RESULTADOS DOS ENSAIOS LABORATORIAIS	67
5.2.1	GRANULOMETRIA E LIMITES DE ATTERBERG	67
5.2.2	MASSA ESPECÍFICA E CLASSIFICAÇÃO MCT	69
5.2.3	CISALHAMENTO DIRETO	70
5.2.4	CORRELAÇÕES ENTRE GRANULOMETRIA E LIMITES DE ATTERBERG	71
5.2.5	CORRELAÇÕES ENTRE GRANULOMETRIA E PARÂMETROS DE ESTABILIDADE DO SOLO (CISALHAMENTO)	73
5.2.6	CORRELAÇÕES ENTRE LIMITES DE ATTERBERG E PARÂMETROS DE ESTABILIDADE DO SOLO (CISALHAMENTO)	75
6	Conclusões e recomendações	76
6.1	CONCLUSÕES	76
6.2	RECOMENDAÇÕES	78
	REFERÊNCIAS	79

1 INTRODUÇÃO

No ano de 2008, o estado de Santa Catarina sofreu uma das maiores tragédias climáticas de sua história. A ocorrência de fenômenos naturais, como enchentes e deslizamentos de terra, relacionadas aos níveis extremos de precipitação, configuraram na época preocupação constante para as autoridades e para a população. Desde então, diversos pesquisadores têm chamado a atenção para a urgência do estudo desses fenômenos e para formular medidas preventivas. No entanto, tão importante quanto o estudo desses acontecimentos, é o estudo das regiões em que eles ocorrem com mais frequência, seja pela influência do relevo, da vegetação, do tipo de solo predominante, das características físicas do solo ou dos seus parâmetros de estabilidade, entre outros.

Nesse sentido, o mapeamento geotécnico mostra-se como uma alternativa em termos de reconhecimento topográfico, pedológico e litológico das áreas de deslizamento. A metodologia adotada nessa pesquisa, chamada de Mapeamento Geotécnico de Grandes Áreas, é aplicável para lugares com solos tropicais, sendo largamente utilizada na região Sul do Brasil.

O mapeamento realizado buscou caracterizar os solos da área de estudo, com base em suas propriedades geomecânicas. Para alcanças os objetivos, foram fixados dez pontos de estudo nos quais coletaram-se amostras de solo na bacia do Rio Cunha, na unidade geotécnica mais abrangente. Essa unidade geotécnica foi determinada com base em um mapeamento preliminar que detectou todas as unidades presentes na bacia.

Quanto às propriedades físicas dos solos coletados, elaboraram-se nessa pesquisa funções as que correlacionassem. O termo correlação passou a ganhar certa notoriedade na literatura científica com Bouma e Van Lanen (1987), em uma tentativa de encontrar possíveis ligações entre a ciência que estuda o solo (pedologia) e a ciência que estuda a água (hidrologia).

É válido ressaltar que a textura de um solo, advinda da caracterização granulométrica, pode fornecer informações geológicas de materiais sedimentares ou de materiais resultantes do intemperismo. As densidades geralmente são mais intensas à medida que a profundidade do solo aumenta.

Em suma, esta pesquisa visa a obtenção das propriedades dos solos de uma unidade geotécnica na bacia hidrográfica em estudo por meio de ensaios de laboratório, bem como a busca por possíveis correlações entre os parâmetros físicos e de resistência.

1.1 Objetivo geral

O objetivo geral do trabalho consiste em elaborar um mapa preliminar de unidades geotécnicas correspondente à área da bacia hidrográfica do Rio Cunha, situada na cidade catarinense de Rio dos Cedros, para caracterizar e analisar as propriedades físicas e mecânicas da unidade geotécnica de maior abrangência e onde houve maior incidência de deslizamento de terra, para a posterior elaboração de equações de correlação entre as propriedades do solo.

1.1.1 Objetivos específicos

- Levantar materiais cartográficos (mapa geológico e pedológico) que compreendam a área de estudos;
- Delimitar a bacia hidrográfica do Rio Cunha em ambiente SIG;
- Gerar o mapa litológico a partir do mapa geológico;
- Criar o mapa geotécnico preliminar através da soma do mapa pedológico e do litológico;
- Coletar amostras de solo deformadas e indeformadas da unidade geotécnica de maior abrangência em locais de ocorrência de deslizamento;
- Identificar a distribuição granulométrica e a massa específica do solo em laboratório;

- Classificar o solo através da metodologia expedita MCT (método das pastilhas);
- Determinar os parâmetros de resistência do solo por meio do ensaio de cisalhamento direto;
- Encontrar os valores do limite de liquidez e de plasticidade dos solos;
- Delimitar as curvas-chave de correlação entre os parâmetros de resistência do solo e as propriedades físicas;

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Concepção e Classificação dos Solos

2.1.1 Concepção e ciclo das rochas

Na Terra, o solo situa-se na posição de contato com as massas gasosas e líquidas e permanece na parte mais exterior do globo terrestre. Sendo um elemento composto pelos três estados da matéria, demonstra apropriadamente as características que remetem a sólidos, líquidos e gases.

O solo é um dos componentes mais organizados e complexos da natureza, o que é percebido quando se constata ser ele um corpo natural e dinâmico, que adquire características ou propriedades que variam com o caráter, a intensidade e a extensão das forças que atuam sobre ele.

Na parte superior do corpo do solo e às proximidades da interface sólido-gás, desenvolve-se uma biologia caracterizada pela presença de formas, desde as mais primitivas a seres altamente organizados, os quais, exercitando demolições e sínteses, concorrem para a manifestação de importantes atributos que interessam a vegetais e animais superiores (DAS, 2007).

De forma geral, os solos são formados a partir da erosão das rochas, em um fenômeno chamado *intemperismo*. Nesse fenômeno, as rochas sofrem ruptura e transformam-se em pedaços menores, através de processos mecânicos e químicos. As propriedades físicas desses solos gerados são apuradas pelos minerais que compõem suas partículas, ou em outras palavras, pelos minerais que compunham a rocha da qual esse solo se originou. Essas propriedades são, na maioria das vezes, determinadas pela forma, tamanho e composição química dos grãos constituintes.

2.1.2 Classificação dos Solos

A primeira característica que diferencia os solos é o tamanho das partículas que os compõem. A ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) considera as

areias como parte da fração grossa do solo, empregando denominações específicas para as diversas faixas de tamanho de grãos de acordo com a Tabela 1.

Usualmente, emprega-se a expressão areia para solos onde a fração areia seja superior a 50% nos materiais com percentual de finos, contudo areias com 20, 30 ou 40% de finos têm seu comportamento influenciado pela fração argila. Logo, para a Mecânica dos solos, areia é um material granular com reduzida percentagem de finos que não interferem significativamente no comportamento do conjunto (PINTO, 2000).

Tabela 1 – Faixa granulométrica (ABNT 6502/95)

Fração	Diâmetro dos grãos
Matacão	de 25cm a 1m
Pedra	de 7,6cm a 25cm
Pedregulho	de 4,8cm a 7,6cm
Areia grossa	de 2cm a 4,8cm
Areia média	de 0,42mm a 2cm
Areia fina	de 0,05mm a 0,42mm
Silte	de 0,005mm a 0,05mm
Argila	< que 0,005mm

Na prática, costuma-se separar os solos finos dos solos grossos através da peneira 200 (#200), que é a peneira atualmente empregada em laboratório e que possui abertura de 0,075mm. O conjunto de silte e argila é denominado como a fração fina do solo, enquanto que o conjunto areia e pedregulho é denominado fração grossa ou grosseira do solo. Quanto à resistência de uma argila, essa depende do índice de vazios em que a mesma se encontra, sendo resultante das tensões atuais e das antecedentes. Os siltes apresentam baixa ou nenhuma plasticidade, além de exibir baixa resistência quando secos ao ar.

Os solos também podem ser classificados em dois grupos, de acordo com a sua origem: solos residuais e solos sedimentares.

Os solos residuais são oriundos da decomposição das rochas que se encontram no próprio local em que se desenvolveram. Para que eles se formem, é necessário que

a velocidade de decomposição da rocha seja maior do que a velocidade de decomposição por agentes externos. A velocidade de decomposição está em função de vários fatores, dentre os quais destacam-se a temperatura, a frequência de precipitação, a umidade do ar e a vegetação. As condições existentes nas regiões tropicais são favoráveis a degradações mais rápidas da rocha e é justamente por essa razão que as maiores ocorrências de solos residuais ocorrem nessas regiões, entre elas o Brasil.

Já os solos sedimentares, também conhecidos como solos transportados, são aqueles que foram carregados do seu local de origem por agentes externos de transporte. As características dos solos estão em função do agente transportador. Solos transportados pela ação gravitacional são chamados *solos coluvionares*. Os transportados pela água são os *aluvionares*. Já os transportados pelo vento originam os *depósitos eólicos*.

2.1.3 Pedologia

A pedologia é a ciência que analisa a origem, morfologia, mapeamento e a classificação de solos. Conforme Vieira (1975), a origem do solo depende conjuntamente de dois tipos de processos: os geológicos e os pedogenéticos. Os processos geológicos abrangem a destruição e/ou desagregação da rocha principal devido ao intemperismo físico e químico, o carreamento desse material e a disposição final do mesmo. Os processos pedogenéticos envolvem a transformação do material resultante dos processos geológicos em solos e suas fases evolutivas futuras.

A gênese do solo envolve fatores como a ação climatológica, organismos presentes e relevo sobre o material de origem por um determinado tempo. Esses fatores atuam de maneiras diferentes de lugar para lugar, originando solos dos mais variados tipos.

No perfil do solo encontram-se dispostas várias camadas diferentes, geralmente paralelas, chamadas de *horizontes*. Davison Dias (1987) relaciona os principais horizontes do solo, que podem ser verificados na Tabela 2.

Os horizontes são normalmente representados pelas letras A, E, B, C, e R e são diferenciados pelas seguintes características: cor, estrutura, presença de material orgânico, textura, espessura, consistência, entre outros.

Tabela 2 – Horizontes dos solos (DAVISON DIAS, 1987)

Horizonte	Descrição
A	Apresenta um acúmulo de matéria orgânica misturado com matéria mineral
E	Apresenta cores claras e textura arenosa devido à eluviação da argila
B	O material do horizonte B possui um elevado grau de diferenciação em relação ao material originário. Essas diferenças podem ser devidas a transformações ocorridas <i>in situ</i> ou pelo enriquecimento de argilas, óxidos de ferro e alumínio, matéria orgânica ou outros materiais vindos dos horizontes subjacentes
C	O solo desse horizonte pode ou não ser semelhante ao material que o originou, podendo ainda reter vestígios da estrutura da rocha, tendo em vista que é pouco afetado pelos processos pedogenéticos
R	Sendo uma rocha consolidada, pode ou não ser a rocha originária dos horizontes superiores

Os horizontes A e B representam o solo superficial, no qual o material de origem sofreu modificações por meio de processos pedogenéticos e o horizonte C representa o material de origem alterado por processos de intemperismo.

Ainda segundo Davison Dias (1987), o estudo de processos pedológicos e pedogenéticos promove uma possível estimativa de dados a respeito dos mecanismos de formação do solo, além das condições físicas, mecânicas e de drenagem dos mesmos, viabilizando dessa maneira a sua classificação. Assim, toma-se conhecimento dos tipos

de solos dispostos em maiores profundidades e determinam-se através da pedologia as metodologias mais indicadas para fazer a sua caracterização morfológica.

A mesma autora complementa que as classificações pedológicas, associadas às geológicas, funcionam como indicadores de unidades geotécnicas e conclui que levantamentos pedológicos assumem dessa maneira enorme importância para o mapeamento geotécnico.

2.1.4 Solos Tropicais

De acordo com Nogami e Villibor (1996), solos tropicais são solos cujas características distinguem-se consideravelmente daquelas previsíveis pelos procedimentos tradicionais de caracterização e classificação geotécnicas. Apresentam particularidades em relação aos não-tropicais devido aos processos geológicos e pedológicos sofridos, típicos de regiões úmidas e temperadas. A esses solos, é necessário que se apliquem técnicas adequadas a fim de caracterizá-los e classificá-los, uma vez que apresentam peculiaridades decorrentes das condições ambientais em que estão inseridos.

Os solos tropicais podem ser divididos em duas classes, os solos lateríticos (profundamente intemperizados) e os solos saprolíticos (pouco intemperizados). No Brasil, os solos tropicais predominam tanto em termos de volume como área de abrangência.

2.1.4.1 Solos lateríticos

Os solos com comportamento laterítico são característicos de regiões com temperaturas elevadas, ambiente úmido, precipitação frequente, considerável nível de percolação de água e meteorização acelerada e intensa. São fatores que, ao atuarem em conjunto, favorecem o processo de laterização.

Segundo Santos (2006), durante a laterização, a lixiviação de óxidos de ferro e alumínio forma uma camada que impede a passagem de água para regiões mais profundas, sendo esse um problema típico de regiões com climas tropicais. O mesmo autor ainda afirma que no

decorrer desse processo, a lixiviação de cátions básicos faz com que haja a deposição de óxidos de ferro e alumínio. Consequentemente, a fração argila presente no solo é basicamente composta por argilo-minerais.

Solos lateríticos são definidos pela formação de agregações de argila. Em solos mais arenosos, constata-se a presença de uma extensa quantidade de vazios, com densidades baixas e permeabilidades altas em estado natural. São caracterizados por uma elevada porosidade aparente natural e baixas resistência, capacidade de suporte e permeabilidade, sendo em geral parcialmente saturados (FRANZOI, 1990).

Nogami e Villibor (1995) explicam que estes solos apresentam geralmente minerais de quartzo nas frações de areia e pedregulho, fornecendo características específicas aos solos como alto módulo de elasticidade, dureza, resistência à compressão, massa específica e estabilidade química. Os grãos de quartzo quando presentes na areia de solos lateríticos ocasionam a existência de uma película de óxidos, fazendo com que as cores do mesmo sejam amareladas, avermelhadas ou arroxeadas.

2.1.4.2 Solos saprolíticos

Os solos saprolíticos são solos resultantes da decomposição *in situ* da rocha, mas que ainda mantém de maneira nítida a estrutura da rocha que os originou.

Surgem em condições bastante variadas, constatando-se uma grande variação de volume e espessura, desde alguns centímetros até algumas dezenas de metros. São solos predominantemente heterogêneos, em que se verifica a presença de argilas, siltes e areias a pedregulhos e matações de diversificada composição mineralógica.

São provenientes da decomposição de rocha preexistente. Não só herdam a estrutura da rocha matriz como também desenvolvem outros aspectos decorrentes do processo de intemperismo (atuação da água das chuvas e subterrânea, da temperatura). Quanto à coloração, podem ocorrer partes com cores branca, preta, azul, verde, roxa, rósea, amarela e vermelha. Usualmente se encontram

sobrejacentes a uma camada de rocha sã e contém, com frequência, intercalações desse material.

Esses solos possuem alta plasticidade, expansividade, erodibilidade e baixa capacidade de suporte, além de grande expansibilidade quando imersos em água, elevada velocidade de expansão baixa ou nenhuma contração.

Nogami e Villibor (1995) indicam que a fração arenosa destes solos compõe-se por minerais muito variados. Nestes solos, muitos dos grãos não são completamente meteorizados, fazendo com que grãos constituídos pelos mesmos minerais tenham propriedades diferentes.

2.2 Caracterização dos Solos

2.2.1 Análise granulométrica

Em um solo, geralmente distribuem-se partículas de diversos tamanhos, sendo praticamente impossível identificá-las de forma unicamente visual, pois, de acordo com Pinto (2000):

“Grãos de areia podem estar envoltos por uma grande quantidade de partículas argilosas, finíssimas, apresentando o mesmo aspecto de uma aglomeração formada exclusivamente por essas partículas argilosas.”

A análise granulométrica, ou seja, identificação do tamanho dos grãos, é definida como a determinação das dimensões das partículas do solo e das proporções relativas em que elas se encontram, sendo graficamente representada pela curva granulométrica. A curva é traçada por pontos em um diagrama semi-logarítmico, no qual são marcados os logaritmos das dimensões das partículas sobre o eixo das abscissas; bem como as porcentagens em peso do material que tem dimensão média menor que a dimensão considerada sobre o eixo das ordenadas (CAPUTO, 1967).

A granulometria consiste em duas fases: o peneiramento e a sedimentação. O peso do material que passa em cada peneira, referido ao peso seco da amostra, é

considerado como a porcentagem passante, e é representada graficamente em função da abertura da peneira, esta em escala logarítmica, e pode ser visto na Figura 1. A abertura principal da peneira é considerada como o diâmetro das partículas. Pinto (2000) ressalta que trata-se de um ‘diâmetro equivalente’, considerando que as partículas não são esféricas.

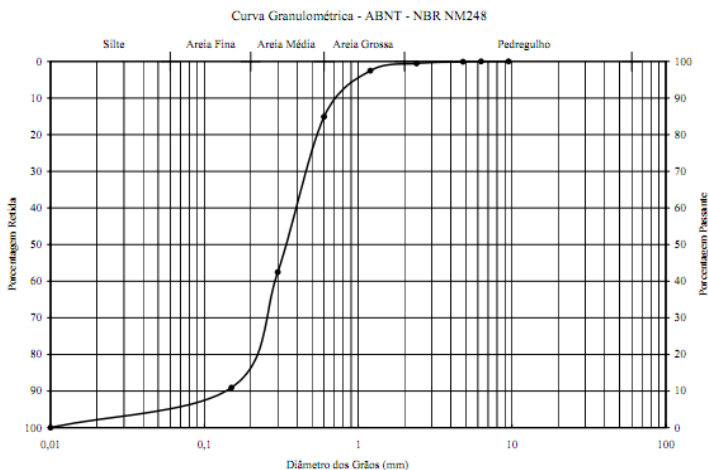


Figura 1 – Exemplo de gráfico de granulometria (ABNT NM248/03)

2.2.2 Índices de Consistência do Solo

Para solos cuja textura possui uma considerável porcentagem de fração fina, não basta a granulometria para caracterizá-los, pois suas propriedades plásticas dependem do teor de umidade, além da forma das partículas e de sua composição química e mineralógica (CAPUTO, 1967).

Quando o teor de umidade é muito baixo, o solo tende a se comportar como sólido. Nos casos em que o teor for alto, solo e água podem fluir como um líquido. Portanto, o comportamento do solo varia de acordo com o teor de umidade e pode arbitrariamente ser dividido em quatro estados básicos: sólido, semi-sólido, plástico e líquido.

Os teores de umidades correspondentes às mudanças de estado são definidos como: Limite de Liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (LP) dos solos. A diferença entre esses dois limites é definida como Índice de Plasticidade (IP).

2.2.2.1 Limite de Liquidez

A determinação do limite de liquidez (LL) é feita pelo aparelho de Casagrande, que consiste em um prato de latão, em forma de concha, sobre um suporte de ebonite. Por meio de um excêntrico imprimem-se ao prato, repetidamente, golpes de altura de 1cm e intensidade constante.

No Brasil, o procedimento do ensaio é padronizado pela ABNT/NBR 6459.

2.2.2.2 Limite de plasticidade

Caputo (1967) detalha que:

“O limite de plasticidade é determinado pelo cálculo da porcentagem de umidade para qual o solo começa a se fraturar quando se tenta moldar, com ele, um cilindro de 3 mm de diâmetro e cerca de 10 cm de comprimento.”

O procedimento para a realização deste ensaio é padronizado no Brasil pelo Método NBR 7180.

2.2.2.3 Índice de Plasticidade

O índice de plasticidade é a diferença entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade e define a zona em que o terreno se encontra no estado plástico. As argilas são tanto mais compressíveis quanto maior for o IP (CAPUTO, 1967).

2.2.3 Resistência ao Cisalhamento do Solo

A resistência ao cisalhamento de uma massa de solo é a resistência interna por área unitária que a massa de solo pode oferecer a fim de resistir a deslizamentos e rupturas ao longo de qualquer plano em seu interior. Para a análise dos problemas de estabilidade do solo, como

capacidade de receber carga e estabilidade de taludes, é essencial compreender o princípio da resistência ao cisalhamento (DAS, 2007).

Segundo Pinto (2000), a resistência ao cisalhamento dos solos é essencialmente devida ao atrito entre as partículas, sendo que a atração química entre as mesmas pode provocar uma resistência independente da tensão normal atuando no plano e que constitui a coesão real, como se uma cola tivesse sido aplicada entre os dois corpos.

Solos muito finos são denominados solos coesivos. As areias puras e os pedregulhos que não apresentam essa propriedade são denominados solos não-coesivos. A tensão capilar é considerada como coesão aparente porque desaparece totalmente com a saturação do solo. Já em materiais granulares, constituídos de grãos isolados ou independentes, o atrito é um misto de escorregamento (deslizamento) e de rolamento, afetado fundamentalmente pela entrosagem ou embricamento dos grãos. Enquanto no atrito simples de escorregamento entre sólidos o ângulo de atrito (φ) é praticamente constante, o mesmo não ocorre com os materiais granulares, em que as forças atuantes, modificando a sua densidade, e portanto, a entrosagem, acarretam a variação de φ num mesmo solo (BARATA, 1984).

2.2.4 Classificação MCT para solos tropicais

A metodologia MCT (Miniatura, Compactado, Tropical) foi desenvolvida por Nogami e Villibor (1981) e serve para determinar as propriedades mais representativas do comportamento dos solos tropicais, como contração, penetração e permeabilidade. Baseia-se em uma série de ensaios que reproduzem as reais condições de camadas compactadas de solos tropicais conferindo as propriedades geotécnicas que representam o comportamento *in situ* desses solos.

Esses autores também indicam que os solos com comportamento laterítico são aqueles que incluem em sua composição agentes cimentantes. Esses solos, quando devidamente compactados e após perderem a umidade,

tendem a apresentar resistência elevada, assim como permeabilidade e deformabilidade baixa, se comparados aos solos que não possuem esses agentes.

A metodologia MCT tem como finalidade a caracterização, a identificação e a classificação de solos tropicais, promovendo a distinção dos mesmos em duas grandes classes: solos de comportamento laterítico e solos de comportamento não-laterítico. Essas duas classes são ainda subdivididas em sete grupos distintos, como podem ser vistos na Tabela 3.

Com o intuito de tornar a metodologia mais prática e de fácil execução, Nogami e Cozzolino (1985) propuseram um ensaio denominado *ensaio expedito das pastilhas*, que consiste na avaliação de propriedades de comportamento de pastilhas moldadas em anéis de 20mm de diâmetro por 5mm de altura sob condições específicas, resultando na classificação de amostras quanto à classe de solos tropicais.

Tabela 3 – Classes de solo segundo a metodologia MCT (HIGASHI, 2006)

Classe	Significado
LG'	Argilas lateríticas e argilas lateríticas arenosas
LA'	Areia argilosa laterítica
LA	Areia com pouca argila laterítica.
NG'	Argilas, argilas siltosas e argilas arenosas não lateríticas
NS'	Siltes cauliniticos e micáceos, siltes arenosos e siltes argilosos não lateríticos
NA'	Areias siltosas e areias argilosas não lateríticas.
NA	Areias siltosas com siltes quartzosos e siltes argilosos não-lateríticos

Esta classificação proposta relaciona a contração das pastilhas com o coeficiente c' e a penetração com o índice e' . A contração e a penetração nos solos podem analisar o seu comportamento quando aplicado, por exemplo, na pavimentação. A contração se correlaciona com a compressibilidade dos solos compactados e a penetração correlaciona-se com a coesão e resistência do solo quando em presença de água (NETO, 2004). Os dados obtidos de

contração da pastilha de solo e penetração do mini-penetrômetro, são inseridos no gráfico da Figura 2. O símbolo “-” utilizado em alguns casos separa opções equivalentes quanto ao grupo de solo, e o “/” separa opções com menor grau de incidência (HIGASHI, 2006).

Godoy (2000) sintetizou um sistema de classificação de solos a partir da moldagem de pastilhas e esferas, visando a criação de um método expedito de campo que reproduzisse do comportamento geotécnico dos solos tropicais, o que possibilita hierarquizar as amostras de solo ainda na fase de coleta das mesmas.

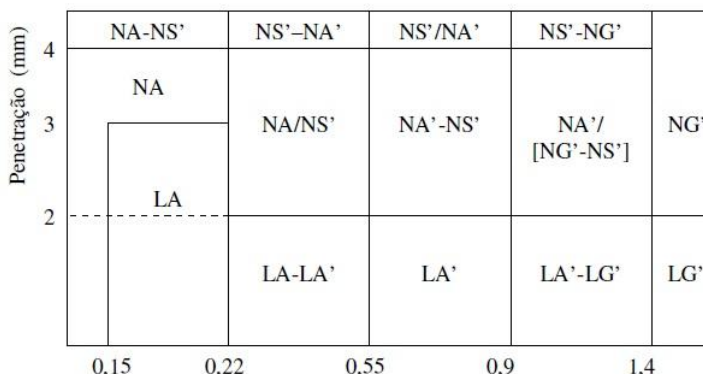


Figura 2 – Gráfico para a determinação expedita MCT pelo Método das pastilhas (NOGAMI e VILLIBOR, 1994 e 1996).

Higashi e Spriccigo (2003) realizaram ensaios no oeste do estado de Santa Catarina com o auxílio da metodologia MCT. Neste trabalho foi identificada a erodibilidade dos perfis de solos localizados na zona de expansão da malha viária do centro urbano, ensaiando corpos de prova em seu estado indeformado e compactado, e estimando a aplicabilidade dos mesmos para a pavimentação de novas vias.

2.2.4.1 Classe L – Comportamento laterítico

Os solos com comportamento laterítico usualmente pertencem ao horizonte B dos grandes grupos de solo como Latossolo, Solos Podzólicos e Terras Roxas estruturadas. Nesses solos, o horizonte B é caracterizado pela

predominância das cores vermelho e amarelo, pela espessa camada, que em alguns casos pode chegar a 5 metros, pela homogeneidade em termos de propriedades físicas ao longo de sua estrutura e pelo aspecto trincado ou poroso ocasionado pela intensa agregação de grãos mais finos.

Conforme Cozzolino e Nogami (1993), a relação entre solos de comportamento laterítico e solos pedologicamente lateríticos é complexa. Pode-se afirmar que os solos pedologicamente lateríticos têm comportamento laterítico, porém a recíproca nem sempre é verdadeira. Como exemplo, os mesmos autores citam alguns solos sedimentares intemperizados da região metropolitana de São Paulo e alguns tipos de solos podzólicos ou podzolizados tropicais, bem como os cambissolos.

2.2.4.2 Classe N – Comportamento não-laterítico

Contrariamente à classe dos solos de comportamento laterítico, os solos dessa classe são mais variados e heterogêneos. Destacam-se os solos saprolíticos (horizonte C) e os superficiais de comportamento não laterítico. Mais detalhes a respeito dos solos saprolíticos podem ser lidos no item 2.1.4.2.

Quanto aos solos superficiais não-lateríticos, esses raramente constituem camadas de mais de 1 metro. Podem fazer parte de perfis de solos pedologicamente lateríticos ou demonstrar características hidrológicas e rocha matriz especial, a exemplo dos vertissolos, que compreendem o horizonte A e B do massapê da Bahia. De maneira geral, os solos superficiais não-lateríticos têm conduta similar à de solos não tropicais, considerados na Mecânica dos Solos tradicional.

2.3 Mapeamento Geotécnico

O mapeamento geotécnico é uma forma de extrair e analisar dados que sejam capazes de prever e/ou classificar a conduta dos solos em relação às suas variadas formas de uso.

O termo mapeamento geotécnico é descrito pela UNESCO (1976) como uma variedade do mapa geológico,

no qual apresentam-se componentes significativos para o planejamento do uso do solo e para a realização de projetos, construções e manutenção quando aplicados à engenharia civil e de minas.

De acordo com a definição de Silva et al. (2000), o mapeamento geotécnico consiste no levantamento de informações referentes às características de atributos do meio físico, cujo objetivo é orientar o planejamento, a ocupação, o manejo e a conservação de determinada porção do espaço. Além disso, Costa e Alves (2006) mencionam que o mapeamento geotécnico remete em representar em meio cartográfico os componentes geotécnicos de significância para o uso e ocupação do solo e subsolo em projetos, construções e manutenções quando aplicados à engenharia civil, de minas e nos problemas ambientais. Nele é possível visualizar as unidades geotécnicas específicas de cada localidade, com informações sobre o tipo de solo, substrato e relevo predominante.

Complementarmente, Higashi (2006) afirma que:

O mapeamento geotécnico é uma metodologia em que sob a forma de um mapa são representadas as principais características geomecânicas do solo, podendo ser utilizado na previsão de comportamento de polígonos de solos chamados de unidades geotécnicas, possibilitando sua aplicação em projetos ambientais e de engenharia.

2.3.1 Metodologias de Mapeamento Geotécnico

A necessidade de pesquisas mais aprofundadas referentes ao comportamento do solo surgiu a partir do momento em que constatarem-se impactos ambientais severos e níveis alarmantes de degradação sobre o meio físico, ocasionados pela exploração e pela ocupação inadequada do mesmo.

A razão pela qual há inúmeras metodologias de mapeamento geotécnico no mundo, sejam elas distintas ou complementares, justifica-se pela grande variedade de solos existentes e da realidade topográfica específicas de cada região.

2.3.1.1 Metodologia Francesa (1972)

Na metodologia francesa os principais fatores que devem ser analisados são as condições geodinâmicas, geotécnicas e geomorfológicas do terreno. Há dois tipos de cartas: as *analíticas* ou *de fatores* e as *sintéticas* ou *de aptidão*.

As cartas analíticas representam um ou mais fatores imprescindíveis ao estudo geotécnico e são subdivididas em *cartas de fatores normais*, com dados de uso amplo para o planejamento regional e *cartas de fatores especiais*, com documentos específicos para situações particulares. As cartas sintéticas delimitam áreas homogêneas quanto à qualidade dos solos e quanto ao seu uso.

2.3.1.2 Metodologia PUCE (1978)

A metodologia PUCE (*Pattern, Unit, Component, Evaluation*) foi um programa desenvolvido na Austrália visando otimizar os procedimentos de coleta e manipulação de dados de engenharia, passando por etapas de planejamento e projeto de obras civis.

Miranda (2005) explica que o sistema de classificação é baseado através da topografia, vegetação, solo e características estruturais e, é composto por quatro categorias de generalizações:

- a) Província: define uma área do meio físico com base na geologia, na geomorfologia, na drenagem, na vegetação e outros;
- b) Padrão de Terreno: fundamenta-se em critérios geomorfológicos, em tipos de solos e vegetação;
- c) Unidade de Terreno: caracteriza-se por definir o formato do relevo e pela associação de solos e vegetação;
- d) Componente de Terreno: baseia-se nas propriedades geomorfológicas do solo.

As principais vantagens da metodologia PUCE são a fácil operacionalidade por parte do usuário e a compatibilidade com o armazenamento de dados em computador.

2.3.1.3 Metodologia Davison Dias (1995)

A metodologia criada por Davison Dias (1995) é denominada Mapeamento Geotécnico de Grandes Áreas e foi especialmente desenvolvida para ser aplicável aos solos tropicais. Parte da premissa de que a pedologia, a topografia e a geologia de uma região podem ser usadas como uma maneira de prever o comportamento do solo do local. A metodologia visa a formulação de um mapa geotécnico, no qual utilizam-se um mapa pedológico e um litológico. Esse último é derivado de um mapa geológico e utilizado na elaboração de unidades geotécnicas, como uma forma de prever o comportamento geomecânico do solo. Também leva em consideração a heterogeneidade e a declividade do solo na área de pesquisa, permitindo a elaboração de um modelo topográfico específico para cada região.

Através da Geomorfologia, orientada pela Pedologia, o mapa geotécnico possibilita a modelagem topográfica característica da área de estudo, baseada na geologia local e nas curvas de nível. Pode-se dizer que essa metodologia emprega indiretamente as feições de relevo de Zuquette (1987) para caracterizar o solo, levando em conta que existem variações dos tipos de solo de acordo com a declividade (HIGASHI, 2006).

Valente et al. (1998) afirma que, dentre as vantagens da metodologia Davison Dias (1995), destaca-se a aplicação de informações e dados de mapas disponíveis em meio físico, embora esses requeiram ajustes para o emprego na geotecnia. Esta metodologia avalia o perfil do solo em duas fases: a primeira fase parte da superfície e inclui os horizontes A, B e C e suas zonas de transição, analisando os dados pedológicos. A segunda fase parte da rocha de origem até a superfície, passando pelas camadas de rocha, rocha alterada e solo residual até a crosta superficial (MAFRA JR, 2007).

De forma sucinta, é uma metodologia que apresenta na forma de unidades geotécnicas os solos que são semelhantes em termos pedológicos, morfológicos e físico-químicos. A Figura 3 sintetiza essa metodologia na forma de diagrama.

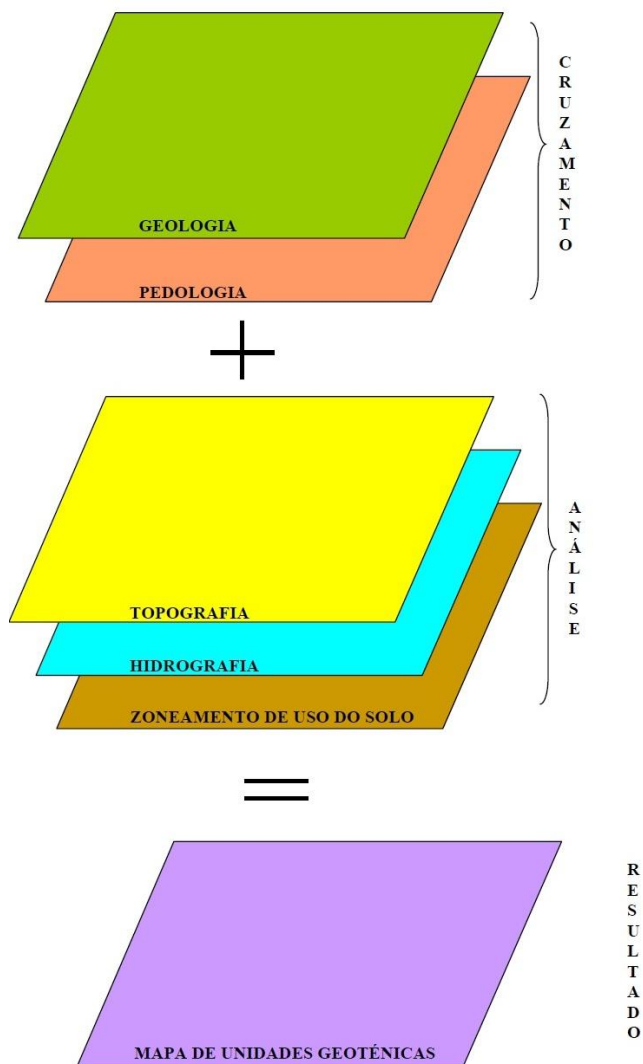


Figura 3 – Diagrama da metodologia Davison Dias (MAFRA JR, 2007)

2.3.2 Sistema de Informações Geográficas (SIG) no Mapeamento Geotécnico)

O SIG é uma ferramenta cuja função primordial é promover a supervisão da informação de um espaço geográfico, através da utilização de elementos georreferenciados em coordenadas geográficas.

Antenucci et al. (1991) define o SIG como um sistema de hardware e software planejado para capturar, gerenciar, manipular, analisar e apresentar dados espacialmente referenciados, para solucionar problemas complexos de planejamento.

Para Dias (1993), os SIG's são ferramentas da computação para o geoprocessamento, nas quais a integração de dados de fontes diferentes e a criação bancos de dados georreferenciados permitem a realização de análises mais complexas.

O termo SIG é aplicado para sistemas que trabalhem com dados geográficos em ambiente computacional, podendo esse sistema ser empregado como ferramenta para produção de mapas, suporte para análise espacial de fenômenos; ou ainda, como um banco de dados geográficos cujas funções primordiais incluem de armazenar e recuperar informações espaciais. Um aspecto essencial dos dados tratados em ambiente SIG é o fato de que um dado geográfico possui uma localização geográfica e atributos descritivos. Um SIG tem os seguintes componentes: interface, entrada e registro de dados, funções processuais, visualização/plotagem e armazenamento de dados (CÂMARA, 1995).

Medeiros e Câmara (2003) demonstram haver ao menos quatro campos de atuação do SIG referentes a Estudos Ambientais:

- a) Mapeamento Temático: promove a caracterização e compreensão da organização espacial, com a finalidade de instituir bases de ações e futuros estudos, como levantamentos temáticos de geologia, pedologia e cobertura vegetal;
- b) Diagnóstico Ambiental: estabelece estudos sobre regiões de interesse, geralmente voltados para projetos de preservação ou ocupação;

- c) Avaliação de Impacto Ambiental: monitora as consequências da influência antrópica em uma determinada região;
- d) Ordenamento Territorial: através do conceito de desenvolvimento sustentado, busca legalizar a ocupação humana do espaço de maneira racional.

De forma mais abrangente e generalizada, Bastos (1996) menciona ainda os cinco principais segmentos de atuação do SIG:

- a) Ocupação humana: planejamento urbano, saúde e educação, transporte, segurança;
- b) Uso da terra: planejamento agropecuário, classificação de solos e vegetação, gerenciamento de bacias hidrográficas, planejamento de barragens, mapeamento do uso do terreno;
- c) Uso de recursos naturais: gerenciamento dos recursos hídricos, gerenciamento costeiro;
- d) Meio ambiente: controle de queimadas, gerenciamento de reflorestamento, monitoramento de extrativismo ilegal;
- e) Atividades econômicas: distribuição de produtos e serviços; transporte de matéria-prima e insumos.

3 ÁREA DE ESTUDO

As características pedológica, geológica e de vegetação da área de estudo foram retiradas do Projeto Gerenciamento Costeiro, do IBGE (2003). Neste trabalho, os mapas básicos foram levantados em escala 1:100.000, em coordenadas UTM (*Universal Transverse Mercator*), datum SAD69 e fuso 22S.

3.1 Localização

A área de estudo desta pesquisa é a bacia hidrográfica do Rio Cunha, localizada na zona rural da cidade de Rio dos Cedros - SC, situada entre as coordenadas geográficas 49°17'W a 49°21'W de longitude e 26°41'S a 26°44'S de latitude, apresentando uma área de aproximadamente 16,2km².

A bacia do Rio Cunha é uma das sub-bacias componentes da bacia do Rio dos Cedros, como pode ser visto na Figura 4.

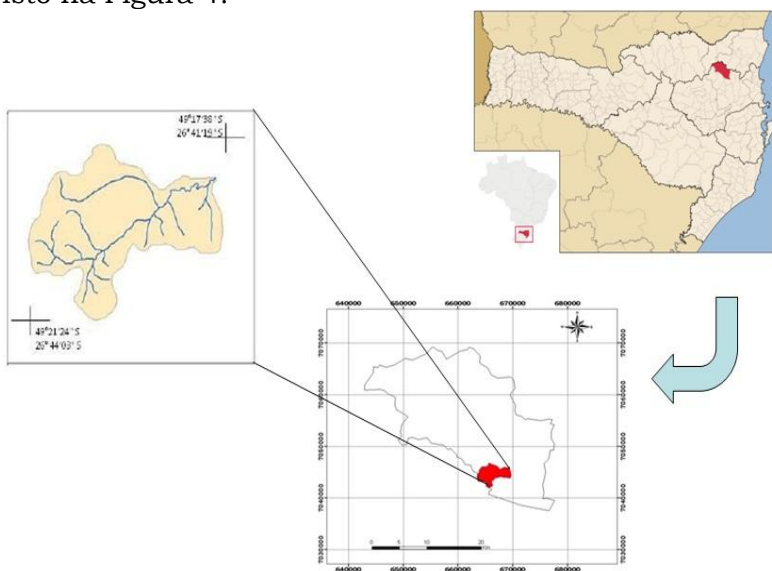


Figura 4 – Localização da Bacia do Rio Cunha

A razão pela escolha dessa bacia como área de estudo é devida à ocorrência de deslizamentos de terra deflagrados na região, após as chuvas intensas de novembro de 2008, caracterizando-a como uma região suscetível a desastres ambientais.

3.2 Características da Bacia do Rio Cunha

3.2.1 Pedologia

Os dados pedológicos para a área de estudo podem ser observados na Figura 5, onde se pode perceber a presença de oito unidades pedológicas na Bacia do Rio Cunha. A área de abrangência de cada unidade é mostrada na Tabela 4 e a descrição dessas unidades na Tabela 5. As unidades pedológicas da Bacia são ainda divididas em três grandes classes: Podzólico Vermelho Amarelo Latossólico álico, Cambissolo Álico e Cambissolo Distrófico. Na bacia do Rio Cunha há a predominância de Cambissolo Distrófico, que representa 65% da área total da Bacia.

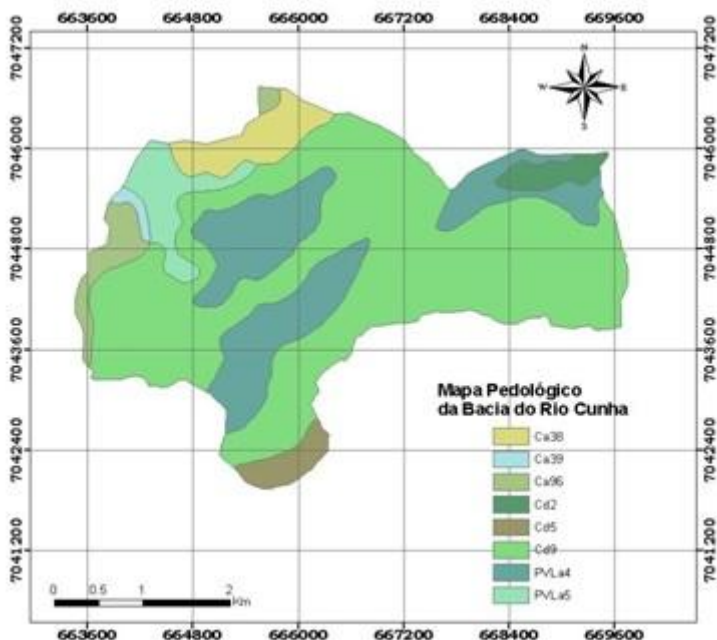


Figura 5 – Mapa Pedológico da Bacia do Rio Cunha

Os Podzólicos são solos típicos de regiões de clima úmido, com perfis desenvolvidos e profundidade entre 1,5 a 2 metros, moderadamente ou bem intemperizados. Este tipo de solo apresenta um horizonte “B” com abundante quantidade de argila, o que lhe confere coloração vermelho-amarelada. Os solos Podzólico Vermelho-Amarelo Latossólico álico é constituída por solos minerais, não hidromórficos com horizonte B textural e diferencia-se dos Podzólicos Vermelho-Amarelos típicos por serem mais profundos, com menor grau de distinção dos horizontes e normalmente menor gradiente textural. Apresentam os horizontes A, B e C com horizonte A com textura argilosa e muito argilosa. O horizonte B, que apresenta cores bruno-forte ou vermelho-amarelada, possui textura argilosa ou muito argilosa e a estrutura em blocos subangulares pequena a média e fraca a moderada. Caracterizam-se por possuírem baixa fertilidade natural, uma vez que os

valores da capacidade de troca de cátions e da soma e saturação em bases são baixos. Apresentam relação silte/argila normalmente baixa e a argila com alto grau de flocculação.

Tabela 4 – Área e abrangência das unidades pedológicas

Unidades Pedológicas	Área (km²)	Abrangência (%)	Abrangência Classe (%)
Ca38	0,81	5	9
Ca39	0,16	1	
Ca96	0,49	3	
Cd2	0,32	2	65
Cd5	0,32	2	
Cd9	9,88	61	
PVLa4	3,40	21	26
PVLa5	0,81	5	

Tabela 5 – Descrição das unidades pedológicas (IBGE, 2003)

UP	Descrição
Ca38	Cambissolo álico Ta e Tb A proeminente e moderado textura argilosa e média + Podzólico Vermelho-Amarelo álico Ta e Tb A proeminente e moderado textura média/argilosa e argilosa/muito argilosa relevo ondulado e forte ondulado
Ca39	Cambissolo álico Ta e Tb A proeminente e moderado textura argilosa e média + Podzólico Vermelho-Amarelo álico Ta e Tb A proeminente e moderado textura média/argilosa e argilosa/muito argilosa relevo forte ondulado e ondulado
Ca96	Cambissolo álico Ta e Tb A moderado e proeminente textura argilosa e média + Podzólico Vermelho-Amarelo álico Ta e Tb A moderado e proeminente textura média/argilosa e argilosa/muito argilosa + Solos Litólicos álicos A moderado e proeminente textura média relevo montanhoso.
Cd2	Cambissolo distrófico e álico Tb A moderado textura argilosa e siltosa relevo plano e suave ondulado
Cd5	Cambissolo distrófico e eutrófico Tb A moderado e proeminente textura argilosa e muito argilosa + Podzólico Vermelho-Amarelo álico e distrófico Tb A moderado textura média/argilosa relevo forte ondulado e ondulado
Cd9	Cambissolo distrófico e eutrófico Tb A moderado e proeminente textura argilosa e muito argilosa + Podzólico Vermelho-Amarelo álico e distrófico Tb A moderado textura média/argilosa + Solos Litólicos eutróficos e distróficos A moderado textura média relevo montanhoso e forte ondulado
PVL4	Podzólico Vermelho-Amarelo Latossólico álico A moderado textura argilosa e muito argilosa + Cambissolo álico Tb A moderado textura argilosa e muito argilosa relevo forte ondulado
PVL5	Podzólico Vermelho-Amarelo Latossólico álico A moderado textura argilosa e muito argilosa + Podzólico Vermelho-Amarelo álico Tb A moderado textura média/argilosa e argilosa/muito argilosa + Cambissolo álico Tb A moderado textura muito argilosa e argilosa relevo forte ondulado e ondulado

A classe dos Cambissolos compreende solos compostos por material mineral, com horizonte B subjacente a qualquer horizonte superficial, com sequência de horizontes A, Bi, C, com ou sem R. O horizonte A pode ser do tipo moderado, proeminente ou húmico, não muito espesso, podendo inclusive estar ausente em áreas de declives acentuados devido à erosão. A textura varia de franco-arenosa a muito argilosa, e os teores de silte costumam ser elevados. Os Cambissolos originados do Complexo Luís Alves são caracterizados por saturação de bases variável, normalmente argila de atividade baixa e textura argilosa e muito argilosa.

3.2.2 Geologia e Geomorfologia

Na Bacia do Rio Cunha são encontradas três unidades geológicas, pertencentes a três domínios geológicos distintos: o Complexo Luís Alves (Ala), a Formação Mafra (CPm) e Sedimentos Aluvionares (QHa).

A Tabela 6 exhibe a área de abrangência de cada unidade geológica e a Figura 6 exhibe o mapa geológico da bacia.

Tabela 6 – Área e abrangência das unidades geológicas

Unidades Geológicas	Área (km²)	Abrangência (%)
Ala	14,42	89
CPm	1,46	9
QHa	0,32	2

Quanto à geomorfologia, observa-se que o domínio morfoestrutural Serras Cristalinas Litorâneas (E) corresponde à formação geológica Complexo Luís Alves, e podeo ser encontrada como montanhas (Dm) ou morrarias (Do). Já o domínio Planícies Aluviais, correspondente a formação Depósitos Sedimentares Quaternários, são identificados como terraço fluvial (Atf).

3.2.2.1 Complexo Luís Alves (Ala)

A composição litológica desse complexo na área de estudo remete aos gnaisses granulíticos, cuja composição

dominante é básica, subsidiariamente intermediária ou ácida (gnaisse charnoenderbíticos). Apresentam estrutura foliada ou bandada e coloração em geral cinza esverdeada.

3.2.2.2 Formação Mafra (CPm)

Constituída predominantemente por arenitos finos, a Formação Mafra possui granulometria variada com arenitos médios a grosseiros. Depositou-se em condições ambientais marinhas e continentais, além de possivelmente ter sofrido influência glacial.

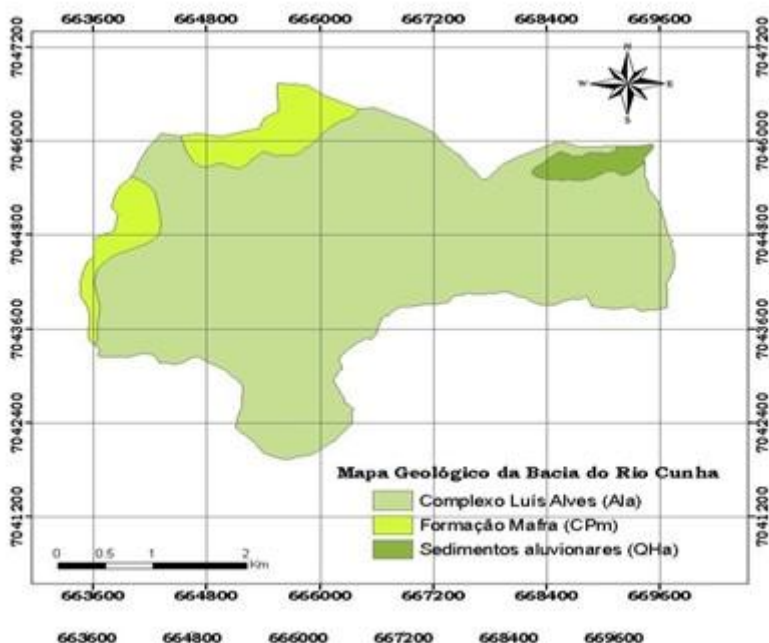


Figura 6 – Mapa Geológico da Bacia do Rio Cunha

3.2.2.3 Sedimentos Aluvionares

São sedimentos fluviais que habitualmente formam extensas planícies. Apresentando depósitos destacados, morfologia plana e vegetação característica, são formados por argilas, areias, cascalho e materiais siltico-argilosos.

Os sedimentos mais grosseiros são encontrados preferencialmente nas regiões próximas a nascentes, e os mais finos nas planícies de inundação.

3.2.3 Clima

Fraga (2009) classificou o clima da região como sendo do tipo *Cfb*, ou seja, temperado úmido com verão temperado. De acordo com o mesmo autor, o município de Rio dos Cedros apresenta a temperatura média anual de 22°C e precipitação média anual de 1800mm.

4 METODOLOGIA

A metodologia proposta nesse trabalho tem início através da delimitação da bacia hidrográfica do Rio Cunha. Após, segue descrito como foram selecionados os pontos de coleta de amostras deformadas e indeformadas, bem como a execução em laboratório os ensaios de caracterização do solo, cuja finalidade é a determinação das propriedades físicas fundamentais e dos seus parâmetros de estabilidade. Finalmente, através do método da Regressão Linear, foram elaboradas as funções de correlação destas propriedades previamente caracterizadas para a geração dos respectivos resultados e posterior análise.

Inicialmente, para uma melhor compreensão da metodologia utilizada, a Figura 7 apresenta um fluxograma que identifica as etapas básicas do processo.

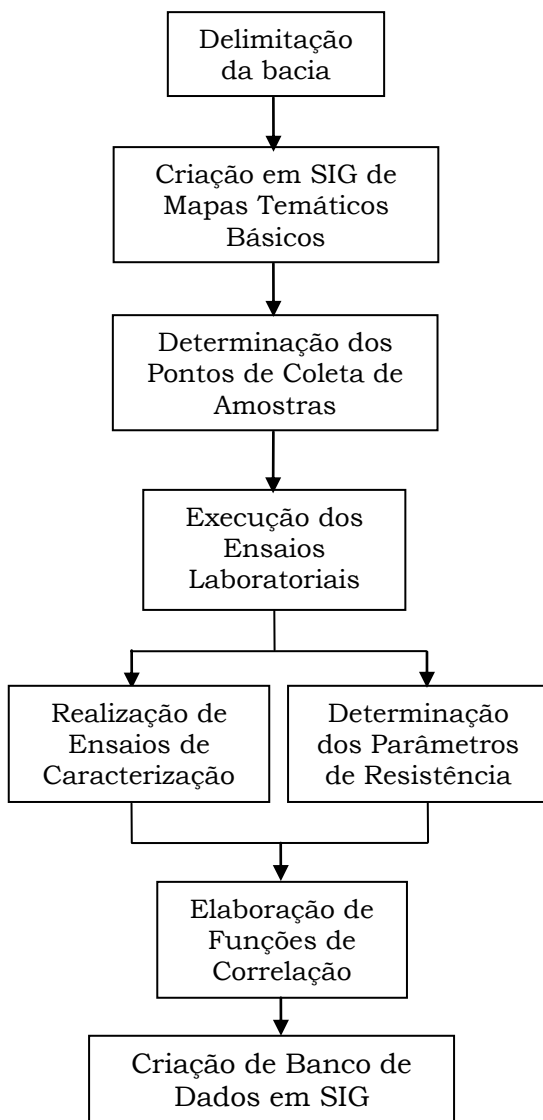


Figura 7 – Fluxograma da metodologia do trabalho

4.1 Delimitação da Bacia

A delimitação da bacia hidrográfica do Rio Cunha (Figura 8) foi realizada com o uso do software *ArcGis 9.2*, a partir de cartas topográficas, em meio digital, disponibilizadas pelo IBGE e em escala 1:50.000.

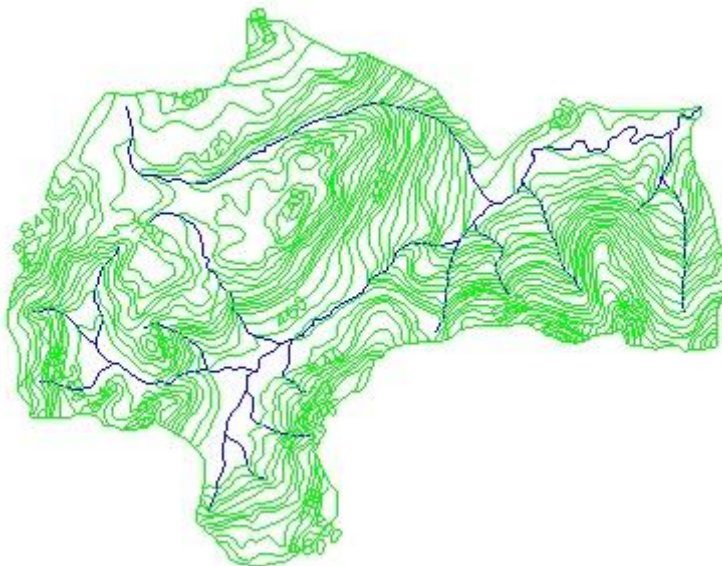


Figura 8 – Delimitação da Bacia Hidrográfica do Rio Cunha

Com a utilização do software *AutoCad Map 2000*, foi calculada a área da bacia, correspondente a 16,14km², assim como o comprimento do rio principal de 7,92km e o perímetro total de 20,69km.

4.2 Criação em SIG de Mapas Temáticos Básicos

4.2.1 Análise através de mapas existentes e criação de um mapa geotécnico preliminar

Não somente os dados obtidos através de saídas de campo ou análises laboratoriais são essenciais para o desenvolvimento de um mapeamento geotécnico, revelam-se também de grande valia o levantamento e a análise dos mapas preexistentes, como o geológico e o pedológico.

Davison Dias desenvolveu pesquisas que resultaram na criação de uma metodologia de mapeamento geotécnico, denominada Mapeamento Geotécnico de Grandes Áreas, desenvolvida especificamente para ser utilizada em solos tropicais (DAVISON DIAS, 1995).

A metodologia utiliza-se sumariamente de mapas pedológicos, geológicos e de curvas de nível para a criação do mapa geotécnico preliminar, sendo que tal processo exige a conversão prévia do mapa geológico para mapa litológico em ambiente SIG. Destaca-se que a elaboração do mapa geotécnico preliminar deve ser realizada a partir dos mapas de melhores escalas levantados na etapa anterior.

Para a criação deste mapa neste trabalho, foram utilizados os mapas e as informações do levantamento GERCO (Projeto Gerenciamento Costeiro), realizado pelo IBGE (2003) em escala de 1:100000. O mapa de estimativas de unidades geotécnicas é criado sobrepondo-se os mapas citados. Outras fontes de dados podem ser consultadas como, por exemplo, o site do CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais), que disponibiliza as atribuições do Serviço Geológico do Brasil. Salienta-se que, nesta pesquisa, foram empregados os dados do IBGE (2003) por apresentarem uma melhor escala de trabalho.

4.3 Determinação dos Pontos de Coleta de Amostras Deformadas e Indeformadas do Solo

Foram coletadas amostras de solos deformadas e indeformadas na bacia em áreas onde houve deslizamento de terra na tragédia de 2008, consideradas desde então áreas propensas a deslizamento. Estes locais foram previamente definidos através de interpretação de ortofotos em resolução espacial de 1m datadas do ano de 2010.

Tais coletas foram concretizadas com o intuito de realizar os ensaios de caracterização do solo, determinando suas propriedades físicas fundamentais (amostras deformadas) e seus parâmetros de resistência (amostras indeformadas). Ressalta-se que esses ensaios foram realizados de maneira conjunta com a mestrandia Gisele

Marilha Pereira Reginatto, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, e que os resultados dos mesmos também estão sendo utilizados em seu trabalho de dissertação.

Os locais de coleta destas amostras foram definidos por meio da sobreposição do mapa de unidades geotécnicas com o mapa de cicatrizes dos deslizamentos (Figura 9), sendo estes georreferenciados por meio de um GPS (Sistema de Posicionamento Global).



Figura 9 – Localização dos pontos de coleta

A Tabela 7 traz as coordenadas geográficas UTM para os pontos de coleta na bacia, assim como as profundidades em que se colheram as amostras.

Tabela 7 – Coordenadas UTM e profundidade dos pontos de

coleta

Ponto de Coleta	Coordenada X	Coordenada Y	Profundidade (m)
PRC1	666739	7045486	1,65
PRC2	666740	7045526	2,00
PRC3	666683	7045532	1,70
PRC4	666673	7045521	1,50
PRC5	666723	7045535	1,10
PRC1_F	667130	7045374	6,00
PRC2_F	667103	7045357	6,50
PRC3_F	667095	7045372	2,50
PRC4_F	667081	7045408	3,60
PRC1_C	668253	7044480	2,50

4.4 Caracterização do Solo

A caracterização do solo para a determinação de suas propriedades físicas foi realizada nas amostras deformadas e compreende os seguintes ensaios de laboratório:

4.4.1 Análise granulométrica (NBR 7181/1984)

Para a concretização do ensaio, primeiramente preparou-se a amostra de acordo com NBR 6457. A amostra deve ser seca ao ar livre e para encontrar sua umidade higroscópica, extrai-se uma pequena porção da mesma. Pesou-se essa porção extraída para deixá-la secando em estufa a 110°C até constância de massa, para posteriormente pesá-la novamente e, por diferença de massa, determinar a porção de água da amostra original, como mostrado na seguinte fórmula:

$$Ma = Mu - Ms$$

Onde: Ma representa a massa de água [g], Mu representa a massa do solo úmido [g] e Ms representa a massa do solo após secagem em estufa [g].

Calcula-se a umidade higroscópica através da seguinte fórmula:

$$w = 100 \cdot \frac{Ma}{Ms}$$

Onde: w [%] representa o teor de umidade.

4.4.1.1 Peneiramento

Destorrou-se uma quantidade suficiente de solo para homogeneizar a amostra, evitando a quebra de grãos. Conforme a NBR 7181, é necessário: passar a amostra na peneira com malha de 2,0mm, lavar o material retido nessa mesma peneira para a eliminação das frações finas aderentes ao solo, secar o material retido em estufa a 110°C até constância de massa, e finalmente, utilizar este material para o peneiramento grosso.

No peneiramento grosso, pesou-se o material retido na peneira 2,0mm, colocou-se o mesmo nas peneiras 50, 38, 25, 19, 9,5 e 4,8mm, obrigatoriamente nessa ordem, para vibrá-las e pesar a quantidade de massa retida em casa uma delas.

No peneiramento fino, coletou-se quantidade suficiente de material passante na peneira 2,0mm e lavou-se esse solo na peneira 0,075mm. O material retido nesta peneira foi seco em estufa (110°C) até constância de massa, pesado em balança e passado pelas peneiras de 1,2, 0,6, 0,42, 0,25, 0,15 e 0,075mm nessa ordem, vibrando-as e anotando os valores de massa retidos em casa uma delas.

4.4.1.2 Sedimentação

Para a sedimentação, tomou-se aproximadamente 120g de material passado na peneira 2,0mm. Depositou-se esse conteúdo em um béquer de 250cm³, adicionando 125ml de substância defloculante. Agitou-se o béquer para homogeneizar o conteúdo, deixando-o descansar pelo período mínimo de 12 horas.

Com a ajuda de uma pissete contendo água destilada, despejou-se esse material num copo de dispersão, e promoveu-se a dispersão do conteúdo no aparelho dispersor por aproximadamente 15 minutos. O material foi então colocado em uma proveta, completando-se essa com água destilada até atingir 1000cm³. Agitou-se a proveta por 1 minuto, e imediatamente após esse processo, colocou-se a mesma em uma mesa para iniciar o processo da sedimentação. Com a ajuda de um

densímetro, fez-se a leitura da sedimentação dos grãos finos nos tempos 1, 2, 4, 8, 15, 30 minutos, 1, 2, 4, 8 e 24 horas. Para que o densímetro seja analisado com maior precisão é necessário que o mesmo fique em equilíbrio.

Após cada leitura, mediu-se a temperatura da solução empregando-se um termômetro.

4.4.2 Limites de Atterberg

4.4.2.1 Limite de Liquidez (NBR 6459/1984)

Para a determinação do Limite de Liquidez, coletou-se uma quantidade aproximada de 60 a 80 gramas de material passante na peneira 0,42mm. Nesse material, adicionou-se água destilada em pequenas quantidades, misturando e espatulando o conteúdo até a formação de uma pasta homogênea e consistente.

Após esta etapa, transferiu-se uma parte da amostra para a concha, moldando-a de modo que no centro a espessura não passasse da faixa de 10mm. O solo contido no aparelho deve ser dividido com o uso de um cinzel, a ser deslocado perpendicularmente à superfície da concha, resultando na abertura de uma ranhura em sua parte central.

Depois, praticou-se o golpeamento da concha contra a base do aparelho, deixando-a cair em queda livre, para anotar o número de golpes necessários até que as bordas inferiores da ranhura se juntassem ao longo de aproximadamente 13mm de comprimento

Finalmente, extraiu-se uma pequena quantidade de solo das bordas que se uniram para colocá-la em uma cápsula de alumínio e medir a sua umidade em estufa, conforme a NBR 6457. Repetiu-se a operação de golpeamento da concha de modo a obter ao menos mais cinco pontos de ensaio no intervalo entre 15 e 35 golpes.

Os resultados obtidos foram utilizados para a plotagem de um gráfico onde se pode achar o valor da umidade correspondente a 25 golpes. Esse teor de umidade é o Limite de Liquidez do solo.

4.4.2.2 Limite de Plasticidade (NBR 7180/1984)

Semelhantemente ao processo anterior, para o ensaio de Limite de Plasticidade, tomaram-se de 60 a 80 gramas de material passante na peneira 0,42mm. A esse material, adicionou-se água destilada e amassou-o até que ele formasse uma pasta consistente e homogênea.

Em seguida formou-se uma pequena esfera de solo, que foi posteriormente rolada sobre a placa de vidro com a pressão suficiente da palma da mão, de forma que o solo tomasse a forma de um cilindro.

Caso o solo se fragmente antes de alcançar o diâmetro de 3mm, ao mesmo deve-se adicionar água, homogeneizando-o durante pelo menos 3 minutos, para repetir a operação da esfera anteriormente descrita.

Ao se fragmentar o cilindro, com diâmetro de 3mm e comprimento aproximado de 10cm (verificado com gabarito de comparação), foram transferidas imediatamente as partes desse solo a um recipiente adequado, para determinação de sua umidade em estufa, conforme a NBR 6457.

4.4.3 Identificação Expedita MCT (Ensaio das Pastilhas)

Nesse ensaio, separou-se uma determinada quantidade de solo passante na peneira 0,42mm, de amostra seca ao ar livre. Adicionou-se água destilada nesse material até que ele formasse uma pasta de consistência adequada. Utilizou-se uma agulha padronizada para medir a penetração desse material, que deve ser de 1mm. Preencheram-se cinco anéis de metal ou PVC com o material obtido da mistura de solo e água, sobrepostos em uma placa de vidro. O preenchimento é realizado de maneira que não haja espaços vazios no anel, assim como seu nivelamento superficial deve ser feito com auxílio de uma espátula. Por fim, os anéis foram postos para secagem em estufa a 60°C durante o período mínimo 6 horas.



Figura 10 – Pastilhas após secagem em estufa

Após este período retiraram-se as amostras para análise (Figura 10), medindo-se a contração do diâmetro do solo em relação ao diâmetro interno do anel, resultando em um valor médio de contração diametral em milímetros. Estes anéis e respectivos solos foram colocados sobre um papel filtro, com o mesmo sobreposto em uma pedra porosa saturada.

Mediu-se o tempo necessário para que as superfícies das amostras ficassem totalmente úmidas. Depois este material repousa durante duas horas, para a posterior análise de supostas trincas, inchamentos ou abaulamentos. Mediram-se as penetrações no centro das pastilhas com o minipenetrômetro, com precauções para que este se mantivesse na posição vertical e atuasse somente com seu peso próprio quando posto em contato com a superfície do solo, como mostra a Figura 11.

Os dados analisados de contração da pastilha e penetração da agulha padrão são classificados conforme o gráfico para a determinação expedita MCT pelo método das pastilhas (NOGAMI e VILLIBOR, 1994 e 1996).



Figura 11 – Medição da penetração no centro das pastilhas

4.4.4 Determinação da Massa Específica dos grãos (NBR 6508/1984)

Determinou-se, nesse procedimento, a massa específica dos grãos de solos passantes na peneira de 4,8 mm, de acordo com a NBR 5734. Com a utilização do picnômetro, cumpriram-se ao mínimo dois ensaios para cada ponto de coleta.

Preparou-se uma amostra com aproximadamente 120g para cada um dos ensaios, de acordo com a NBR 6457, e retirou-se uma pequena quantidade deste solo para determinação do seu teor de umidade. O conteúdo foi colocado em um bécker com água destilada até a imersão completa do mesmo durante um período mínimo de 12 horas. Após esta etapa o conteúdo do bécker foi misturado no aparelho de dispersão por aproximadamente 15 minutos.

Posteriormente transferiu-se a amostra para um picnômetro, adicionando água até a metade do volume do mesmo, retirando-se o oxigênio presente no seu interior com a utilização de bomba de sucção e agitando-se até que as bolhas dissolvidas no conteúdo água mais solo fossem eliminadas.

Preencheu-se o picnômetro com água destilada até aproximadamente 1 dedo abaixo da abertura superior para novamente utilizar a bomba de sucção a vácuo e suprimir

as possíveis bolhas de ar formadas no ínterim do processo (Figura 12).



Figura 12 – Eliminação de bolhas de ar com o uso de bomba de sucção

Em seguida o picnômetro foi preenchido até a abertura, tampado e enxugado, para pesar o conjunto picnômetro, água e solo e medir sua temperatura.

Calculou-se a massa específica dos grãos do solo através da seguinte fórmula:

$$\delta = \delta_t \cdot \frac{100 \cdot M1/(100 + h)}{\left[100 \cdot \frac{M1}{100 + h}\right] + [M3 - M2]}$$

Onde: δ é a massa específica dos grãos de solo (g/cm^3); $M1$ é a massa do solo úmido (g); $M2$ é a massa do picnômetro, solo e água, na temperatura do ensaio (g); $M3$ é a massa do picnômetro preenchido de água, na temperatura do ensaio (g); h é a umidade inicial da amostra (%) e δT é massa específica da água, na temperatura do ensaio.

4.5 Determinação dos Parâmetros de Resistência do Solo

4.5.1 Ensaio de Cisalhamento Direto (ASTM D3080- 04)

A caracterização do solo para a determinação de seus parâmetros de resistência foi realizada em amostras indeformadas e remete, nesse trabalho, ao ensaio de cisalhamento direto. O ensaio não possui uma norma técnica traduzida para a Língua Portuguesa. Por esse motivo, adotou-se uma norma internacional, a ASTM D3080- 04.

No experimento, utilizou-se uma prensa de cisalhamento que operou a uma velocidade de deslocamento horizontal de 0,307mm min⁻¹ em amostras submetidas a tensões normais de 33 kPa, 78 kPa, 128 kPa sob condições inundadas. No total, foram coletadas 10 amostras, que mediam 20mm de altura por 101,6mm de largura.

A calibração do equipamento consistiu em: calibração do anel dinamométrico e nivelamento horizontal do braço de alavanca, onde são aplicadas as cargas verticais. O objetivo é evitar possíveis variações angulares, quando da aplicação das cargas, para que se possa manter a relação de uso da carga normal.

Após a determinação da tensão cisalhante máxima e da tensão normal aplicada, traçou-se a envoltória de resistência, obtendo-se dessa maneira o ângulo de atrito interno do solo e a coesão.

4.6 Criação de Funções de Correlação

Dentro do mapeamento geotécnico, as informações referentes às propriedades físicas e de resistência dos solos são de grande valia. A partir destas características, torna-se possível analisar e compreender o seu comportamento frente às solicitações de engenharia, sendo que o maior número de dados proporciona uma melhor interpretação do local. Em análises de estabilidade, é imprescindível determinar a coesão e o ângulo de atrito de um solo.

Sabe-se, no entanto, que alguns dos ensaios são de difícil execução, para não mencionar o tempo e o custo que eles acarretam. O cisalhamento direto, por exemplo, exige a coleta de amostras indeformadas, não raramente em locais de difícil acesso, tornando a sua execução, por vezes, dispendiosa e trabalhosa.

Sendo assim, elaboraram-se equações de correlação entre os valores obtidos em ensaios de granulometria, limites de Atterberg e os parâmetros c e ϕ obtidos através do ensaio de cisalhamento direto em condição inundada.

As funções de correlação foram geradas pelo método da regressão linear, conforme os procedimentos escritos em Snedecor & Cochran (1989).

4.7 Criação do Banco de Dados do Mapa Geotécnico Preliminar

Após a realização dos ensaios, foi criado no ArcGis 9.2 um banco de dados contendo todas as informações referentes aos parâmetros de caracterização obtidos. Dessa forma, cada local de coleta, representado por um ponto dentro do mapa geotécnico, conterá seus respectivos valores identificados através dos experimentos. Dentro do ambiente SIG, é possível acessar esses dados através da ferramenta *identify* do software mencionado. Trata-se de uma maneira prática e simplificada de visualização de dados que compõe a caracterização da unidade geotécnica que os abrange.

5 RESULTADOS

Este capítulo encontra-se dividido em duas partes. Na primeira parte são proporcionados os resultados do mapeamento da área de estudo, composto pelo mapa litológico, mapa geotécnico preliminar e mapa geotécnico preliminar após a inserção do banco de dados. Na segunda parte, são apresentados os valores numéricos obtidos nos ensaios laboratoriais para caracterização dos solos estudados e a correlação descoberta para os mesmos.

5.1 Criação das Unidades Geotécnicas

5.1.1 Mapa litológico

O mapa litológico, que pode ser visto na Figura 13, apresenta as rochas predominantes originárias de cada unidade geológica. A Tabela 8 demonstra a área de abrangência de cada unidade litológica gerada. Como o mapa litológico foi gerado diretamente a partir do mapa geológico, pode-se perceber a direta relação entre as unidades geológicas e litológicas em termos de localização e áreas de abrangência.

Tabela 8 – Área e abrangência das unidades litológicas

Unidade Litológica	Área (km²)	Abrangência (%)
Arenito	1,46	9
Gnaiss granulítico	14,42	89
Sedimentos quaternários	0,32	2

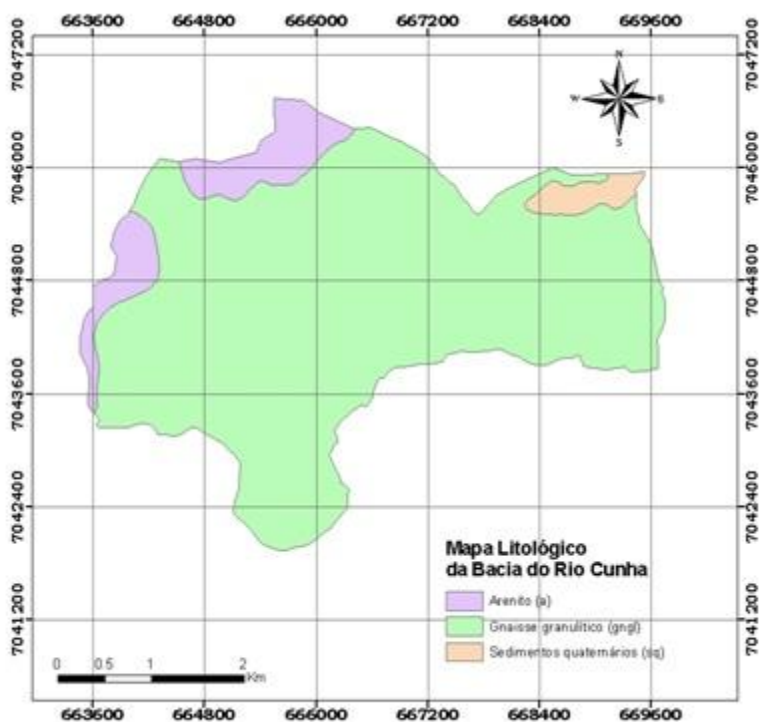


Figura 13 – Mapa Litológico da Bacia do Rio Cunha

5.1.2 Mapa geotécnico preliminar

Através da sobreposição do mapa pedológico e do mapa litológico, elaborou-se em ambiente SIG o mapa geotécnico preliminar, ilustrado na Figura 14.

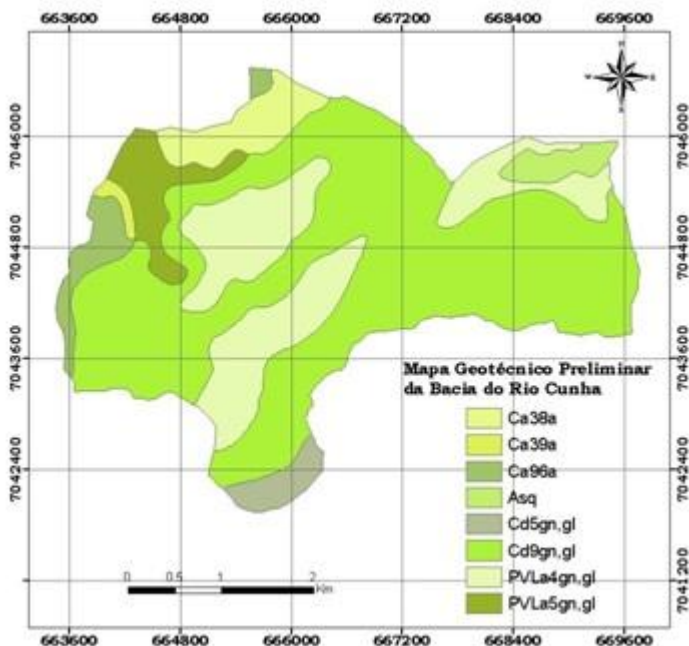


Figura 14 – Mapa Geotécnico Preliminar

Foram geradas 8 unidades geotécnicas, sendo que uma delas (Cd2sq), foi modificada para a Asq. Essa mudança foi necessária porque os sedimentos quaternários normalmente não geram cambissolo, sendo que esse erro foi provavelmente resultante da falta de compatibilidade entre os levantamentos que originaram os mapas pedológico e o geológico. A Figura 33 ilustra o mapa geotécnico preliminar corrigido, considerado nesse estudo o válido para a bacia.

As unidades geotécnicas geradas e suas respectivas áreas de abrangência são mostradas na Tabela 9.

Tabela 9 – Área e abrangência das unidades geotécnicas

Unidade Geotécnica	Área (km²)	Abrangência (%)
Ca38a	0,82	5,1
Ca39a	0,10	0,6
Ca96a	0,55	3,4

Asq	0,35	2,2
Cd5gn,gl	0,38	2,3
Cd9gn,gl	9,78	60,6
PVLa4gn,gl	3,36	20,8
PVLa5gn,gl	0,79	4,9

Na presente pesquisa, as amostras de solo foram coletadas em locais onde ocorreram deslizamentos, sendo que todos esses estão localizados na unidade geotécnica de maior abrangência da bacia, ou seja, Cd9gn,gl.

5.1.3 Mapa geotécnico preliminar com banco de dados

Como pode ser visto na Figura 15, o mapa geotécnico preliminar está vinculado a um banco de dados que contém informações referentes a geologia, pedologia, litologia e a área total das oito unidades geotécnicas, e ainda todas as informações identificadas referentes aos parâmetros físicos e de estabilidade do solo, para a unidade geotécnica Cd9gn,gl, que como já mencionado anteriormente, foi onde ocorreram os deslizamentos.

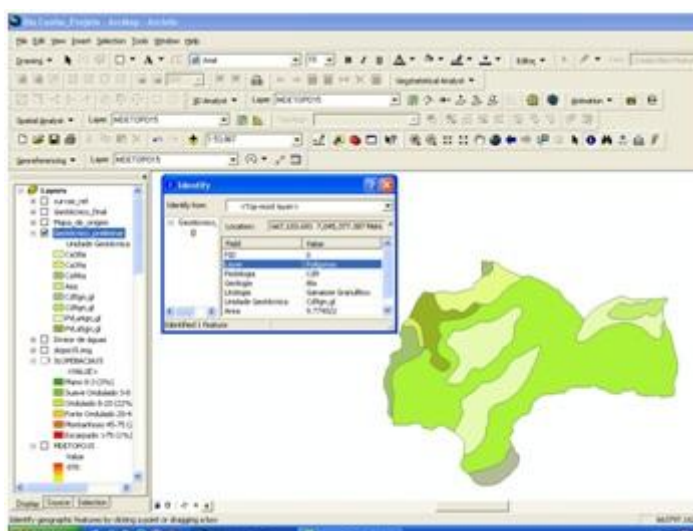


Figura 15 – Mapa geotécnico preliminar conectado ao banco de dados

5.2 Resultados dos Ensaios Laboratoriais

A caracterização física das amostras de solo coletadas nos vários pontos de estudo foi realizada no laboratório de Mecânica dos Solos da Universidade Federal de Santa Catarina. Os ensaios foram cumpridos de acordo com as normas técnicas brasileiras vigentes, dispostas pela ABNT. O único experimento desempenhado de acordo com uma norma internacional foi o ensaio do cisalhamento direto, visto que não há uma norma técnica brasileira para esse propósito.

5.2.1 Granulometria e Limites de Atterberg

De acordo com a Tabela 10, podem-se observar alguns dados importantes referentes à granulometria.

A argila foi a fração granulométrica que mais variou nas dez amostras de solo analisadas, atingindo valor mínimo na amostra PRC2 e atingindo valor máximo na PRC4_F.

Todos os solos possuem fração grossa, uma vez que tiveram parte do material retido na peneira 2,0mm ou superior, porém as maiores porcentagens referem-se às frações finas (argila, silte a areia fina).

As porcentagens de pedregulho foram, não surpreendentemente, as menores. O valor máximo foi

Tabela 10 – Dados granulométricos (%)

Amostras coletadas	Argila	Silte	Areia			Pedreg
			Fina	Média	Grossa	
PRC1	39,73	26,78	12,25	13,11	6,68	1,45
PRC2	0,45	23,51	26,44	26,57	18,84	4,19
PRC3	0,86	39,71	25,78	18,33	12,60	2,72
PRC4	20,44	43,25	18,03	11,24	6,21	0,83
PRC5	31,20	31,58	17,00	14,60	5,07	0,55
PRC1_F	5,69	41,45	18,94	20,55	12,20	1,18
PRC2_F	4,59	31,78	17,35	19,22	21,11	5,96
PRC3_F	22,35	37,29	21,99	9,67	7,00	1,71
PRC4_F	42,00	24,13	8,20	11,93	10,24	3,50
PRC1_C	6,49	31,46	27,18	20,85	11,53	2,49

encontrado no solo PRC2_F.

O ponto PRC4 teve o maior índice de silte (43,25%), enquanto que os maiores índices de areia fina e média ficaram a cargo dos pontos PRC2 e areia grossa no ponto PRC2_F.

A Tabela 11 mostra os valores dos limites de Atterberg para as amostras coletadas.

Tabela 11 – Limites de Atterberg (%)

Amostras coletadas	LL	LP	IP	Plasticidade
PRC1	76	56	20	Alta
PRC2	NL	NP	-	Indeterminado
PRC3	46	NP	-	Indeterminado
PRC4	66	52	14	Média
PRC5	77	52	25	Alta
PRC1_F	42	29	13	Média
PRC2_F	40	38	2	Baixa
PRC3_F	68	41	27	Alta
PRC4_F	78	42	36	Alta
PRC1_C	49	49	0	Não plástico

Não foram encontrados valores de limite de liquidez (e consequentemente limite de plasticidade) para a amostra PRC2. Também não foi encontrado valor de plasticidade para a amostra PRC3.

Quanto ao índice de plasticidade, este se mostrou bastante variável, indo de 0% a até 36%. As amostras que tiveram um IP indeterminado foram justamente as que apresentaram um baixo teor de argila.

Uma única amostra mostrou-se não plástica enquanto que outra mostrou baixa plasticidade. As quatro amostras com alto índice de plasticidade foram as que apresentaram maior teor de argila, confirmando a natureza altamente coesiva do material.

5.2.2 Massa específica e classificação MCT

A Tabela 12 exibe a massa específica das amostras de solo coletadas, assim como a classificação das mesmas de acordo com a metodologia MCT. Pode-se perceber que a massa específica é um parâmetro que sofre pouca variação, resultando em um valor médio de $2,71\text{gcm}^{-3}$. A amostra de maior massa específica foi a amostra PRC2, justamente onde foi detectado o maior teor de areia. Esse fenômeno pode ser explicado pelo fato de as partículas de areia se arranjam de forma mais compacta, aumentando sua massa específica.

Tabela 12 – Massa específica (g/cm^3) e classificação MCT

Amostras coletadas	Massa específica	Classificação MCT
PRC1	2,72	LG'
PRC2	2,76	NA-NS'
PRC3	2,73	NS'/NA'
PRC4	2,72	NG'
PRC5	2,71	LG'
PRC1_F	2,68	NS'/NA'
PRC2_F	2,65	NS'-NG'
PRC3_F	2,66	LG'
PRC4_F	2,73	LG'
PRC1_C	2,69	NS'/NA'

Segundo a metodologia MCT, as amostras PRC1, PRC5, PRC3_F e PRC4_F são solos LG'. Esses solos são caracterizados por possuírem alto teor de argila, sendo que podem apresentar quantidade relativamente alta de fração areia. Solos desse grupo, se compactados de forma adequada, tornam-se consideravelmente resistentes à erosão hidráulica.

Enquanto três das amostras coletadas foram classificadas como NS'/NA', apenas uma delas, a PRC4, pertence ao grupo NG'. Solos pertencentes a esse grupo apresentam características de argilas tradicionais plásticas e expansivas quando compactados nas condições de umidade ótima. Esses solos prendem-se a certas restrições

por apresentarem elevada plasticidade, expansibilidade, compressibilidade e contração quando submetidos a secagem.

5.2.3 Cisalhamento Direto

Os dados referentes aos parâmetros de estabilidade das amostras são vistos na Tabela 13 a seguir.

Tabela 13 – Parâmetros de estabilidade

Amostras coletadas	C (kPa)	Φ (o)	Equação da Tensão Cisalhante (kPa)	R²
PRC1	15,22	29,10	$\tau = 0,5557\sigma_n + 15,218$	0,9987
PRC2	8,60	34,20	$\tau = 0,6788\sigma_n + 8,600$	0,9993
PRC3	4,75	30,30	$\tau = 0,5844\sigma_n + 4,748$	0,9993
PRC4	10,71	29,60	$\tau = 0,5679\sigma_n + 10,712$	0,9983
PRC5	14,02	33,40	$\tau = 0,6610\sigma_n + 14,022$	0,9940
PRC1_F	11,06	30,00	$\tau = 0,5767\sigma_n + 11,060$	0,9993
PRC2_F	12,25	27,20	$\tau = 0,5138\sigma_n + 12,247$	0,9903
PRC3_F	14,51	32,80	$\tau = 0,6460\sigma_n + 14,510$	0,9980
PRC4_F	17,65	31,70	$\tau = 0,6171\sigma_n + 17,649$	0,9973
PRC1_C	10,08	33,80	$\tau = 0,6691\sigma_n + 10,087$	0,9899

Por ser esta coesão aparente um dos componentes da resistência ao cisalhamento do solo e ocorrer com mais frequência em solos parcialmente saturados, propriedades físicas e químicas que promovam alterações na interação água-solo influem nos valores de c.

Os valores de c variaram de 4,75 a 17,65kPa e, de maneira geral, observou-se um aumento de coesão à medida que aumentava a porcentagem de argila nos solos. Para a areia, no entanto, o aumento da fração arenosa mostra-se inversamente proporcional ao aumento de c, exatamente como o esperado.

Já os valores de ϕ , que variaram de 27,20 a 34,20°, mostraram-se muito variáveis e independentes da forma com a qual as partículas de areia e argila estavam distribuídas por tamanho e áreas de contato, não verificando-se correlação entre o valor de ϕ e as outras características analisadas. No entanto, nota-se que a

amostra PRC2, que obteve o maior ângulo de atrito calculado, foi justamente a que apresentou menor teor de argila e maior massa específica.

5.2.4 Correlações entre granulometria e limites de Atterberg

Foram correlacionadas as frações granulométricas com os limites de Atterberg, cujo resultado pode ser visto nas Figuras 16 e 17 a seguir.

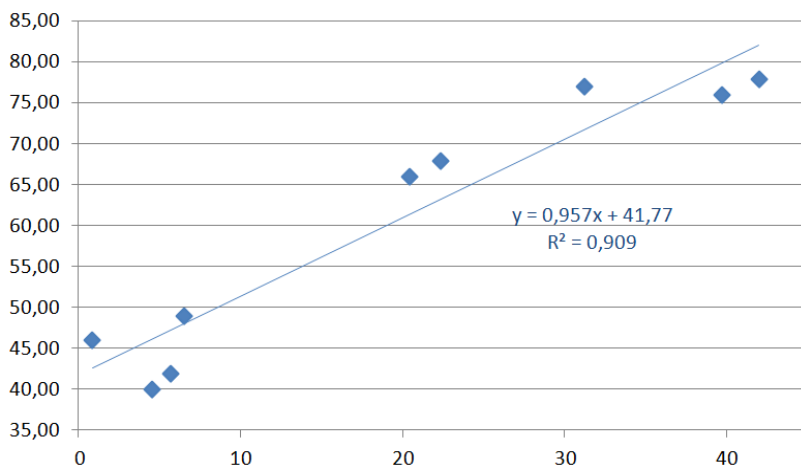


Figura 16 – Correlação entre a fração de argila e limite de liquidez

Através da Figura 20, nota-se claramente a influência da fração argila no aumento do limite de liquidez (LL), apresentando um coeficiente de determinação R^2 relativamente alto.

Nota-se também uma conexão entre o teor de areia e o limite de liquidez, atestada pela Figura 21. Porém nesse caso, devido à característica da areia de possuir grãos mais grossos, o aumento do teor da mesma confere em diminuição do limite de liquidez, confirmando que esses dois parâmetros são inversamente proporcionais.

Não foram encontradas correlações entre limite de liquidez e a fração silte.

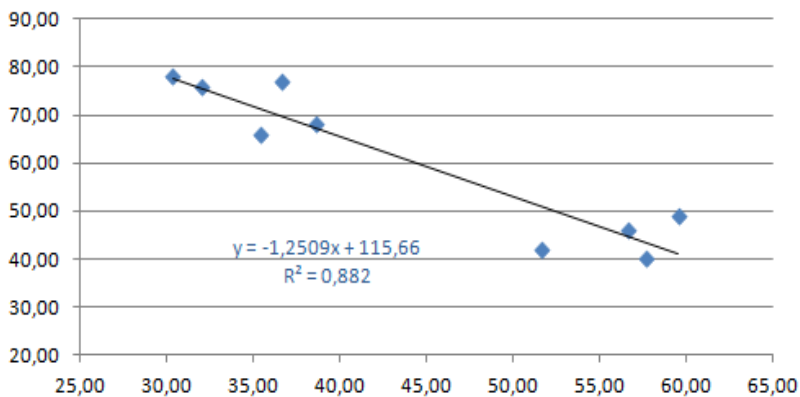


Figura 17 – Correlação entre a fração areia e limite de liquidez

Um comportamento semelhante é conferido caso os mesmos parâmetros de granulometria fossem correlacionados não mais com o limite de liquidez, mas sim com o índice de plasticidade.

As Figuras 18 e 19 exibem os gráficos relacionados a essas novas correlações encontradas.

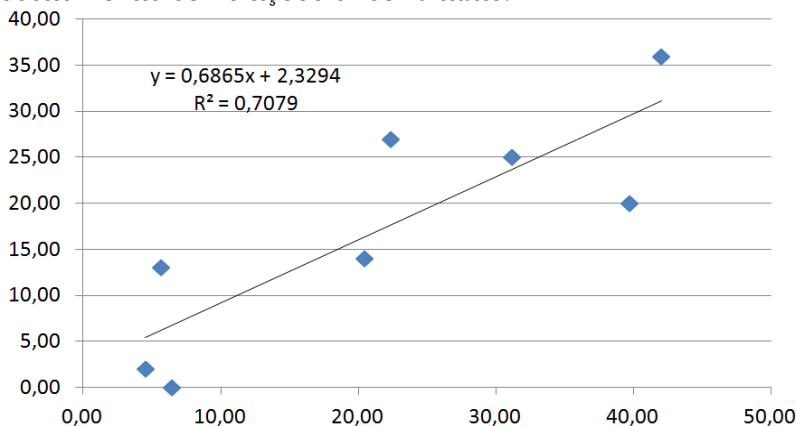


Figura 18 – Correlação entre a fração de argila e índice de plasticidade

Quando substituímos o limite de liquidez pelo índice de plasticidade, o R^2 tende a diminuir, embora seu valor ainda esteja perfeitamente dentro das condições de aceitação ($R^2 > 0,5$). Essa substituição faz com que a

melhor correlação encontrada passe a ser entre o teor de areia e o índice de plasticidade, mantendo-se a natureza inversamente proporcional desses dois parâmetros físicos.

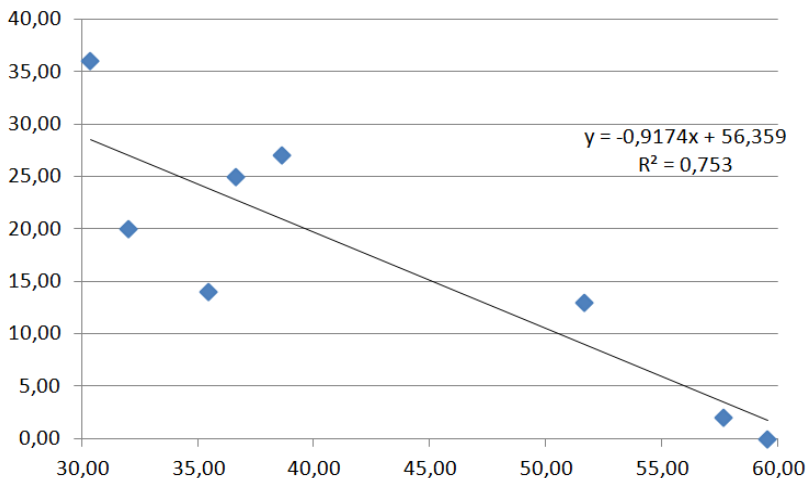


Figura 19 – Correlação entre a fração de areia e índice de plasticidade

5.2.5 Correlações entre granulometria e parâmetros de estabilidade do solo (cisalhamento)

Mais equações de correlação puderam ser encontradas ao se compararem valores da granulometria do solo com os parâmetros de estabilidade do solo, esses últimos definidos pelo ensaio de cisalhamento direto.

As Figuras 20 e 21 mostram que, dentre as quatro equações criadas, a correlação entre teor de argila e a coesão e a correlação entre o composto silte + areia e a coesão são consideradas muito satisfatórias, por apresentarem um R^2 bem acima de 0,5.

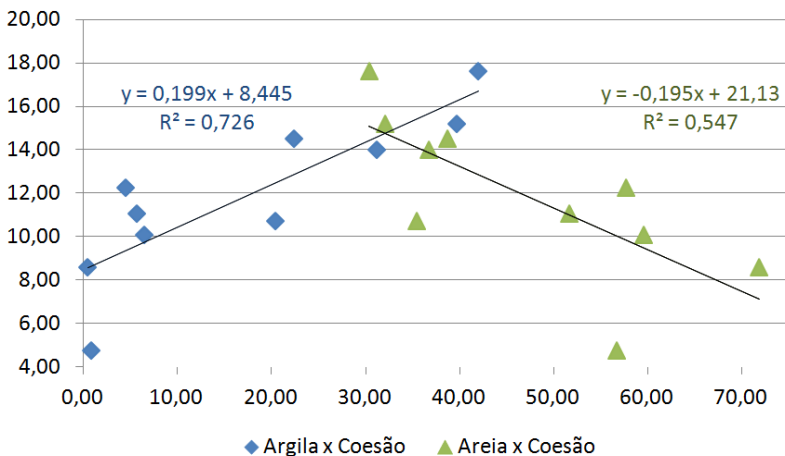


Figura 20 – Correlação entre argila e coesão e entre areia e coesão

Por outro lado, a equação criada para o composto argila + silte e coesão deve ser desconsiderada, por apresentar R^2 de apenas 0,494.

Nenhuma tentativa de correlação que envolvesse o ângulo de atrito ϕ ou a fração silte foi satisfeita.

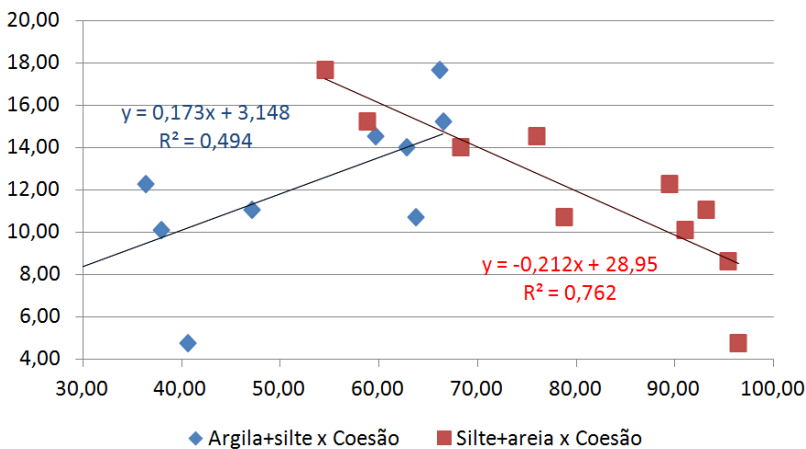


Figura 21 – Correlação entre argila + silte e coesão e entre silte + areia e coesão

5.2.6 Correlações entre limites de Atterberg e parâmetros de estabilidade do solo (cisalhamento)

As tentativas de buscar equações que conectassem esses parâmetros foram quase todas sem êxito. As únicas exceções, e mesmo assim uma delas deve ser vista com certa ressalva, foram a correlação encontrada para limite de liquidez e coesão e a encontrada para índice de plasticidade e coesão (Figura 22). Quanto maior a coesão, maiores os limite de liquidez e índice de plasticidade.

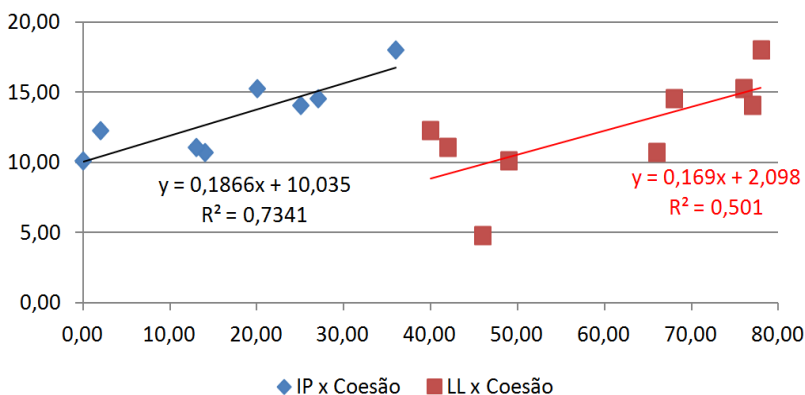


Figura 22 – Correlação entre o índice de plasticidade e coesão e entre limite de liquidez e coesão

Novamente, nenhuma tentativa de correlação que envolvesse o ângulo de atrito ϕ foi satisfeita.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 Conclusões

Neste item são apresentadas, em forma de tópicos, as conclusões referentes aos resultados obtidos com esta pesquisa. São elas:

- a) O mapeamento geotécnico é capaz de gerar inúmeras informações que podem ser aplicadas de forma a contribuir para a melhoria do ambiente e do planejamento de uso e ocupação do solo;
- b) Apesar de a área de estudo não ser relativamente grande, a metodologia adotada mostrou-se perfeitamente aplicável ao local em questão, pois trata-se de uma área constituída por solos tropicais, mais especificamente na região Sul do Brasil. Além do mais, a metodologia fez uso de dados pedológicos e geológicos, alguns dos quais anteriormente disponibilizados através do projeto GERCO;
- c) Mesmo ocorrendo na mesma unidade geotécnica, o solo pode apresentar comportamento distinto devido às diferentes elevações. Isso demonstra que o desenvolvimento dos mesmos ocorre de forma heterogênea e pode ser influenciado por fatores como relevo e topografia da região, vegetação, exposição e fragilidade frente a processos de intemperismo, origem e histórico de carregamento;
- d) O uso de um SIG revelou-se indispensável para a realização do mapeamento geotécnico preliminar, pois através dele tornou-se possível a execução de etapas, como o cruzamento e edição de mapas, criação do modelo digital do terreno e do mapa de declividades, assim como a estruturação de um banco de dados com os dados e informações referentes aos ensaios realizados;
- e) A argila foi a fração granulométrica que mais variou nos pontos de coleta analisados, atingindo valor mínimo de 0,45% a um valor máximo de 42%. A

fração fina constitui a maior parte da composição do solo em todas as amostras, correspondendo a pelo menos 50% nas amostras PRC2 e PRC2_F a até aproximadamente 80% nas amostras PRC4 e PRC3_F;

- f) Duas amostras tiveram índice de plasticidade indeterminado, fato ocasionado provavelmente pela baixa quantidade de argila nas mesmas, ao passo que, as amostras com índice de plasticidade mais alto apresentaram grandes frações de argila;
- g) Observou-se um aumento de coesão à medida que aumentava a presença de argila nos solos. No entanto, os valores do ângulo de atrito revelaram-se independentes da forma com a qual as partículas de areia e argila estavam distribuídas por tamanho e áreas de contato nas amostras de solo;
- h) Encontraram-se correlações satisfatórias para quase todas as relações que envolvessem a granulometria;
- i) Obteve-se sucesso em comparações que abrangessem a fração argila, incluindo argila vs limite de liquidez, argila vs índice de plasticidade e argila vs coesão. Na adição de silte à argila, a maioria dessas correlações se manteve, exceto na comparação com a coesão;
- j) Quanto à areia, afirmou-se a relação inversamente proporcional entre a fração areia e o índice de plasticidade, uma vez que a correlação encontrada é demonstrada por uma curva linearmente decrescente e com coeficiente de determinação satisfatório;
- k) As tentativas de se descobrirem equações que correlacionassem limites de Atterberg com os parâmetros de estabilidade foram em sua maioria sem sucesso. Apenas a correlação entre índice de plasticidade e coesão pode ser atendida com uma margem consideravelmente boa;
- l) Nenhuma tentativa de correlação que envolvesse o ângulo de atrito foi satisfeita.

6.2 Recomendações

- a) Continuar o processo de mapeamento geotécnico para além de sua etapa preliminar.
- b) Promover o acréscimo de informações na base de dados criada analisando-se um maior número de pontos e estendendo-se a análise e a caracterização geomecânica do solos para as outras unidades geotécnicas geradas.
- c) Desempenhar em campo sondagens SPT para verificar a resistência dos materiais inconsolidados no subsolo.
- d) Determinar os coeficientes de permeabilidade dos solos na área de estudo.
- e) Procurar correlações entre novas propriedades geomecânicas do solo.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, G.H.D.S.; ALMEIDA, J.R.D.; GUERRA, A.J.T. **Gestão Ambiental de Áreas Degradadas**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 320p. 2005.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM248**: Agregados – Determinação da Composição Granulométrica. RJ. 13p. 2003.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14545**: Solo: Determinação do Coeficiente de Permeabilidade de Solos Argilosos a Carga Variável. RJ. 12p. 2000.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457**: Amostras de Solo: Preparação para Ensaios de Compactação e Ensaios de Caracterização. RJ. 9p. 1986.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459**: Determinação do Limite de Liquidez: Método de Ensaio. RJ. 6p. 1984.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502**: Rochas e Solos. RJ. 18p. 1995.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6508**: Grãos de Solos que Passam na Peneira de 4,8mm: Determinação da Massa Específica dos Grãos. RJ. 8p. 1984.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180**: Solo: Determinação do Limite de Plasticidade. RJ. 3p. 1984.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: Solo: Análise Granulométrica. RJ. 1984. 13p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Solo – Ensaio de Adensamento Unidimensional: **MB-3336**. RJ, 1990.

ANTENUCCI, J. C.; BROWN, K.; CROSWEL, P. L.; KEVANY, M. J. **Geographic Information Systems: A Guide to the Technology**. New York: Chapman and Hall, 1991.

ASTM - STANDARD TEST METHOD. Standard Test Method for direct shear test of soils under consolidated drained conditions. **ASTM D3080**. 2004.

BARATA, F. E. **Propriedades Mecânicas dos Solos: uma introdução ao Projeto de Fundações**. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos, 1984. 152 p.

BASTOS, C. A. B.; ALVES, A. M. L. **Mapeamento Geotécnico da Planície Costeira Sul do Rio Grande do Sul**. 2º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA. São Carlos, SP, 1996, v.1. p. 19-28.

BOUMA J., VAN LANEN, J.A.J. **Transfer functions and threshold values: From soil characteristics to land qualities**. In: Beek K.J., Burrough P.A., McCormack D.E. (eds.): Proc. Int. Workshop Quality land evaluation. ISSS and SSSA, Washington, DC, ITC Publ. No. 6. Enschede, The Netherlands, 1987.

BOURROUGH, P. A. **Principles of Geographical Information System for Land Resources Assenssment**. New York : Oxford University Press, 1994.

CÂMARA, G.; FREITAS, U. M. **Perspectivas em SIG**. Fator GIS. 1995. v.3, n.10, p.31-34.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. **Conceitos básicos em ciência da geoinformação**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (<http://www.dpi.inpe.br>). Acesso em Setembro de 2011.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações: fundamentos**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos, 1967. 234 p.

COSTA, A. N.; ALVES, M. G. **Potencial de uso e ocupação urbana do solo no município de Campos dos Goytacazes-RJ utilizando mapeamento geológico-geotécnico e técnicas de geoprocessamento**. Revista Brasileira de Cartografia, v. 58, p. 175-184, 2006.

COZZOLINO, V. M. N., NOGAMI, J. S. **Classificação Geotécnica MCT para Solos Tropicais**. In: Solos e Rochas. São Paulo. p.77-91. 1993

DAS, B. M. **Fundamentos de engenharia geotécnica**. 6. ed. Sacramento: Cengage Learning, 2007. 556p.

DAVISON DIAS, R. **Aplicação de Pedologia e Geotecnia no Projeto de Fundações de Linhas de Transmissão**. Tese de Doutorado em

Engenharia – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, RJ, 1987, 309p.

DAVISON DIAS, R. **Proposta de Metodologia de Definição de Carta Geotécnica Básica em Regiões Tropicais e Subtropicais.** In: Revista do Instituto Geológico. São Paulo. p.51-55.1995.

DAVISON DIAS, R. **Proposta de uma Metodologia de Estudos Geotécnicos para Implantação de Rodovias, Estradas Rurais e Vicinais em Solos Brasileiros.** In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, Florianópolis, SC, 2001, Anais.

DIAS, C.R.R. **Caracterização dos Parâmetros Geotécnicos de Solo Sedimentar da Cidade de Rio Grande - Resultados de Pesquisa sobre Argilas Moles.** In: COPPEGEO'93 -SIMPÓSIO GEOTÉCNICO EM COMEMORAÇÃO DOS 30 ANOS DA COPPE, Rio de Janeiro, RJ, 1993, p. 55-68.

ESRI. User's Guide - ESRI. EUA: Redlands, 1996, v.2.

FRAGA, A.J. **Pesquisa Histórica e Geográfica - Rio dos Cedros e Atuação do Circolo Trentino de Rio dos Cedros.** 2ª Ed. 2009. Disponível em: <http://www.circolotrentino.com.br/site/downloads/arquivos/pesquisa_circolo.pdf>. Acesso em 27 de agosto de 2011.

FRANZOI, S. **Algumas Particularidades Resilientes de Solos Lateríticos e Saprolíticos.** Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo. 1990

GODOY, H., **Desenvolvimento de Procedimento Visual-Táctil para o Reconhecimento Geotécnico de Campo dos Solos das Bacias Hidrográficas do Aguapeí e Peixe no Estado de São Paulo.** Relatório Científico Final de Pós-Doutorado, Programa de Pós-Doutorado em Geoquímica e Geotectônica, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2000.

HIGASHI, R.R. **Utilização de um SIG no Desenvolvimento de um Banco de Dados Geotécnicos do Norte do Estado do Rio Grande do Sul.** 2002.143p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2002.

HIGASHI, R. R.; SPRICCIGO, T. **Análise Radial dos Solos da Zona Urbana do Município de Ipumirim: Previsão de Expansão Da Malha Viária Urbana.** In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO URBANA, Aracaju, SE, 2003.

HIGASHI, R.A.R.; MICHEL G.P. Uso do Shalstab na Análise espacial da estabilidade de encostas visando a implantação de vias – aplicação em sub-bacias do Rio Tubarão. In: **6º Seminário Nacional Modernas Técnicas Rodoviárias**. Anais. Florianópolis: ABMS, 1994. v.4. p.1245-1252. 2010.

HIGASHI, R.A.R. **Metodologia de uso e ocupação dos solos de cidades costeiras brasileiras através de SIG com base no comportamento geotécnico e ambiental**. Tese (Doutorado), Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis, 486p. 2006.

IBGE. **Projeto Gerenciamento Costeiro (GERCO)**. Florianópolis. 68p. 2002

KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D.A.; MARCELINO, I.P.V.O.; MARCELINO, E.V.; GONÇALVES, E.F.; BRAZETTI, L.L.P.; GOERL, R.F.; MOLLERI, G.; RUDORFF, F. **Prevenção de desastres naturais: Conceitos básicos**. Curitiba: Organic Trading, 109p. 2006.

KOBIYAMA, M.; REGINATTO, G.M.P.; MICHEL G.P. Contribuição da engenharia de sedimentos ao planejamento territorial com ênfase em redução de desastres hidrológicos. In: **IX Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos**, Brasília, 2010.

NETO, F. S. D. **Proposição de Metodologia para Escolha de Solo e Dosagem de Antipó como Emulsão de Xisto**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2004, 139p.

MAFRA JR, C. S. **Elaboração do Mapa Preliminar de Unidades Geotécnicas do Município de Brusque Associado a um Banco de Dados Geotécnico em Ambiente SIG**. 2007. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina – SC, 136p.

MEDEIROS, J.S. ; CÂMARA, G. GIS para estudos ambientais. In: CÂMARA, G. et al. **Introdução a Ciência da Geoinformação** (livro on-line). 2003.
<<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap10-aplicacoesambientais.pdf>>. Acesso setembro de 2011.

MIRANDA J. G. **Mapeamento geotécnico e estudo da susceptibilidade à erosão na Bacia do Ribeirão Ponte de Pedra (MT), Escala 1:100.000**. 2005. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos - EESC - USP, São Carlos – SP, 2005.

NOGAMI, J.S.; VILLIBOR, D.F. **Uma nova classificação de solos para finalidades rodoviárias.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SOLOS TROPICAIS, 1., 1981, Rio de Janeiro/RJ. Anais., Rio de Janeiro/RJ: COPPE/ABMS, 1981. p.30-40.

NOGAMI, J. S.; COZZOLINO, V; M. N. A **Identificação de Solos Tropicais: Dificuldades e Proposta de um Método Preliminar.** In: 20ª REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, Anais, Fortaleza, 1985, ABPv, p.117-134.

NOGAMI, J.S. E VILLIBOR, D.F. **Identificação Expedita dos Grupos da Classificação MCT para Solos Tropicais.** In: X COBRAMSEF, Foz do Iguaçu. Anais... São Paulo, ABMS, 1994, v.4, p.1293-1300.

NOGAMI, J. S. e VILLIBOR, D. F. **Pavimentação de Baixo Custo com Solos Lateríticos.** São Paulo, Editora Villibor, 1995, 213p.

NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. **Importância e Determinação do Grau de Laterização em Geologia de Engenharia.** In: 8º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, Anais, Rio de Janeiro, ABGE, 1996, v.1, p.345-358.

ORTIGÃO, J. A. R.: **Introdução à Mecânica dos Solos dos Estados Críticos.** LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora, Rio de Janeiro, RJ, 1995.

PINTO, C. S.: **Curso básico de mecânica dos solos em 16 aulas.** São Paulo: Oficina de Textos, 2000. 248 p.

SANTOS, E. F. **Estudo comparativo de diferentes sistemas de classificações geotécnicas aplicadas aos solos tropicais.** Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos. 2006.

SILVA, Edivane Cardoso et al. **Mapeamento geotécnico da folha córrego das Moças, no município de Uberlândia - MG..** Revista Eletrônica do Curso de Mestrado em Geografia, Uberlândia/.G. v. único. n. 1. 2000.

SNEDECOR, G.W. & COCHRAN, W.G. **Statistical methods.** 8.ed. Aimes : Iowa State University, 161p. 1989

UNESCO – IAEG. **Engineering Geological Maps. A Guide to Their Preparation.** Paris : The Unesc Press, 79p. 1976

VALENTE, A. L. F.; STRIEDER, A. J.; DAVISON DIAS, R.; KOPPE, J. C. **Estimativa das Unidades Geotécnicas de Porto Alegre (RS) por meio de Geoprocessamento.** In: III SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA, Florianópolis, SC, 1998, Meio digital.

VILLIBOR, D. F., NOGAMI, J. S., BELIGNI, M. & CINCERRE, J. R. **Pavimento com solos Lateríticos e gestão de manutenção de vias urbanas.** ABPv, São Paulo, SP, 138p. 2000

VIEIRA, L. S. **Manual da Ciência do Solo.** São Paulo: Agronomica Ceres, 1975.

ZUQUETTE, L. V.: **Análise Crítica da Cartografia Geotécnica e Proposta Metodológica para as Condições Brasileiras.** Tese de Doutorado em Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1987, 3v., 657p.