

Vinícius Martins Correia

**APLICAÇÃO DE UMA NOVA METODOLOGIA DE
MAPEAMENTO DE SUSCEPTIBILIDADE À MOVIMENTOS
GRAVITACIONAIS DE MASSA EM SANTO AMARO DA
IMPERATRIZ - SC**

Florianópolis

Vinícius Martins Correia

**APLICAÇÃO DE UMA NOVA METODOLOGIA DE MAPEAMENTO DE
SUSCEPTIBILIDADE À MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA EM
SANTO AMARO DA IMPERATRIZ - SC**

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Geologia do Departamento de Geologia do Centro de Filosofia e Ciências Humanas da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do Título de Bacharel em Geologia.
Orientador: Prof. Dr. Murilo da Silva Espíndola

Florianópolis

2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática da
Biblioteca Universitária da UFSC.

Correia, Vinícius Martins

Aplicação de uma nova metodologia de mapeamento de susceptibilidade à movimentos gravitacionais de massa em Santo Amaro da Imperatriz – SC / Vinícius Martins Correia; orientador, Murilo da Silva Espíndola , 2018.

112p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Graduação em Geologia, Florianópolis, 2018.

Inclui referências.

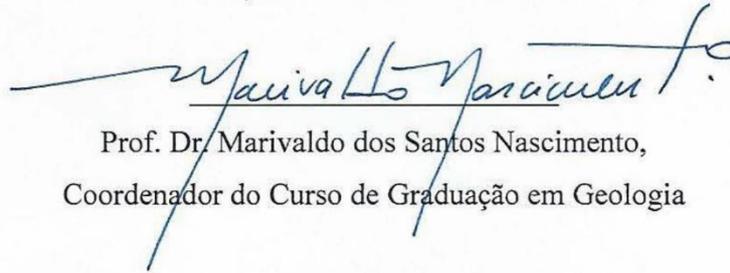
1. Geologia. 2 Mapeamento Geotécnico. 3. Estabilidade de Taludes. 4. Geotecnia. I. , Murilo da Silva Espíndola. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Geologia. III. Título.

Vinícius Martins Correia

**APLICAÇÃO DE UMA NOVA METODOLOGIA DE MAPEAMENTO DE
SUSCEPTIBILIDADE À MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA EM SANTO
AMARO DA IMPERATRIZ - SC**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel em Geologia” e aprovado em sua forma final pelo Coordenador do Curso de Graduação em Geologia.

Local, 22 de novembro de 2018.



Prof. Dr. Marivaldo dos Santos Nascimento,
Coordenador do Curso de Graduação em Geologia

Banca Examinadora:



Prof. Dr. Murilo da Silva Espíndola
Orientador

Universidade Federal de Santa Catarina



Dr. Augusto Paiva Filho
ENGGEOL Geologia de Engenharia SC/LTDA.



Me. Vitor Santini Müller
Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado aos meus amigos e a minha família.

AGRADECIMENTOS

Agradecer principalmente a Deus por ter me dado o dom da vida e me contemplado com a capacidade de aprender e compreender tudo que acontece ao meu redor.

Todo este trabalho é fruto de muita dedicação e de principalmente do suporte mais que essencial que sempre recebi da minha família, que nunca me deixou faltar nada e me ensinou desde sempre que os principais valores de uma pessoa são adquiridos em casa.

Minha mãe, Tereza, que me mostrou que por mais certo que eu possa pensar estar, sempre tenho que me por no lugar do outro e ver as coisas com outros olhos. Que o caminho correto pode ser mais árduo, mas que a recompensa será sempre maior.

Meu pai, Osmar. Que mesmo as vezes colocando os pés pelas mãos, sempre me mostrou que a honra e a honestidade de um homem vêm principalmente da sua palavra, que isso é a principal garantia que você pode oferecer para alguém.

Minha irmã, Aline. Sempre me cobrando, mas nunca me abandonando, fiel escudeira e parceira de muitos altos e baixos. Mãe da minha sobrinha que é a mais nova joia rara que veio completar a família.

Aqueles que chamamos de amigos, pessoas que podem não ser meus irmãos de sangue, mas aquelas que posso compartilhar minhas vontades e meus anseios. Que estiveram ao meu lado para partilhar de alegria, tristezas, sorrisos e lágrimas.

Aos mestres do curso de Geologia da UFSC. Profissionais que assumem o papel mais importante dentro da sociedade, o papel de educadores. E se hoje eu completo este trabalho com ênfase na geologia, é por causa deles que me ensinaram tudo que sei hoje. Principalmente ao Prof. Dr. Murilo da Silva Espíndola, que me deu a oportunidade de trabalhar com ele e aprender coisas tão importantes para minha formação.

Aos colegas do LGA, Lucas, Thaynara, Mateus, Vitor, Vinicius, Wellington e Djonathan, sempre presentes na hora de correria, de risadas, de longas conversas e de compartilhamento de conhecimento.

As demais pessoas que complementaram a minha caminhada dentro da Universidade Federal de Santa Catarina. A todos que um dia pude ajudar ou receber ajuda, fica aqui o meu agradecimento. MUITO OBRIGADO!

“Muda, que quando a gente muda o mundo muda com
a gente
A gente muda o mundo na mudança da mente
E quando a mente muda a gente anda pra frente
(...)
Na mudança de atitude não há mal que não se mude
nem doença sem cura
Na mudança de postura a gente fica mais seguro
Na mudança do presente a gente molda o futuro!”
 (“Até quando?”, Gabriel O pensador, 2001).

RESUMO

A crescente expansão urbana próxima a grandes centros requer cuidados para a determinação de locais aptos a receber novas ocupações, principalmente em regiões de relevo acentuado. Visando a segurança de novas estruturas e das pessoas que virão a utilizá-las contra movimentos gravitacionais de massa, diversas metodologias de análise de áreas de risco foram desenvolvidas ao longo do tempo. No Sul do Brasil, a metodologia de mapeamento de grandes áreas de solos tropicais classifica grandes áreas em unidades e utiliza ensaios de geotécnicos para a obtenção dos parâmetros de resistência para cada unidade, com o intuito de determinar declividades limites para Fator de Segurança previamente estabelecido, concebendo assim uma carta de susceptibilidade a movimentos de massa. Essa metodologia parte do princípio que as unidades são uniformes, através disso é realizada uma bateria de ensaios geotécnicos para cada unidade, não havendo controle sobre a variação de parâmetros dentro de uma mesma unidade. Almejando diminuir a probabilidade de erros nos parâmetros de resistência das unidades, o grupo de estudos do Laboratório de Geotecnia Aplicada (LGA) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), desenvolveu um aplicativo capaz de analisar estatisticamente os dados de um banco de dados gerados através da classificação proposta pela metodologia de grandes áreas. Utilizando-se das análises estatísticas realizadas por este aplicativo, foram elaboradas três cartas de susceptibilidade a movimentos gravitacionais de massa para o município de Santo Amaro da Imperatriz – SC, com os níveis de confiança dos parâmetros de 90%, 95% e 99%. Foram observadas variações consideráveis nas zonas de alta susceptibilidade com o incremento do nível de confiança dos dados, evoluindo de 18,91% para 26,04% com 90% e 99% respectivamente.

Palavras-chave: Movimentos de massa. Mapeamento Geotécnico. Mapeamento de áreas de risco.

ABSTRACT

The crescent urban expansion next to big centers requires attention for the determination of suitable locations that could receive new occupations, mainly in accentuated relief region. In order to ensure the secure of new structures and people against mass gravitational movements, several methodologies for mapping risk areas had been developed over time. At the south of Brazil, the large areas of tropical soils mapping methodology classify large areas in units and use geotechnical tests to obtain resistance parameters for each unit, in order to determine the slope limit for a safety factor previously established, conceiving a susceptibility mass gravitational movements map. This methodology assumes that each unit is uniform, because this is realized just one battery of geotechnical tests for each one, there is no control for resistance parameters variation within the same unit. In order to decrease the probability of resistance parameters mistakes, the Applied Geotechnical Laboratory group of Santa Catarina Federal University, developed an application able to analyze statistically a database generated through the methodology of large areas. Using the statistical analysis performed by this application, were created three susceptibility mass gravitational movements maps of Santo Amaro da Imperatriz - SC city, with confidence levels of 90%, 95% and 99%. Were observed considerate variations on the high risk areas with the increase of data confidence level, increasing of 18,91% to 26,04% with 90% and 99%, respectively.

Keywords: Mass Movements. Geotechnical Mapping. Risk Areas Mapping.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma simplificado da metodologia IAEG.....	26
Figura 2 - Fluxograma sintetizado da relação entre os diferentes mapas e cartas considerados pelo IPT na elaboração da metodologia nos morros de Santos e São Vicente.....	29
Figura 3 - Cruzamento dos principais mapas utilizados pela metodologia de Davison Dias (1995).	30
Figura 4 - Exemplo da unidade geotécnica Cambissolo de Granito seguindo a formatação proposta.	33
Figura 5 - Limites de consistência de Atterberg.....	38
Figura 6 - Sistema trifásico do solo.	39
Figura 7 - Critério de ruptura de Mohr - Coulomb.....	42
Figura 8 - Diagrama do arranjo para ensaio de cisalhamento direto.	42
Figura 9- Distribuição normal e quantis empíricos.	50
Figura 10 - Distribuição 't' de Student e a distribuição normal padrão.	51
Figura 11- Exemplo de <i>Box Plot</i>	52
Figura 12- Equipamento de cisalhamento direto.....	57
Figura 13- Consulta ao aplicativo desenvolvido para a obtenção estatística dos parâmetros de resistência.	59
Figura 14 - Modelos utilizados para as simulações e obtenção dos Fatores de Segurança.	60
Figura 15 - Regressão linear correlacionando declividade e FS.	61

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais objetivos e aplicações das cartas geotécnicas.....	24
Quadro 2 - Classes de terrenos da Metodologia Australiana - <i>PUCE</i>	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Conceitos de Mapeamento Geotécnico e Cartografia Geotécnica	20
Tabela 2 - Conceitos de mapa, Planta e Carta Geotécnica	21
Tabela 3 - Níveis de cartas geotécnicas	22
Tabela 4 - Tipos de cartas geotécnicas e seus conceitos.	23
Tabela 5 - Simbologia Simplificada das classes pedológicas.....	32
Tabela 6 - Simbologia Simplificada das unidades geológicas.	32
Tabela 7 - Valores de granulometria de um solo residual de gnaiss em Santo Amaro da Imperatriz - SC	36
Tabela 8 - Valores típicos de LL e LP de alguns solos.	38
Tabela 9 - Classificação dos solos em função do IP.	39
Tabela 10 - Denominação do grau de saturação segundo a IAEG (1979).	40
Tabela 11 - Valores típicos de densidade relativa de minerais comuns nos solos.	41
Tabela 12 - Valores de coesão e ângulo de atrito para algumas localidades de SC.	43
Tabela 13 - Valores de fator de segurança utilizados.....	45
Tabela 14 - Classificação dos solos sedimentares de acordo com o seu agente transportador e local de deposição.....	46
Tabela 15 - Tipos de horizontes diagnósticos e características associadas às ordens de solos.	47
Tabela 16 - Pontos amostrados.....	54
Tabela 17 - Parâmetros utilizados no ensaio de cisalhamento direto.	58
Tabela 18 - Índices físicos dos pontos amostrados.....	68
Tabela 19 - Análise granulométrica dos solos dos pontos de estudo.	69
Tabela 20 - Limites de consistência dos solos.....	70
Tabela 21 - Classificação da plasticidade dos solos.....	71
Tabela 22 - Parâmetros de resistência dos solos amostrados.	78
Tabela 23 - Valores de média e desvio padrão para cada nível de confiança para Canf.....	79
Tabela 24 - Valores de média e desvio padrão para cada nível de confiança para Cf e PVf. ..	79
Tabela 25 - Valores de média e desvio padrão para cada nível de confiança para Cg.....	79
Tabela 26 - Valores de média e desvio padrão para cada nível de confiança para PVg.	80
Tabela 27 - Valores de média e desvio padrão para cada nível de confiança para PVanf.	80
Tabela 28 - Pesos específicos saturados inferidos para cada UG.....	81
Tabela 29 - Valores estatísticos de c e φ , para Canf.	81
Tabela 30 - Valores estatísticos de c e φ , para Cf e PVf.....	82

Tabela 31 - Valores estatísticos de c e φ , para Cg	82
Tabela 32 - Valores estatísticos de c e φ , para PVg	82
Tabela 33 - Valores estatísticos de c e φ para $PVanf$	82
Tabela 34 - Declividade limites para cada UG em função de FS e nível de confiança.	91
Tabela 35 - Porcentagem da área estudada no município de Santo Amaro da Imperatriz para cada classe de susceptibilidade por nível de confiança	92

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Diferentes tipos de curvas de distribuição granulométrica.	35
Gráfico 2 - Curvas granulométricas de solos brasileiros.	36
Gráfico 3 - Curvas granulométricas de um solo residual de gnaiss em Santo Amaro da Imperatriz – SC em diferentes profundidades	37
Gráfico 4 - Curvas granulométrias dos solos amostrados.	70
Gráfico 5 - Envoltória de ruptura para o ponto V06.....	72
Gráfico 6 - Envoltória de ruptura para o ponto V09.....	73
Gráfico 7 - Envoltória de ruptura para o ponto V10.....	73
Gráfico 8 - Envoltória de ruptura para o ponto V12.....	74
Gráfico 9 - Envoltória de ruptura para o ponto V16.....	74
Gráfico 10 - Envoltória de ruptura para o ponto V18.....	75
Gráfico 11 - Envoltória de ruptura para o ponto V23.....	75
Gráfico 12 - Envoltória de ruptura para o ponto V29.....	76
Gráfico 13 - Envoltória de ruptura para o ponto V30.....	76
Gráfico 14 - Envoltória de ruptura para o ponto V33.....	77
Gráfico 15 - Envoltória de ruptura para o ponto V47.....	77
Gráfico 16 - Correlação de FS e declividade para Canf ao nível de confiança de 90%.....	83
Gráfico 17 - Correlação de FS e declividade para Canf ao nível de confiança de 95%.....	83
Gráfico 18 - Correlação de FS e declividade para Canf ao nível de confiança de 99%.....	84
Gráfico 19 - Correlação de FS e declividade para Cg ao nível de confiança de 90%.....	84
Gráfico 20 - Correlação de FS e declividade para Cg ao nível de confiança de 95%.....	85
Gráfico 21 - Correlação de FS e declividade para Cg ao nível de confiança de 99%.....	85
Gráfico 22 - Correlação de FS e declividade para PVg ao nível de confiança de 90%.....	86
Gráfico 23 - Correlação de FS e declividade para PVg ao nível de confiança de 95%.....	86
Gráfico 24 - Correlação de FS e declividade para PVg ao nível de confiança de 99%.....	87
Gráfico 25 - Correlação de FS e declividade para Cf e PVf ao nível de confiança de 90%.....	87
Gráfico 26 - Correlação de FS e declividade para Cf e PVf ao nível de confiança de 95%.....	88
Gráfico 27 - Correlação de FS e declividade para Cf e PVf ao nível de confiança de 99%.....	88
Gráfico 28 - Correlação de FS e declividade para PVanf ao nível de confiança de 90%.....	89
Gráfico 29 - Correlação de FS e declividade para PVanf ao nível de confiança de 95%.....	89
Gráfico 30 - Correlação de FS e declividade para PVanf ao nível de confiança de 95%.....	90

LISTA DE MAPAS

Mapa 1 - Mapa de localização da área de estudo.	Erro! Indicador não definido.
Mapa 2- Mapa geotécnico preliminar da cidade de Brusque - SC.	31
Mapa 3 - Mapa geotécnico preliminar de Santo Amaro da Imperatriz.	55
Mapa 4 - Porção Meridional da Província Mantiqueira.	63
Mapa 5 - Compartimentação do Escudo Catarinense.....	64
Mapa 6 - Mapa geológico da cidade de Santo Amaro da Imperatriz.	65
Mapa 7 - Carta de susceptibilidade a movimentos gravitacionais de massa preliminar de Santo Amaro da Imperatriz com 90% de nível de confiança.	93
Mapa 8 - Carta de susceptibilidade a movimentos gravitacionais de massa preliminar de Santo Amaro da Imperatriz com 95% de nível de confiança.	94
Mapa 9 - Carta de susceptibilidade a movimentos gravitacionais de massa preliminar de Santo Amaro da Imperatriz com 99% de nível de confiança.	95

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASSHTO	<i>American Association of State Highway and Transportation Official</i>
EESC	Escola de Engenharia de São Carlos
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FS	Fator de Segurança
GCN	Departamento de Geociências
IAEG	<i>International Association for Engineering Geology and the Environment</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
LGA	Laboratório de Geotecnia Aplicada
LS	Limite Superior
LI	Limite Inferior
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
PIBIC	Programa Institucional de Bolsa de Iniciação Científica
PUCE	<i>Pattern, Units, Components and Evaluation</i>
SC	Santa Catarina
SIG	Sistema de Informações Geográfica
UG	Unidade Geotécnica
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura
UTM	Universal Transversa de Mercator

LISTA DE SÍMBOLOS

c	Coesão
d	Deslocamento horizontal
Δh	Varição de altura
e	Índice de vazios
φ	Ângulo de atrito interno
η	Porosidade
δ	Densidade relativa dos grãos
γ_{nat}	Peso específico natural
γ_s	Peso específico dos sólidos
γ_w	Peso específico da água
γ_a	Peso específico do fluido
d	Massa específica
d_q	Dispersão
m	Massa específica determinada em laboratório
τ	Tensão cisalhante máxima
μ	Viscosidade do fluido
σ	Tensão horizontal aplicada
v	Velocidade de precipitação da partícula
Cg	Cambissolo substrato granito
Csq	Cambissolo sedimentos quaternários
Cf_PVf	Cambissolo e Podzólico vermelho-amarelo substrato filito
D	Diâmetro da partícula
S	Grau de saturação
Rg	Litólico granito
kPa	Quilopascal
PVanf	Podzólico vermelho-amarelo substrato anfíbolito
mm	Milímetros
min	Minutos
Canf	Cambissolo substrato anfíbolito
N	Força Normal
kg	Quilogramas

PV _g	Podzólico vermelho-amarelo substrato granítico
T	Força Cisalhante
V	Volume total
V _a	Volume de ar nos vazios
V _s	Volume de sólidos
V _v	Volume de vazios
W	Peso total
W _w	Peso da água
W _s	Peso de sólido
w%	Teor de umidade
%	Porcentagem
R ²	Coefficiente de determinação
p	Significância
Q1	Primeiro Quantil
Q2	Segundo Quantil
Q3	Terceiro Quantil
μ	Desvio Padrão
°	Graus

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVO GERAL.....	16
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
1.3	JUSTIFICATIVA.....	16
1.4	LOCALIZAÇÃO E ACESSOS.....	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1	CARTOGRAFIA E MAPEAMENTO GEOTÉCNICO	19
2.1.1	Produtos cartográficos	21
2.1.2	Objetivo dos produtos cartográficos	24
2.1.3	Metodologias para a elaboração de cartas geotécnicas	25
2.1.3.1	Metodologia da IAEG (<i>International Association of Engineering Geology</i>).....	25
2.1.3.2	Metodologia Francesa	26
2.1.3.3	Metodologia Australiana (<i>PUCE – Pattern, Units, Components and Evaluation</i>)....	27
2.1.4	Metodologias Usadas no Brasil	28
2.1.4.1	Metodologia da EESC	28
2.1.4.2	Metodologia do IPT.....	28
2.1.4.3	Metodologia de Grandes Áreas (Davison Dias, 1995).....	29
2.2	ENSAIOS GEOTÉCNICOS	33
2.2.1	Amostragem	34
2.2.2	Caracterização dos solos	34
2.2.2.1	Análise Granulométrica.....	34
2.2.2.2	Limites de Consistência.....	37
2.2.2.3	Índices físicos	39
2.2.3	Ensaio de cisalhamento direto	41
2.2.4	Estabilidade de taludes	44
2.3	CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS	45

2.4	MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA	47
2.5	TRATAMENTO ESTATÍSTICO DE DADOS	49
2.5.1	Distribuição Normal e quantis empíricos.....	49
2.5.2	Distribuição ‘t’ de Student.....	50
2.5.3	Box Plot.....	52
3	MATERIAIS E METODOS.....	53
3.1	ESTUDOS PRELIMINARES	53
3.2	AMOSTRAGEM.....	56
3.3	ENSAIOS LABORATORIAIS	56
3.3.1	Ensaio de caracterização	56
3.3.2	Cisalhamento direto	57
3.4	ANÁLISE ESTATÍSTICA DE PARÂMETROS	58
3.5	ANÁLISE DE ESTABILIDADE.....	59
3.6	CLASSIFICAÇÃO DOS MAPAS	61
4	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS.....	63
4.1	GEOLOGIA REGIONAL.....	63
4.2	GEOLOGIA LOCAL.....	65
4.2.1	Complexo Canguçu	65
4.2.2	Suíte Intrusiva Pedras Grandes	66
4.2.3	Suíte Intrusiva Tabuleiro.....	66
4.2.4	Formação Queçaba.....	67
4.2.5	Sedimentos Aluvionares.....	67
4.2.6	Sedimentos Coluvio- Aluvionares	67
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	68
5.1	CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS	68
5.2	CISALHAMENTO DIRETO	72
5.3	ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA.....	78
5.4	ANÁLISES DE ESTABILIDADES	81

5.4.1	Dados de entrada	81
5.4.2	Determinação das declividades limite.....	83
5.4.3	Cartas de susceptibilidade a movimentos de massa	91
6	CONCLUSÃO	96
7	SUGESTÕES	98
	REFERÊNCIAS	99

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da sociedade moderna está diretamente ligado à construção e expansão de zonas urbanizadas, adentrando em locais até então intocados nos municípios. Assim sendo, a análise prévia da região onde essa expansão ocorrerá é algo imprescindível para garantir a segurança tanto das futuras obras que ocorrerão como da população que irá se instalar neste local.

A atual expansão urbana mostra a necessidade de se realizar o planejamento e gestão das áreas ainda não urbanizadas dentro das cidades. Muitas vezes, grandes comunidades se acomodam em locais inapropriados e sofrem com problemas ambientais provenientes da ocupação indevida do solo.

Assim sendo, a realização de mapeamento geotécnico para direcionar o uso e ocupação dos solos, fornecendo informações geotécnicas do meio físico para os Planos Diretores Municipais, é uma importante ferramenta para auxiliar na redução de problemas ambientais, como inundações e rupturas de encostas.

Segundo IBGE (2013), apenas 728 dos 5 570 municípios do Brasil possuem mapeamento de área de risco em encostas. As rupturas de encostas são uma das principais causas de morte por desastres naturais atualmente. Nesse contexto, é indispensável este tipo de mapeamento para orientar a expansão demográfica.

No Brasil existem metodologias utilizadas para se realizar esse tipo de mapeamento. Contudo, cada uma utiliza de ferramentas específicas para a obtenção dos resultados, deixando a escolha do profissional que irá realizar o mapeamento qual utilizar.

Dentro do âmbito do Departamento de Geociências da Universidade Federal de Santa Catarina (GCN), se utiliza atualmente a metodologia de mapeamento de grandes áreas desenvolvida por Davison Dias (1995) para a realização dos mapeamentos geotécnicos.

Atualmente no Laboratório de Geotecnia aplicada (LGA) do GCN, a equipe do projeto “Desenvolvimento de método análise de riscos geotécnicos: Aplicação em Brusque e Botuverá” (Correia & Pizzolo, no prelo) contemplado no Edital-PIBIC-2017-2018, desenvolveu uma metodologia baseada na desenvolvida por Davison Dias (1985) para a realização desse tipo de trabalho.

A metodologia desenvolvida é baseada na utilização de uma interface estatística utilizando o modelo de distribuição “*t*” de *Student* para a inferência dos parâmetros de resistência dos solos ao nível de confiança desejado.

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho consiste em aplicar a metodologia de mapeamento geotécnico desenvolvida durante o projeto “Desenvolvimento de método análise de riscos geotécnicos: Aplicação em Brusque e Botuverá” (Correia & Pizzolo, no prelo) contemplado no Edital-PIBIC-2017-2018 realizado no Laboratório de Geotecnia Aplicada (LGA) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e confeccionar cartas de susceptibilidade a movimentos gravitacionais de massa na cidade de Santo Amaro da Imperatriz, Grande Florianópolis.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Definir uma estratégia para a elaboração do mapa de aptidão a urbanização para o Município;
2. Analisar os parâmetros geotécnicos dos solos do município de Santo Amaro da Imperatriz em relação as unidades pedológicas e geológicas;
3. Aferir o comportamento mecânico dos solos com base em ensaios laboratoriais de caracterização física nas unidades geotécnicas delimitadas;
4. Gerar cartas de susceptibilidade a movimentos gravitacionais de massa na cidade de Santo Amaro da Imperatriz aos níveis de confiança de 90%, 95% e 99%.

1.3 JUSTIFICATIVA

O crescimento demográfico das regiões próximas aos grandes centros tem sido alvo de discussões sobre a acomodação de novas comunidades em locais onde a capacidade de expansão territorial já se encontra limitada, tanto por falta de espaço nos locais já povoados, quanto por esbarrarem em fatores físicos que impedem a expansão demográfica.

A implantação de novas comunidades dentro de uma determinada região exige um estudo detalhado de onde essa comunidade poderá se instalar. Determinar onde alocar uma nova concentração de estruturas faz com que problemas futuros com essas instalações sejam minimizados, evitando assim onerosos gastos com reformas, reparos e até um possível desalojamento de pessoas.

O mapeamento geotécnico da cidade de Santo Amaro da Imperatriz se faz necessário uma vez que tal cidade se encontra muito próxima aos grandes perímetros urbanos da região da grande Florianópolis, local este que detém uma expressiva quantidade de indústrias dos mais variados ramos, e por isso atrai cada vez mais pessoas.

O processo de validação de uma nova metodologia para a concepção de um mapa geotécnico é importante para o desenvolvimento da cartografia geotécnica, pois se a mesma apresentar resultados satisfatórios poderá ser mais uma alternativa para ser utilizada no futuro com o intuito de facilitar o processo de delimitação de áreas potencialmente urbanizáveis.

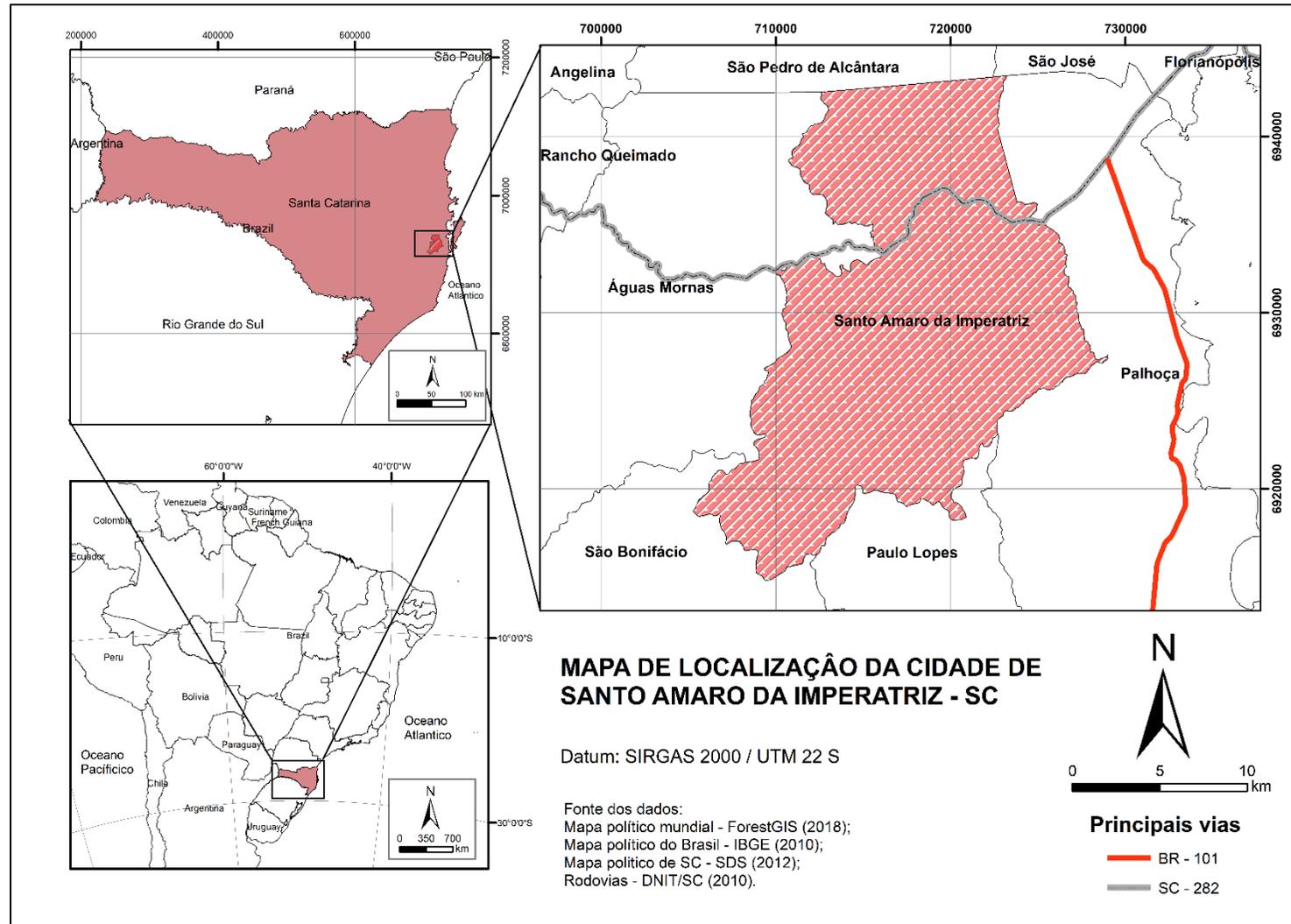
Desta forma, a aplicação de uma nova metodologia para a confecção de cartas de aptidão à urbanização faz com que o conhecimento do proponente nessa linha de estudo seja algo dinâmico e contínuo.

1.4 LOCALIZAÇÃO E ACESSOS

A cidade de Santo Amaro da Imperatriz se localiza na porção leste do estado de Santa Catarina, cerca de 20 km da capital Florianópolis (Mapa 1) Possui cerca de 22mil habitantes (IBGE, 2016) é uma cidade em ampla expansão demográfica devido a sua proximidade a grandes centros tecnológicos e indústrias localizados nas cidades vizinhas como São José, Palhoça e Florianópolis. Sua área total de aproximadamente 344.000 km² ainda é pouco urbanizada, tendo apenas a parte mais central da cidade com grande desenvolvimento.

É acessada principalmente através da rodovia SC – 282, que se estende do litoral até o extremo Oeste catarinense, onde essa rodovia corta a cidade de Leste à Oeste por aproximadamente 11km dando acesso a todos os bairros do município.

Mapa 1 - Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: Do Autor (2018).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são expostos pontos extraídos da literatura disponível, nos quais este trabalho se fundamenta. São revisadas as metodologias de mapeamento geotécnico utilizadas em diferentes regiões, e como as mesmas definem seus atributos do meio físico, formas de obtenção dos mesmos, métodos de agrupamento, avaliação e análise, bem como os diferentes produtos cartográficos.

É exposta de forma sintética, a descrição da metodologia utilizada pelo Departamento de Geociências da UFSC para a realização dos mapeamentos geotécnicos e sua aplicação no estado de Santa Catarina e nas regiões de solo tropicais do país.

2.1 CARTOGRAFIA E MAPEAMENTO GEOTÉCNICO

O início da cartografia geotécnica teve como seu precursor Langen em 1913, onde apresentou na Feira de Construções de Leipzig na Alemanha, os primeiros documentos gráficos com esse fim. E a partir deste evento que os mapas foram surgindo e agregando cada vez mais informações, análises em diferentes escalas, e assim se classificavam os atributos do meio físico para diferentes usos (ZUQUETTE & GANDOLFI, 2004).

A partir de década de 60 surge a cartografia digital geotécnica, mas ainda de forma muito simples, utilizando dos primeiros computadores e revolucionando cartografia até então conhecida. Desse modo, a evolução contínua da cartografia digital foi atrelada junto a evolução da informática e o desenvolvimento dos sistemas de gerenciamento de dados, e assim podendo se realizar a ligação da base cartográfica digital ao banco de dados descritivo, dando origem ao que conhecemos hoje com Sistemas de Informações Geográficas (SIG) (FRANCO, 2010).

O termo cartografia geotécnica é utilizado de maneira genérica para aqueles produtos cartográficos que usam o conhecimento geológico aplicado para enfrentar problemas oriundos da utilização ou ocupação do solo (PRANDINI et al., 1995) ou ainda que busquem a avaliação das características das variáveis e do comportamento do meio físico perante aos diferentes tipos de ocupação e avaliando suas limitações e potenciais (ZUQUETTE, 1993).

O mapeamento geotécnico pode ser compreendido como uma metodologia de composição de um mapa onde são representadas as principais características geomecânicas do solo e permite se obter uma previsão do seu comportamento perante a aplicações de projetos ambientais e de engenharia (HIGASHI, 2006).

Zuquette e Nakazawa (1998) mostram que muitas vezes os termos cartografia e mapeamento geotécnico são encontrados como sinônimos, isso por causa da influência de duas linhas de estudo: a que provém da escola francesa, derivada do termo *Cartographie Geotechnique* e a da escola inglesa, *Engineering Geological Mapping*.

Estes dois termos utilizados em cartografia, carta e mapa, são usados sem que leve em consideração os aspectos necessários para determinar qual deles deve ser aplicado como escala, finalidade, metodologia de elaboração, o que vem acarretando em erros e gerando produtos cartográficos sem relação com o obtivo proposto (ZUQUETTE & GANDOLFI, 2004).

Contudo, Wolski (1998) diferencia estas terminologias de modo que o mapeamento geotécnico seja o processo que abrange todos os procedimentos que fazem parte da elaboração e de obtenção dos dados para a produção da carta geotécnica por meio de investigação dos atributos e a cartografia geotécnica como a representação gráfica dos produtos do mapeamento.

Os produtos finais da cartografia geotécnica são os mapas, cartas e plantas geotécnicas, juntamente com um relatório descritivo da situação. Contudo, esses documentos não podem substituir as investigações locais de detalhe, com ensaios de campo e análise de amostras em laboratório. Sendo assim servem para auxiliar na interpretação de resultados em diferentes etapas do projeto de obras de engenharia (FRANCO, 2010).

Aguiar (1994) sintetiza as diferenças entre mapeamento geotécnico e cartografia geotécnica conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Conceitos de Mapeamento Geotécnico e Cartografia Geotécnica

Termo	Definição
Mapeamento Geotécnico	Conjunto de processos sistemáticos de investigação dos atributos, imprescindíveis ao estabelecimento de unidades geotécnicas e passíveis de representação em documentos cartográficos.
Cartografia Geotécnica	Distinta do mapeamento geotécnico por apenas estabelecer as unidades geotécnicas, com base em levantamentos executados anteriormente, sem a etapa de investigação.

Fonte: Aguiar (1994).

2.1.1 Produtos cartográficos

Todos os processos de obtenção de dados que tem por finalidade orientar e auxiliar nas diretrizes de projetos de engenharia dentro de uma região é denominado produto cartográfico. Cada produto cartográfico com esse objetivo recebe uma denominação de acordo com um autor e sua finalidade.

Zuquette(1987) diferencia mapas geotécnicos de cartas e plantas geotécnicas, suas principais características são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Conceitos de Mapa, Planta e Carta Geotécnica

Termo	Conceito
Mapa Geotécnico	Representação dos atributos geotécnicos levantados, sem realização de análise interpretativa e sempre em escalas inferiores a 1:10.000.
Planta Geotécnica	Representação gráfica realizada em escalas grandes, maiores que 1:10.000, normalmente voltada para locais onde serão executadas obras específicas.
Carta Geotécnica	Representação dos resultados da interpretação dos atributos que estão num mapa.

Fonte: Zuquette (1987).

Os mapas geotécnicos, como todo mapa, são modelos simplificados da realidade, e, portanto, não representam totalmente a complexidade de vários fatores dinâmicos. Desse modo, o quão simplificado vai ser o mapa irá depender principalmente da finalidade, da escala do mapa, da importância relativa dos fatores geotécnicos específicos ou relacionados, da precisão das informações e das técnicas de representação usadas (COSTA, 2001).

As plantas cartográficas, podem também ser consideradas como uma espécie de mapa de detalhe. Teoricamente, os conteúdos dos mapas e das plantas geotécnicas independem de quem os elabora (ZAINÉ, 2000).

Conforme IAEG-UNESCO (1976), as cartas e/ou mapas geotécnicos são um tipo de mapa geológico que classifica e representa os componentes do ambiente geológico. Dessa forma, são de suma importância para as finalidades de engenharia, construção, planejamento, exploração e preservação do ambiente.

Para Souza (1992), as cartas e/ou mapas geotécnicos são as alternativas mais apropriadas para a representação dinâmica dos processos geológicos que estão ligados à

população, uma vez que durante as suas elaboração se faz necessário um amplo conhecimento dos fenômenos e processos naturais que dinamizam e modificam as condições do meio físico.

Para subsidiar o uso e a ocupação do solo, o mapa geotécnico pode receber o nome de carta de susceptibilidade e surge como instrumento fundamental de análise e sistematização integrada dos atributos do meio, permitindo o conhecimento e a abordagem de problemas que podem ocorrer quando há implementação de atividades com modificações significativas do ambiente. Estas cartas são bastante utilizadas como base na leitura técnica do município, e constituem referências nas ações participativas para a elaboração de um Plano Diretor Municipal (FREITAS & CAMPANHA, 2007).

Para Cerri (1990) as cartas geotécnicas podem ser classificadas como cartas geotécnicas clássicas, cartas de susceptibilidade e cartas de risco geológicos. Onde cada uma tem uma escala e processo geodinâmico preponderante como é mostrado na Tabela 3.

Tabela 3 - Níveis de cartas geotécnicas

Produto	Escala de Mapeamento	Processos Geodinâmicos passíveis de identificação
Cartas de Suscetibilidade	1:25 000 ou maiores	Movimentos gravitacionais de massa, inundações/enchentes, corridas, erosões, assoreamento, processos, sismos induzidos
Carta de Aptidão à Urbanização	1:10.000, 1:5.000 ou maiores	Movimentos de massa gravitacionais translacionais, inundações/ alagamentos/ enchentes, corridas, erosões lineares de grande porte (ravinas), assoreamento, subsidências e colapsos, queda e rolamento de blocos rochosos, processos costeiros.
Cartas de Riscos Geológicos	1:2.000 ou maiores	Movimentos gravitacionais de massa – translacionais, rotacionais, em cunha – inundações/enchentes/alagamentos, corridas de lama e detritos, rastejos, erosões lineares (sulcos, ravinas e voçorocas) solapamentos de margem, assoreamento, subsidências e colapsos, expansão de terrenos, queda e rolamento de blocos rochosos, processos costeiros.

Fonte: Cerri (1990).

Ainda para Cerri (1990), estas cartas englobam a espacialização dos diferentes tipos de rochas e solos, as propriedades geológico-geotécnicas destes, as formas de relevos e como

os processos que atuam na região estão dispostas levando em consideração as alterações que podem vir a ocorrer em reflexo a implantação das diferentes formas de uso e ocupação do solo.

Contudo, tendo um enfoque único no uso urbano do solo, Bitar *et al.* (1992) identificam quatro principais tipos de cartas geotécnicas e apresentam seus conceitos na Tabela 4.

Tabela 4 - Tipos de cartas geotécnicas e seus conceitos.

Tipo	Conceito
Cartas geotécnicas dirigidas	A partir da identificação de problemas de natureza geológico-geotécnica decorrentes do uso do solo, expõem as limitações e potencialidades dos terrenos.
Cartas geotécnicas convencionais	Apresentam a distribuição geográfica das características dos terrenos, a partir de atributos do meio físico, muitas vezes sem considerar as interações existentes entre o meio físico e as diferentes formas de uso urbano do solo.
Cartas de suscetibilidade	Indicam a potencialidade de ocorrência de processos geológicos naturais e induzidos em áreas de interesse ao uso urbano do solo, expressando as suscetibilidades, segundo classes de probabilidade de ocorrência.
Cartas de risco geológico	Prepondera a avaliação de dado potencial à ocupação, expresso segundo diferentes graus de risco, resultantes da conjugação da probabilidade de ocorrência de manifestações geológicas naturais e induzidas e das conseqüências sociais e econômicas decorrentes.

Fonte: Bitar *et. al* (1992).

Existe uma grande diversidade de termos que podem ser utilizados para caracterizar os diferentes produtos cartográficos gerados. Contudo, é perceptível que há uma certa equivalência entre esses tipos de produtos.

2.1.2 Objetivo dos produtos cartográficos

Os objetivos dos produtos cartográficos estão diretamente associados com tipo e nível de detalhamento estipulado.

As cartas e/ou mapas geotécnicos visam obter a melhor utilização da área de estudo quanto pela melhor proteção e conservação dos recursos naturais e ambientais da região, também auxiliam para constituir critérios técnicos para a recuperação de áreas degradadas, podem assegurar a segurança de edificações e da população junto aos estudos de previsão e previsão dos riscos geológicos e assim orientam a utilização de recursos públicos e privados para estudos específicos para obras de engenharia. No Quadro 1 é sintetizado os principais objetivos e possíveis aplicações das cartas geotécnicas (ZAINE, 2000).

Quadro 1 - Principais objetivos e aplicações das cartas geotécnicas

Objetivos	Aplicações
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Melhor utilização do espaço físico disponível; ➤ Conservação ambiental e proteção dos recursos naturais; ➤ Estabelecimento de critérios técnicos para a expansão da ocupação e a recuperação de áreas degradadas por ocupação desordenada; ➤ Segurança das edificações e da população através da previsão e prevenção de riscos geológicos, tanto naturais como induzidos; ➤ Otimização da aplicação de recursos públicos e privados; ➤ Orientação de estudos para obras de engenharia. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Como subsídios à elaboração de projetos visando o planejamento e gerenciamento do uso e ocupação do solo, em todos níveis (Plano diretor, zoneamento, parcelamento e desmembramento), inclusive na própria elaboração de dispositivos legais inerentes ao uso do solo; ➤ Como subsídios a estudos de impacto ambiental; ➤ Na restrição à ocupação de áreas sob riscos geológicos; ➤ Na definição de locais mais adequados, dos cuidados e estudos específicos para a implantação de obras de engenharia;

Fonte: Modificados de Zaine (2010).

Dessa forma, a importância da carta e/ou mapa geotécnico fica evidente frente ao uso e ocupação do solo, de forma a mitigar os efeitos de ações antrópicas sobre o meio físico natural e planejando e orientando obras de engenharia.

2.1.3 Metodologias para a elaboração de cartas geotécnicas

Para se elaborar um mapa e/ou carta geotécnica se faz necessário uma metodologia que se encaixe nos parâmetros físicos e até mesmo na legislação vigente da região de estudo. Sendo assim, foram desenvolvidas variadas metodologias ao redor do mundo, cada uma com suas particularidades e aplicações bem definidas.

2.1.3.1 Metodologia da IAEG (*International Association of Engineering Geology*).

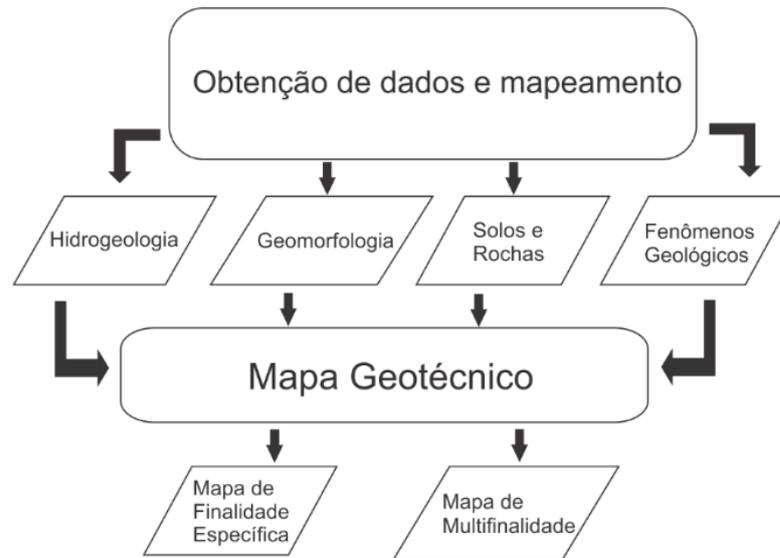
A metodologia da IAEG foi publicada em 1976 e busca mostrar a espacialização dos fenômenos geológicos específicos e as características das rochas e solos, visando apresentar como essas afetam as obras de engenharia nos mais variados terrenos.

Esta metodologia foi desenvolvida principalmente para estabelecer um padrão internacional de mapeamento geotécnico, cuja a sua aplicação fosse possível tecnicamente e viável economicamente na maioria dos países. Assim sendo, se torna muito abrangente e necessita de cuidados na sua aplicação.

Não se propõe a instruir detalhadamente a forma de executar o processo de mapeamento, já que a metodologia é uma síntese da experiência acumulada dos processos de cartografia geotécnica aplicada por todos os países até o ano de sua publicação, principalmente nos países da Europa e na América do Norte, onde a cartografia geotécnica já tinha existia a mais de meio século.

Assim sendo, a metodologia propõe uma classificação para os produtos cartográficos gerados dependendo da finalidade desejada, sendo eles com alguma finalidade específica ou multifinalitários e com sua escala podendo ser definida como: grande escala: $\geq 1:10\ 000$, média escala: entre $1:10\ 000$ e $1:100\ 000$ e pequena escala: $\leq 1:100\ 000$. A metodologia está sintetizada no fluxograma ilustrado na Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma simplificado da metodologia IAEG.



Fonte: Modificado de Costa (2001).

Para a IAEG (1976) um mapa geotécnico seria como “um tipo de mapa geológico, o qual fornece uma representação generalizada de todos os componentes do ambiente geológico de significado no planejamento e uso da terra, em projetos e na construção e manutenção de obras civis e de mineração”.

2.1.3.2 Metodologia Francesa

Esta metodologia foi desenvolvida por Sanejouand (1972) do *Laboratoire Central de Pont et Chaussées* onde foi feita uma compilação dos variados tipos de mapas geotécnicos produzidos na França de modo a determinar os principais atributos que deveriam reger a cartografia geotécnica deste país.

A premissa que rege esta metodologia diz a respeito da confecção de dois tipos de cartas:

- Cartas de fatores “normais” – Estabelecidas comumente durante o período de estudo geotécnico, são frequentemente a base para as cartas sintéticas. As principais informações contidas nesse tipo de carta são a documentação do substrato rochoso, a hidrologia, a geomorfologia e os materiais de cobertura;
- Cartas de fatores “especiais” – São, no geral, elaboradas a partir do tratamento da carta de fatores “normais” afim de resolver problemas específicos delimitando áreas homogêneas.

2.1.3.3 Metodologia Australiana (*PUCE – Pattern, Units, Components and Evaluation*)

A metodologia PUCE é amplamente utilizada como base para diversas avaliações e estimativas em variadas finalidades. Essa metodologia não necessita de muitos recursos para se obter resultados satisfatórios. Logo, se torna uma metodologia muito aplicada em regiões mais remotas e com baixa densidade demográfica.

Como premissa básica, essa metodologia assume que qualquer terreno pode ser classificado de acordo com a sua topografia, estrutura do solo, processos de erosão, vegetação e uso atual do solo. Esses dados são obtidos através de um primeiro estudo em laboratório com o auxílio da cartografia conhecida e análise de imagens aéreas, seguido por uma etapa de campo para determinar os complementos naturais constituintes do terreno estudado. Dessa forma, é possível classificar os terrenos de acordo com o Quadro 2.

Quadro 2 - Classes de terrenos da Metodologia Australiana - *PUCE*.

Classe do Terreno	Características do Terreno	Fatores do terreno para quantificação	Escala
Província	Classificação geológica (grupo, formação, etc.)	--	1:250.000 ou menores
Padrão do Terreno	Paisagem; Características do básicas do solo; Vegetação; Rochas; Padrões de drenagem.	Amplitude do relevo; Frequência de canais de drenagem.	1:250.000 a 100.000
Unidades do Terreno	Formas de relevo; Características principais do solo; Rochas; Formações vegetais	Dimensões das unidades do terreno (amplitude do relevo, comprimento, largura).	1:100.000 a 1:25.000
Componentes do Terreno	Tipo de talude; Litologia; Solo; Associação vegetal	Dimensões dos componentes do terreno (amplitude do relevo, comprimento, largura e talude); Dimensões relativas a vegetação (altura, diâmetro, espaçamento); Propriedades dos materiais geológicos; Quantidade dos materiais.	1:25.000 ou maior

Fonte: Modificado de Zuquette (2004).

2.1.4 Metodologias Usadas no Brasil

A partir de 1960, foram realizados trabalhos relacionados a mapeamento geotécnico no Brasil. De acordo com esses, foram aplicados diferentes métodos e sistemáticas para a elaboração das cartas geotécnicas, tendo ênfase nos estados de São Paulo, Paraná, Rio Grande do Sul e Rio de Janeiro. Entre as metodologias mais aplicadas, podem ser destacadas as usadas no Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) e na Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), por serem as metodologias mais usadas e abrangentes (BASTOS, 2005) e também as pesquisas concebidas por Davison Dias (1985) possibilitaram o desenvolvimento de uma metodologia de mapeamento geotécnico de grandes áreas para solos tropicais (CARAMEZ, 2017).

2.1.4.1 Metodologia da EESC

Desenvolvida no período de 1980 pelo grupo de pesquisadores do Departamento de Geotécnica da Escola de Engenharia de São Carlos em São Paulo. Essa metodologia tem por base uma avaliação do meio físico (rocha, solo, hidrologia e relevo), para a implantação de novas formas de ocupação do solo (BASTOS, 2005).

Através de geoprocessamento, interpretação de fotos aéreas e trabalhos de campo *in loco*, essa metodologia tem por objetivo identificar unidades de solo sucessivamente menores dentro da área de estudo e que apresentam uniformidade nas feições de relevo.

As unidades que apresentarem uniformidade são associadas aos materiais inconsolidados e à litologia presente, esse processo é geralmente feito em um Sistema de Informações Geográficas. O resultado dessa combinação é um mapa de informações sobre as condições geotécnicas da área que integrado com demais informações possibilita a interpretação do comportamento geotécnico da região (HIGASHI, 2006).

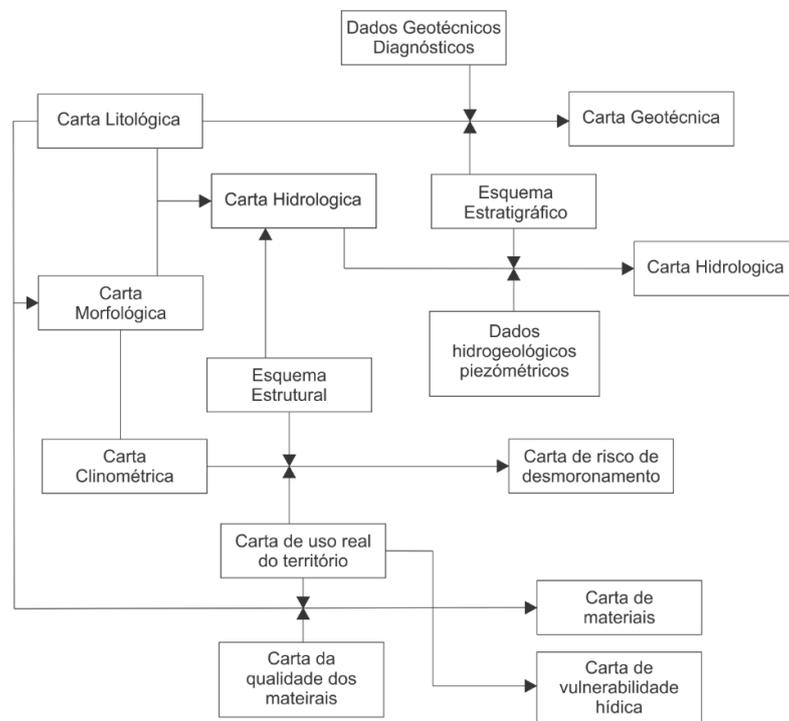
2.1.4.2 Metodologia do IPT

A metodologia do IPT foi desenvolvida na década de 1980, com o estudo de vários trabalhos feitos a partir de situações específicas de problemas no meio físico em encostas da região de Santos e São Vicente no estado de São Paulo. A estrutura da pesquisa foi sintetizada no fluxograma ilustrado na Figura 2.

Segundo essa metodologia, os impactos ambientais devem fazer parte da análise do meio físico e como fator de ponderação na avaliação da viabilidade da utilização do solo para determinado fim (Xavier, 2000).

Essa metodologia classifica as cartas nos seguintes grupos: cartas geotécnicas propriamente ditas, que por sua vez tem a finalidade de mostrar as limitações e potenciais dos terrenos e definem os vetores de ocupação; Cartas de riscos, que avaliam o potencial risco geotécnico (erosão, inundação, escorregamento) (BASTOS, 2005).

Figura 2 - Fluxograma sintetizado da relação entre os diferentes mapas e cartas considerados pelo IPT na elaboração da metodologia nos morros de Santos e São Vicente.



Fonte: Modificado de Zuquette (2004).

2.1.4.3 Metodologia de Grandes Áreas (Davison Dias, 1995)

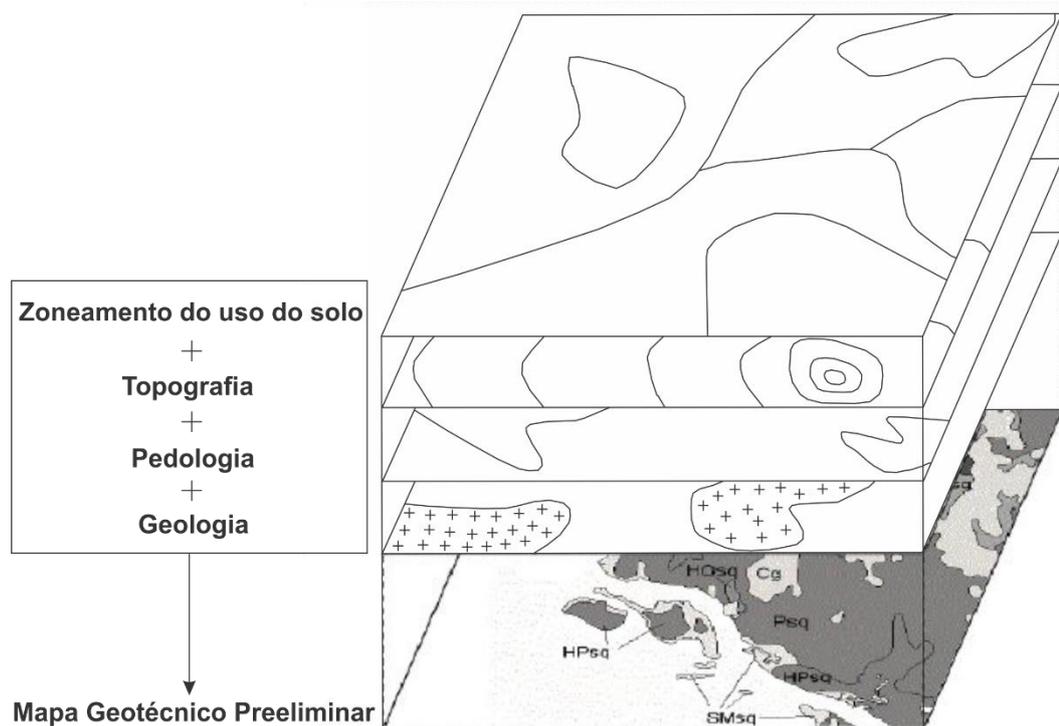
Desenvolvida por Davison Dias (1995), inicialmente para o estudo de fundações de linhas de transmissões no Rio Grande do Sul, essa metodologia tem como principal ciência orientadora do comportamento dos solos a pedologia, que auxiliada pela geologia e topografia, visa determinar áreas com solos de comportamentos geotécnicos semelhantes.

Essa metodologia de mapeamento geotécnico de grandes áreas consiste na elaboração de um mapa temático geotécnico, onde mapas litológicos provenientes de um mapa geológico,

e pedológico, são utilizados para a concepção de unidades geotécnicas com suas estimativas de comportamento geomecânico (HIGASHI, 2006).

De maneira geral, a metodologia faz uso principalmente do cruzamento dos mapas geológicos e pedológicos juntamente com determinações de comportamento do solo para gerar um terceiro mapa de estimativa de comportamento dos solos, esse último é chamado de mapa geotécnico preliminar, como pode ser ilustrado na Figura 3.

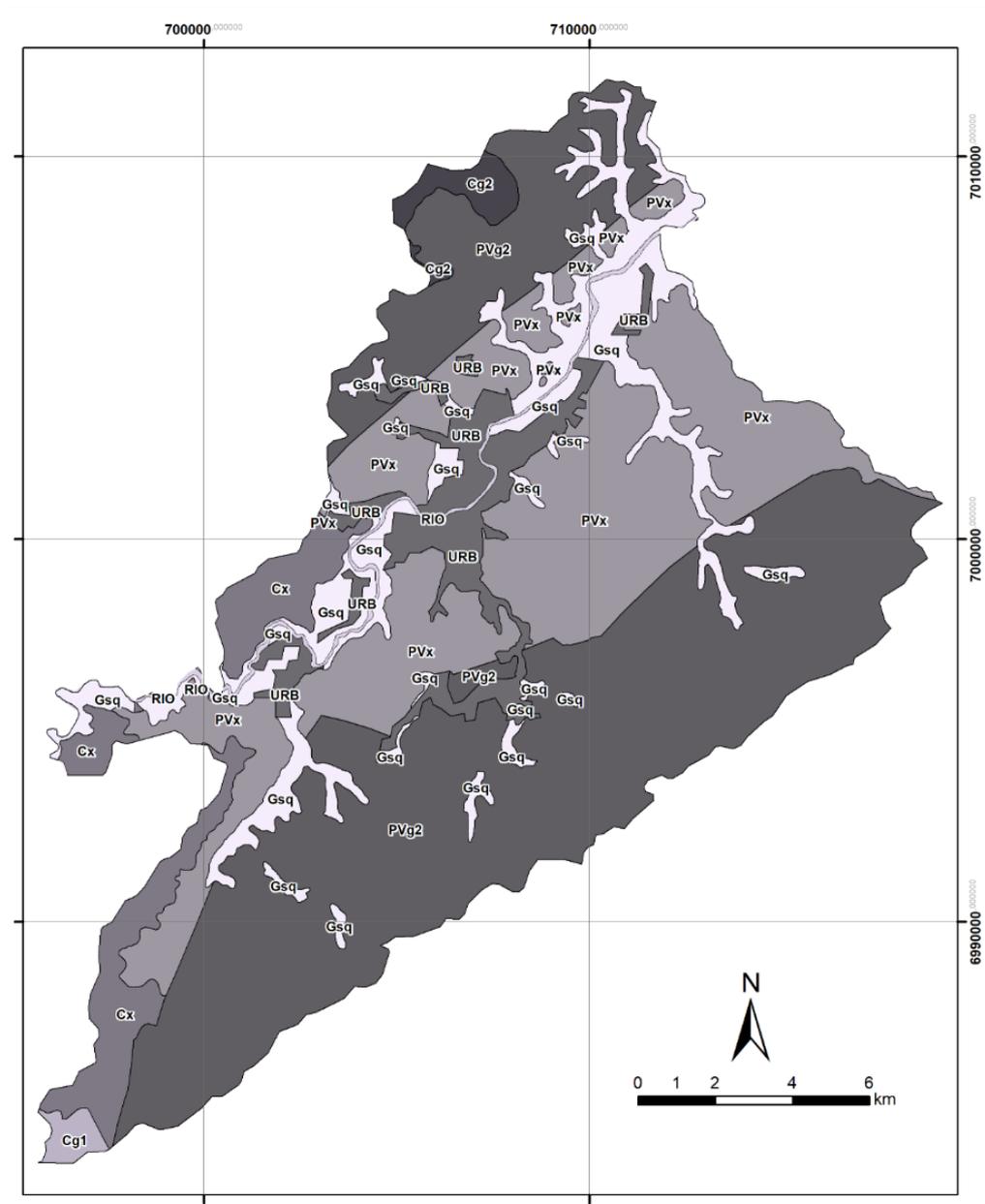
Figura 3 - Cruzamento dos principais mapas utilizados pela metodologia de Davison Dias (1995).



Fonte: Modificado de Higashi (2006).

O resultado final é um mapa com as unidades geotécnicas delimitadas e representadas através de uma sigla formada pela sua pedologia e sua geologia correspondente como pode ser observado no Mapa 2 que mostra um mapa geotécnico preliminar da cidade de Brusque – SC utilizando essa metodologia.

Mapa 2- Mapa geotécnico preliminar da cidade de Brusque - SC.



Fonte: Próprio autor.

As siglas utilizadas para a classificação dos polígonos foram definidas por Davison Dias (2001), sendo a simbologia para geologia conforme a Tabela 5 e para a pedologia conforme a Tabela 6. Se por ventura, alguma classe de rocha ou de solo não se encontrar dentro das estabelecidas nas tabelas, se utiliza uma sigla que melhor caracterize a unidade (SBROGLIA, 2015).

Tabela 5 - Simbologia Simplificada das classes pedológicas.

Sigla	Classificação	Sigla	Classificação
A	Aluviais	P	Podzóis Indrimados
AQ	Areia Quartzosa	PB	Podzólico Bruno-Acidentado
B	Brunizém	PE	Podzólico Vermelho-Escuro
BV	Brunizém Vértico	PL	Planossolo
C	Cambissolo	PLV	Planossolo Vértico
CB	Cambissolo Bruno	PLP	Planossolo Plíntico
GH	Glei	PT	Plintossolo
HO	Solo Orgânico	PV	Podzólico Vermelho-Amarelo
LA	Latossolo Amarelo	R	Litólico
LB	Latossolo Bruno	TR	Terra Roxa Estruturada
LBC	Latossolo Bruno Câmbico	TB	Terra Bruna-Estruturada
LBR	Latossolo Bruno-Roxo	TBR	Terra Bruna-Roxa
LE	Latossolo Vermelho-Escuro	TBV	Terra Bruna Podzólica
LR	Latossolo Roxo	V	Vertissolo
LV	Latossolo Vermelho-Amarelo		

Fonte: Sbroglia (2015).

Tabela 6 - Simbologia Simplificada das unidades geológicas.

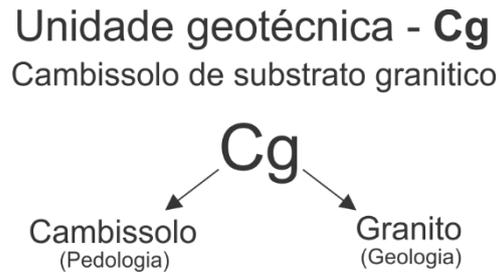
Sigla	Classificação	Sigla	Classificação
a	Arenito	g	Granito
ag	Argilito	gl	Granulito
an	Andesito	gn	Gnaisse
ar	Ardósia	Gd	Granitoide
b	Basalto	ma	Mármore
br	Brecha	p	Pelito
c	Conglomerado	q	Quartzito
ca	Calcário	r	Riolito
cm	Complexo Metamórfico	si	Sienito
cr	Carvão	s	Siltito
d	Diorito	sq	Sedimentos quaternários
da	Dacito	st	Sedimentos terciários
f	Folhelho	x	Xisto

Fonte: Sbroglia (2015).

As letras maiúsculas correspondem a classificação pedológica dos horizontes superficiais (horizonte A e B) referentes a pedologia, enquanto as letras minúsculas identificam

a geologia dos horizontes mais profundos (horizonte C, RA e R) referentes a geologia, conforme a Figura 4. Na classificação geológica, é sempre levado em consideração a rocha dominante. Contudo, se houver mais de uma litologia presente no substrato, adotam-se as siglas destas litologias em letras minúsculas e separadas por vírgulas.

Figura 4 - Exemplo da unidade geotécnica Cambissolo de Granito seguindo a formatação proposta.



Fonte: Próprio autor.

Com o mapa geotécnico preliminar elaborado, se faz necessária a realização de ensaio geotécnicos específicos em cada unidade geotécnica para se obter o comportamento geomecânico de cada polígono gerado. Para isso, é necessário direcionar os ensaios geotécnicos para a área de possível ocupação, possibilitando determinar com mais precisão o comportamento do solo.

2.2 ENSAIOS GEOTÉCNICOS

O conjunto de ensaios geotécnicos realizados em laboratório é a principal etapa de todo o processo de mapeamento geotécnico. É nesse momento que se é obtido todos os parâmetros físicos do solo e a partir desses dados estimar o seu comportamento geomecânico.

De acordo com Marinho (2005) os ensaios de laboratório não devem ser vistos unicamente como uma maneira de se obter os parâmetros físicos para projeto e análise. Os experimentos em laboratório são uma importante ferramenta para a investigação de problemas específicos de cada obra.

Para Espíndola (2011) os ensaios laboratoriais têm como finalidade sempre reproduzir a situação de campo. Ainda sendo possível reproduzir situações extremas que não seriam financeiramente viáveis em campo, como simulações de ruptura, entre outros tipos de esforços provenientes de obras de engenharia.

2.2.1 Amostragem

A amostragem é o processo da coleta da amostra de solo, em profundidades variadas, para análise. A qualidade dos resultados obtidos está diretamente ligada a qualidade da amostragem. Durante a amostragem, é necessário tomar cuidado não somente com os aspectos físicos da amostra, mas também com a sua representatividade (MARINHO, 2005).

A amostragem é um processo que necessita de extremo cuidado para ser realizado. A perturbação da estrutura do solo pode ocorrer tanto em ensaios no campo quanto em amostras de laboratório, sendo essas as mais suscetíveis a perturbações (ESPINDOLA, 2011).

As amostras podem ser definidas como deformadas e indeformadas. As amostras deformadas geralmente são coletadas através de trados de amostragem e são utilizadas nos ensaios de classificação, como granulometria, limites de consistência, massa específica dos sólidos, entre outros. Já as amostras indeformadas são coletadas com moldes de variados formatos, dependendo do tipo de ensaio que será realizado e se faz necessária para ensaios como cisalhamento direto, compressão triaxial, adensamento, entre outros (SILVA, 2016).

2.2.2 Caracterização dos solos

Os ensaios de caracterização são os responsáveis por determinar a granulometria do solo, seus limites de consistência, os índices físicos, teor de umidade, composição mineralógica e o teor de matéria orgânica presente no solo.

Cada ensaio tem seu procedimento definido pela sua Norma Brasileira Regulamentadora (NBR) específica. A seguir serão apresentados cada um dos ensaios citados e seus respectivos procedimentos.

2.2.2.1 Análise Granulométrica

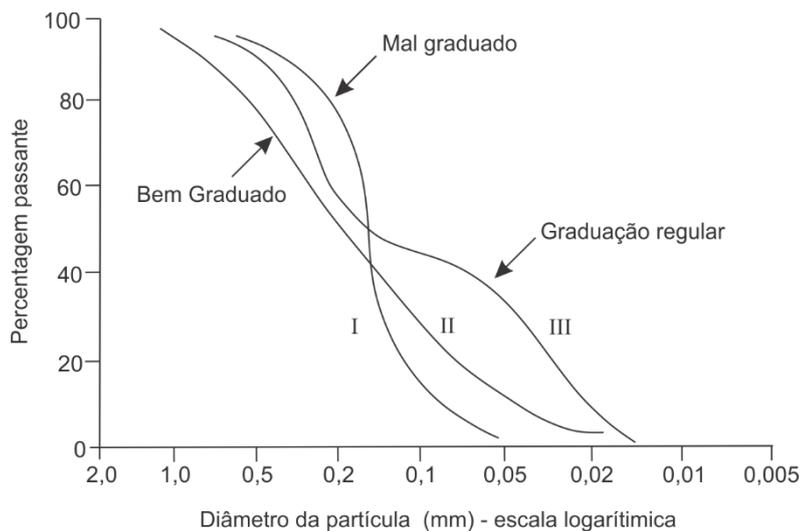
A análise granulométrica dos solos é regida pela NBR 7181. O objetivo é obter a curva granulométrica que descreve a distribuição dos grãos do solo de acordo com a sua dimensão. Segundo a NBR 6502 da ABNT (1995), as frações granulométricas são definidas em pedregulho, areia grossa, areia média, areia fina, silte e argila.

Essa definição é obtida durante o processo de peneiramento e sedimentação do material. O peso obtido em cada etapa é um percentual do peso seco da amostra, essa

informação juntamente com o diâmetro da partícula permite elaborar um gráfico que ilustra a curva granulométrica do material.

A curva de distribuição granulométrica não mostra apenas a variação do tamanho das partículas presentes na amostra, mas também como essas partículas estão distribuídas. Essas distribuições estão representadas no Gráfico 1. A curva I representa um solo onde a maioria dos grãos possuem o mesmo tamanho, denominado de solo *mal graduado* ou *uniforme*. A curva II representa um solo que possui os mais variados tamanhos de grãos, denominado como *bem graduado* ou *desuniforme*. Um solo também pode ter uma combinação de duas ou mais frações com granulação uniforme. A curva III representa esse solo, chamado de *granulometria descontinua* (DAS, 2011).

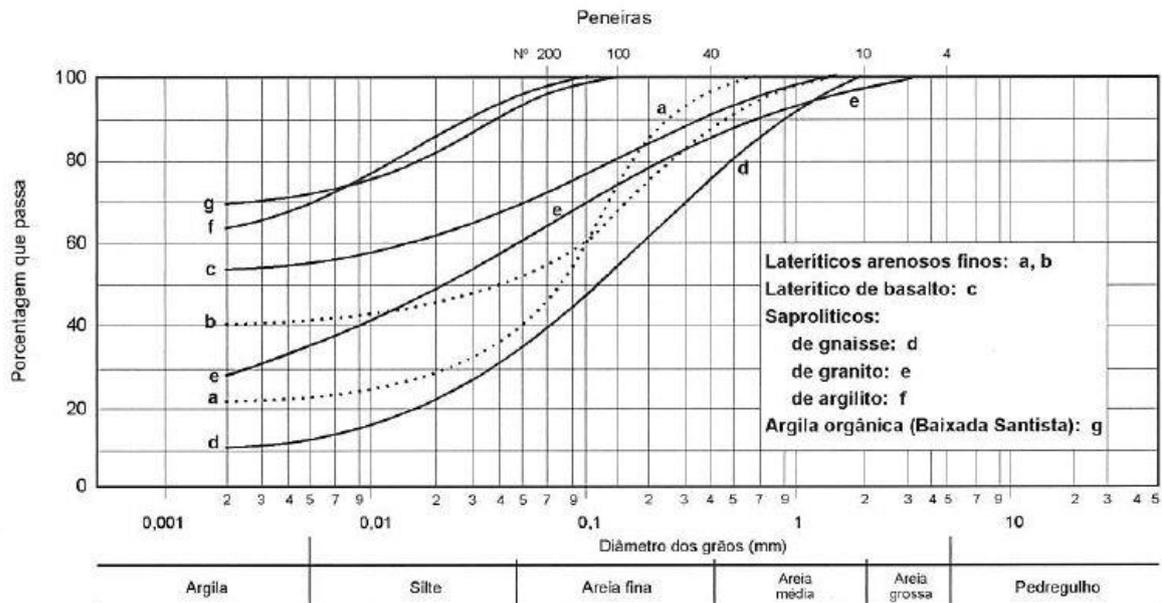
Gráfico 1 - Diferentes tipos de curvas de distribuição granulométrica.



Fonte: Modificado de DAS (2011).

Pinto (2006) compila exemplos de curvas granulométricas de alguns solos brasileiros. Embora solos com a mesma origem apresentem características comuns, é normal que apresentem alguma dispersão. As curvas expostas na Gráfico 2 devem ser consideradas como exemplos, pois presume-se que, em uma mesma formação, ocorra variações nos resultados finais, mesmo mantendo as características básicas.

Gráfico 2 - Curvas granulométricas de solos brasileiros.



Fonte: Pinto (2006).

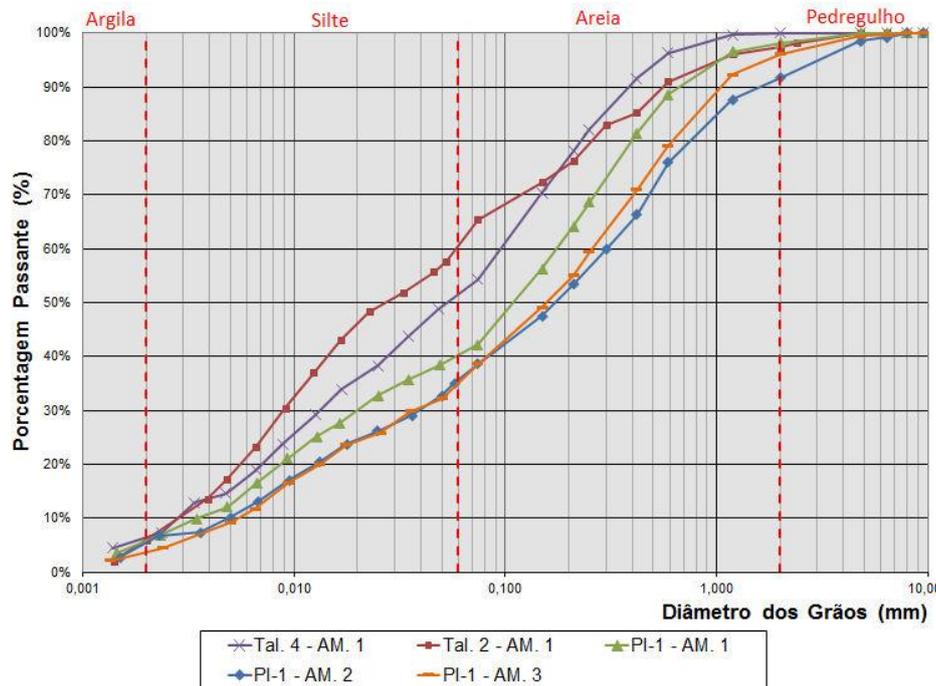
Godoi (2014) estudou um solo residual de gnaiss dentro da região de Santo Amaro da Imperatriz – SC. O solo apresentou em campo a classificação táctil-visual como um solo silto arenoso. Nas curvas granulométricas obtidas em laboratório, as curvas apresentaram um comportamento variando de silto arenoso, corroborando com a classificação de campo, tendendo para um solo areno siltoso. A Tabela 7 mostra os resultados obtidos e as curvas granulométricas geradas são apresentadas no Gráfico 3.

Tabela 7 - Valores de granulometria de um solo residual de gnaiss em Santo Amaro da Imperatriz - SC

Amostra	Profundidade (m)	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	Pedregulho (%)
TAL-4-AM-1	0,5	6,26	45,08	48,66	0
TAL-2-AM-1	0,5	5,89	54,45	37,08	2,58
PI-1 – AM-1	1,00	5,69	34,45	58,01	1,85
PI-1 – AM-2	2,00	5,3	30,37	56,07	8,26
PI-1 – AM-3	3,00	3,65	31,17	61,31	3,87

Fonte: Godoi (2014).

Gráfico 3 - Curvas granulométricas de um solo residual de gnaise em Santo Amaro da Imperatriz – SC em diferentes profundidades



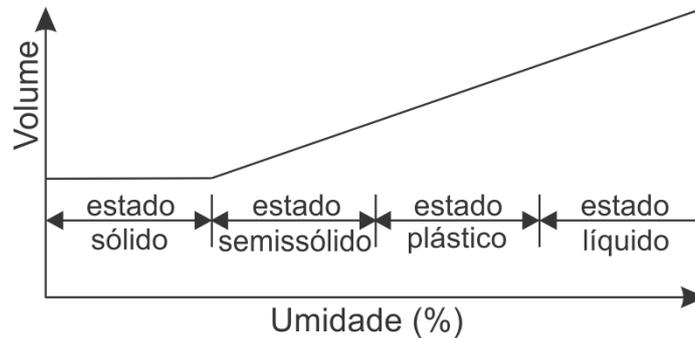
Fonte: Godoi (2014).

2.2.2.2 Limites de Consistência

De acordo com Fiori (2015), o comportamento geomecânico de um solo com uma parcela argilosa altera extremamente em função do teor de umidade, podendo passar de um estado quase líquido até um estado sólido, como por exemplo as lamas e as cerâmicas. Durante essa transição, podem ser determinados vários estados intermediários de consistência e seus respectivos teores de umidade. Esses limites de consistência onde ocorre a transição dos estados são conhecidos como limites de Atterberg, em referência ao engenheiro agrônomo sueco Albert Atterberg (1911) que propôs essa subdivisão.

Segundo Das (2011) o limite onde ocorre a transição do estado sólido para o semissólido é definido como *limite de contração (LC)*, e é expresso em percentual. O limite onde ocorre a passagem do estado semissólido para o estado plástico é o *limite de plasticidade (LP)*, e do estado plástico para o estado líquido é chamado de *limite de liquidez (LL)*. A Figura 5 representa as relações entre os diferentes estados e os limites de consistência de um solo.

Figura 5 - Limites de consistência de Atterberg.



Fonte: Fiori (2015).

No estado sólido o solo não sofre com alterações volumétricas por secagem, oposto ao que acontece no estado semissólido. No estado plástico, o solo se torna facilmente moldável e pode sofrer deformações rápidas sem que haja variação perceptível no seu volume, ruptura ou fissuramento. Quando se encontra no estado líquido, o solo se comporta como fluido, não tendo uma forma própria e nem apresentando resistência ao cisalhamento (SBROGLIA, 2015).

A determinação do limite de liquidez (LL) é regida pela NBR 6459 da ABNT (1984) enquanto a determinação do limite de plasticidade (LP) é regida pela NBR 7180 da ABNT (1984). Na Tabela 8 são apresentados alguns valores típicos de LL e LP para alguns solos brasileiros.

Tabela 8 - Valores típicos de LL e LP de alguns solos.

Solo	LL (%)	LP (%)
Residual de gnaise	45 – 55	20 – 25
Residual de granito	45 – 55	14 – 18
Residual de basalto	45 – 70	20 – 30
Residuais de arenito (arenosos finos)	29 – 44	11 – 20
Argilas orgânicas de várzeas quaternárias	70	30
Argilas orgânicas de baixadas litorâneas	120	80
Argilas duras, cinzas, de São Paulo	64	42

Fonte: Pinto (2006).

A diferença entre o LL e o LP é chamado de Índice de Plasticidade (IP), e fornece informações sobre a amplitude da faixa de plasticidade do solo, logo quanto maior for o IP, mais plástico é o solo (FIORI, 2015). A Tabela 9 apresenta a denominação dos IP para cada faixa de valores.

Tabela 9 - Classificação dos solos em função do IP.

Denominação	Índice de plasticidade
Não plásticos	$IP < 1$
Levemente plásticos	$1 < IP < 7$
Moderadamente plásticos	$7 < IP < 17$
Altamente plásticos	$17 < IP < 35$
Extremamente plásticos	$IP > 35$

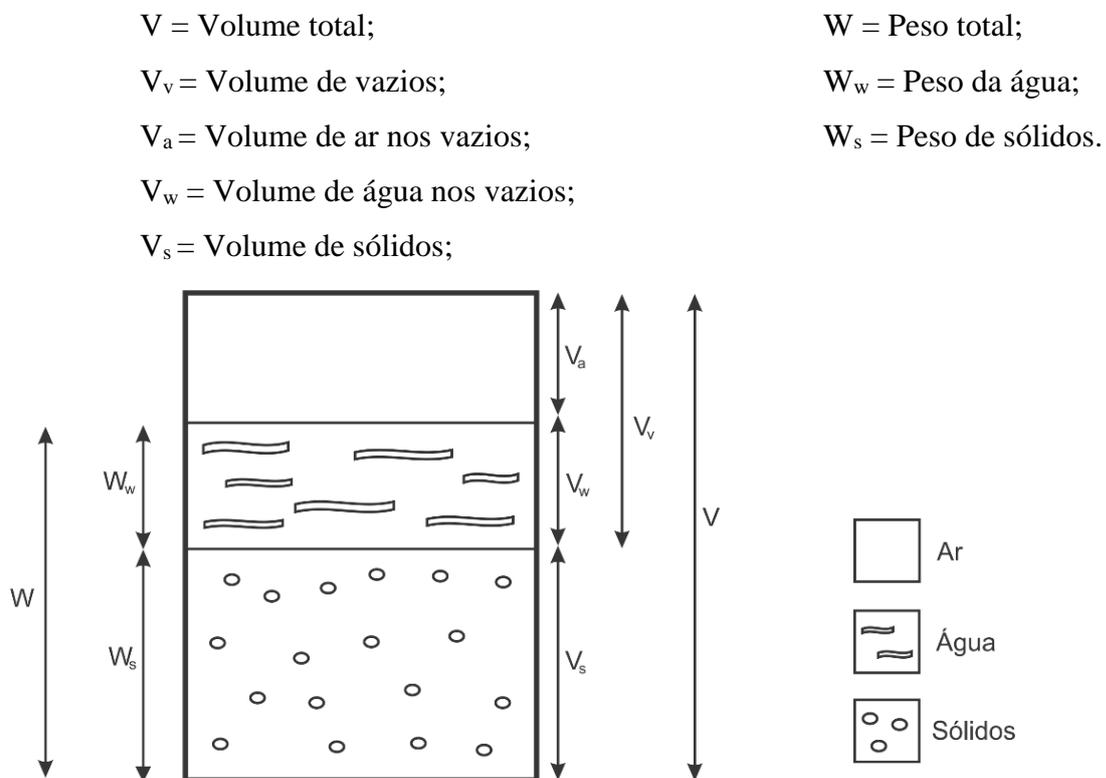
Fonte: Fiori (2015).

2.2.2.3 Índices físicos

Uma massa de solo pode ser considerada como um sistema trifásico composto de partículas sólidas, gases e líquido. Os índices físicos do solo expressam relações matemáticas entre pesos e volumes dos componentes de uma massa de solo, ou seja, entre seus componentes sólidos, líquidos e gasosos.

A Figura 6 mostra a distribuição desse sistema trifásico dentro do solo e seus respectivos pesos e volumes:

Figura 6 - Sistema trifásico do solo.



Fonte: Modificado de DAS (2011).

Fiori (2015) define os principais índices físicos como:

- Teor de umidade ou umidade natural ($w\%$): É definido pela razão entre o peso de água (W_w) pelo peso do material (W_s), e é expresso em porcentagem.
- Índice de vazios (ϵ): É definido pela relação entre o volume de vazios (V_v) e o volume de sólidos (V_s). É uma medida de densidade e representa uma das características mais importante para a definição de um solo. É normalmente expresso como decimal.
- Porosidade (η): É expressa pela razão do volume de vazios (V_v) pelo volume total (V) da massa amostrada. A porosidade é uma propriedade do solo usada geralmente pela agricultura, porém, também se aplica a geotecnia e é expressa em porcentagem.
- Grau de saturação (S): É dado pela razão do volume de água (V_w) pelo volume de vazios (V_v). O grau de saturação mostra o a porcentagem de água que está presente nos vazios. Essa determinação é muito importante no estudo das propriedades físicas do solo, pois influencia na permeabilidade, compressibilidade e na resistência a ruptura. Se o solo estiver seco, então S é igual a zero e, se todos os poros estiverem preenchidos por água, o solo é dito saturado e S será igual a 1, pois $V_a = V_v$.

Segundo a IAEG (1979), o grau de saturação pode ser classificado conforme a Tabela 10.

Tabela 10 - Denominação do grau de saturação segundo a IAEG (1979).

Grau de Saturação (%)	Denominação
0 – 0,25	Naturalmente seco
0,25 – 0,50	Úmido
0,50 – 0,80	Muito úmido
0,80 – 0,95	Altamente saturado
0,95 - 1	Saturado

Fonte: Fiori (2015).

- **Peso específico natural (γ_{nat}):** É definido como a razão entre o peso da amostra e o seu volume, como coletada em campo. É utilizado para calcular as pressões atuantes no solo presente na região estudada.
- **Peso específico dos sólidos (γ_s):** É a relação entre o peso dos grãos constituintes do solo e seu respectivo volume ocupado. O peso específico não pode ser confundido com a massa específica (d) de um material, que é a razão da massa pelo volume de material. A massa específica (m) é determinada em laboratório através do ensaio regido pela NBR NM 52 da ABNT (2003) e é geralmente expressa em g/cm^3 . Como para a maioria dos cálculos se utiliza o peso específico, multiplica-se a massa específica pela aceleração da gravidade, logo, se obtém o peso específico.
- **Densidade Relativa dos grãos (δ):** É definido como a razão entre o peso específico dos grãos (γ_s) e o gama da água (γ_w). A Tabela 11 mostra valores típicos de densidade relativa de alguns minerais comuns nos solos.

Tabela 11 - Valores típicos de densidade relativa de minerais comuns nos solos.

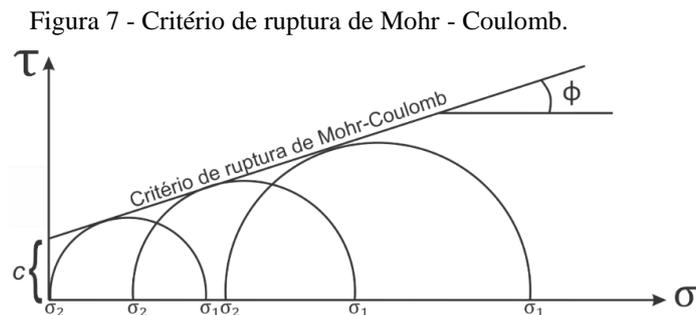
Mineral	δ	Mineral	δ
Bauxita	2,0 – 2,55	Montmorilonita	2,40
Ortoclásio	2,56 – 2,58	Ilita	2,60
Quartzo	2,65	Caulim	2,60 – 2,63
Clorita	2,60 – 2-90	Plagioclásio	2,62 – 2,76
Talco	2,70 – 2,80	Calcita	2,80 – 2,90
Biotita	2,70 – 3,10	Muscovita	2,76 – 3,10
Limonita	3,6 – 4,50	Pirita	4,95 – 5,10
Hematita	4,90 – 5,30	Magnetita	5,17 – 5,18

Fonte: Fiori (2015).

2.2.3 Ensaio de cisalhamento direto

A resistência ao cisalhamento de um solo é a resistência interna por área unitária que essa massa é capaz de resistir a rupturas e deslizamentos ao longo de qualquer plano no interior de sua estrutura.

O mais simples e mais conhecido critério de ruptura de um solo é conhecido como critério de Mohr-Coulomb, esse método consiste em uma reta que tangência os círculos de Mohr, sendo que esse representa as combinações dos principais esforços atuantes (Figura 7). A teoria afirma que um material se rompe pela combinação entre as forças normal e de cisalhamento, e não devido apenas à força máxima normal ou de cisalhamento isoladamente (DAS, 2011).



Fonte: Fiori (2015).

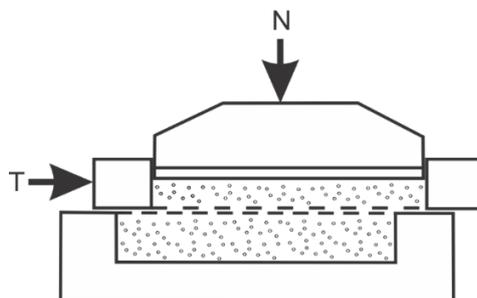
A reta que define o critério de ruptura de Morh-Coulomb é definida pela equação 1:

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg}\phi \quad (1)$$

onde τ representa o pico do esforço cisalhante ou o pico de resistência ao cisalhamento, ϕ é o ângulo de atrito interno ou ângulo de atrito entre duas superfícies, c é a coesão do material e σ é a componente do esforço que atua perpendicularmente ao plano de ruptura (FIORI, 2015).

O ensaio de cisalhamento direto é regido pela NBR 6122 da ABNT (2010) e é a mais antiga e mais simples forma de arranjo para se cisalhar um corpo de prova. Um pequeno diagrama do equipamento que é usado no ensaio é apresentado na Figura 8.

Figura 8 - Diagrama do arranjo para ensaio de cisalhamento direto.



Fonte: Pinto (2006).

O equipamento de ensaio consiste em uma caixa metálica, no qual o corpo de prova de solo é colocado e submetido a uma tensão normal e a uma tensão cisalhante. A caixa é dividida em duas metades horizontalmente. A força normal é aplicada a partir do topo da caixa de cisalhamento e a força cisalhante é aplicada horizontalmente em uma das partes da caixa de cisalhamento, essa força é a que provoca a ruptura no corpo de prova do solo.

Esse procedimento é realizado com diferentes tensões normais, dessa forma é possível se obter uma envoltória de ruptura para cada tensão normal e se determinar as suas respectivas tensões de ruptura. É também através dessa envoltória que é possível se determinar os valores dos parâmetros de resistência, c e ϕ .

A Tabela 12 expõe resultados de resistência de solos de diferentes locais obtidos através do ensaio de cisalhamento direto com corpos de prova inundados. Os resultados foram obtidos por Higashi (2006), Godoi (2014) e Sbroglia (2015) nos municípios de Tubarão - SC, Santo Amaro da Imperatriz - SC e Ilhota - SC, respectivamente.

Tabela 12 - Valores de coesão e ângulo de atrito para algumas localidades de SC.

Autor	Unidade Geotécnica	Coesão (kPa)	Ângulo de Atrito (°)
Higashi (2006)	PVg	11	31,4
	Cde	3,58	32,1
	Pvg	13,4	35,1
	Cg	12,99	38,7
	Cg	0	41,3
	Cg	1,36	31,5
	Cg	11,84	23,2
	Cg	10,95	31,6
	Pvg	7,3	33,7
Sbroglia (2015)	Ca	8,42	26,5
	Cc	5,24	29,2
	Cf	2,94	25,3
	Cgn	6,95	31,8
	Cpi	12,96	15,8
Godoi (2014)	Residual de Gnaisse	11,6	35,1
	Residual de Gnaisse	10,4	32,8
	Residual de Gnaisse	13,0	37,9
	Residual de Gnaisse	4,2	39,2
	Residual de Gnaisse	17,1	36,7

Fonte: Próprio autor.

2.2.4 Estabilidade de taludes

Um talude pode ser definido como qualquer superfície inclinada natural, no caso de encostas ou vertentes, ou artificial, oriunda de ações antrópicas, caso de cortes e aterros.

Teoricamente, um talude é compreendido como uma massa de solo sujeito a três forças: forças devidas ao peso dos materiais, devidas ao escoamento da água, e forças advindas à resistência ao cisalhamento. A estabilidade de um talude está atrelada ao equilíbrio dessas três forças, uma vez que as duas primeiras tendem a se somar e movimentar a massa de solo pelo plano inclinado abaixo, ao mesmo tempo que a última exerce um efeito contrário, tendendo a parar este movimento (FIORI, 2015).

Segundo Christofolleti, (1979), o movimento de uma encosta natural causado por gravidade recebe o nome de: movimento gravitacional de massa (apud SBROGLIA, 2015).

Existem diferentes tipos de movimentos de massa na natureza, que dependem das variáveis locais do terreno para ser classificado. Contudo, é complicado classificar esse tipo de movimento, pois o mesmo evento pode obter diferentes características durante todo o seu acontecimento (FERNANDES et al., 2001).

A análise de um talude está associada ao equilíbrio das forças que agem dentro do maciço. O equilíbrio é definido pelas forças que atuam induzindo o movimento da massa de solo e pelas forças resistentes, que agem contra as forças atuantes. A segurança de um talude é definida pela razão entre essas forças e é denominada como fator de segurança (FS), conforme

$$FS = \frac{\text{Forças resistentes}}{\text{Forças atuantes}} \quad (2)$$

Logo, quando as forças atuantes atingem o mesmo valor das forças resistentes o FS =1 e a encosta está na iminência de romper.

Para garantir a segurança de taludes naturais e artificiais, a ABNT define através da NBR 11682 de 1991 os valores de fator segurança conforme a Tabela 13.

Tabela 13 - Valores de fator de segurança utilizados.

Grau de segurança necessário ao local	Fator de segurança
Alto	1,5
Médio	1,3
Baixo	1,15

Fonte: ABNT (1991).

O valor de 1,15 para o fator de segurança só pode ser aplicado em obras temporárias e em zonas rurais de baixíssimo risco a população. Para a estabilidade de encostas naturais e obras permanentes, o recomendado é se obter o $FS \geq 1,5$.

2.3 CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS

A classificação dos solos tem por finalidade agrupar solos com características semelhantes, desse modo é possível prever o seu comportamento geomecânico de forma a direcionar o rumo de investigações para fins variados. Existem vários métodos para se realizar esse processo mudando o que é avaliado por cada um, para uns é em função da sua origem, outros da sua estrutura, da gênese e da presença de matéria orgânica. Para Pinto (2006), os solos classificados por sua origem são divididos em dois principais grupos: os solos residuais e os solos sedimentares

Os solos residuais são gerados pelo intemperismo das rochas e não sofreram nenhum tipo de transporte, por tanto se encontram *in situ*. Neste contexto, a composição do solo vai depender exclusivamente da litologia presente local e como essa reage ao intemperismo. Nesse tipo de solo, existe uma graduação natural do solo propriamente dito até a rocha mãe. Essa transição geralmente reflete no aumento da resistência e na redução da compressibilidade quanto mais próxima da rocha mãe está se aproximando.

Os solos sedimentares são aqueles que foram transportados do seu local de origem por algum agente transportador. Os agentes transportadores colaboram para a classificação dos solos, já que cada um transporta de maneira diferente as partículas e altera como elas são encontradas no local. Os solos são classificados conforme seu agente transportador e sua deposição, conforme a Tabela 14.

Os solos sedimentares apresentam características geomecânicas ligadas diretamente ao seu agente transportador, desse modo, cada depósito de solo sedimentar pode ser mais

inconsolidado e fofo que os residuais, podendo ter também profundidade variável (VARGAS, 1977).

Para a geotecnia, os sistemas de classificação usados no Brasil, normalmente empregam os limites de Atterberg e a granulometria para classificar os solos, destes, podem se salientar a classificação ASSHTO – *American Association of State Highway and Transportation Official* (1945) e, principalmente a classificação unificada SUCS – Sistema Unificado de Classificação dos Solos (1952).

Tabela 14 - Classificação dos solos sedimentares de acordo com o seu agente transportador e local de deposição

Classificação dos solos Sedimentares	Agente transportador e deposição
Aluvionar	Transportado pelo rio e depositado ao longo das suas margens
Eólico	Transportado e depositado pelo vento
Lacustre	Transportado pela água e depositado em lagos
Marinho	Transportado pela água depositado no mar
Coluvial	Transportado por gravidade e depositado na base das encostas

Fonte: Próprio autor.

Segundo a Embrapa Solos, unidade da Empresa de Pesquisas Agropecuárias (EMBRAPA) (2013). Todas as características morfológicas são relevantes e para a se caracterizar e classificar os solos, contudo algumas são indispensáveis, como cores úmida e seca dos horizontes superficiais e subsuperficiais, a textura, a estrutura, a consistência, superfícies de compressão e outras.

O SiBCS é o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos e utiliza das características morfológicas citadas para diagnosticar um solo. A classificação definitiva só é concluída após o recebimento e interpretação de todas as análises feitas em laboratório referentes ao perfil.

A classificação está dividida em 6 níveis categóricos, onde os quatro primeiros são denominados de ordens, subordens, grandes grupos e subgrupos respectivamente, e os dois últimos níveis ainda não foram decididos até o presente momento.

O primeiro e mais importante nível categórico é a ordem do solo, esse nível leva em consideração a morfologia e os processos de formação do solo. Esse nível está dividido em 13 ordens distintas, são elas: Argissolos, Cambissolos, Chernossolos, Espodossolos, Gleissolos,

Latossolos, Luvisolos, Neossolos, Nitossolos, Organossolos, Planossolos, Plintossolos e Vertissolos.

As ordens são determinadas principalmente pelos horizontes diagnósticos que as compõem. A Tabela 15 mostra algumas características e os respectivos horizontes diagnósticos de cada uma das 13 ordens do SiBCS.

Tabela 15 - Tipos de horizontes diagnósticos e características associadas às ordens de solos.

Ordem	Características Associadas
Argissolo	Horizonte B textural
Cambissolo	Horizonte B incipiente
Chernossolo	Horizonte A chernozêmico, preto, rico em bases
Espodossolo	Horizonte B espódico
Gleissolo	Horizonte Glei
Latossolo	Horizonte B Latossólico
Luvisolo	Sem horizonte. Saturado e rico em argila
Neossolo	Sem horizonte. Jovem, em formação
Nitossolo	Horizonte B nítico
Organossolo	Horizonte H ou O hístico
Planossolo	Horizonte B plânico
Plintossolo	Horizonte plântico
Vertissolo	Horizonte vértico

Fonte: EMBRAPA (2013).

2.4 MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA

Segundo Selby (1993), os movimentos de massa são considerados como processos naturais que tem a capacidade de transportar volumes de solo e rochas através de uma vertente abaixo sob ação da gravidade.

Para Silveira (2008), os movimentos de massa são definidos como mecanismos capazes de transportar sedimentos, solos ou rochas, através da força gravitacional isolada ou em conjunto com fatores como águas superficiais e subterrâneas ou ações antrópicas.

Vários autores classificam os movimentos de massa a partir da velocidade que o fenômeno ocorre, tipo de material, geometria da massa movimentada, modo de deformação e o conteúdo de água presente no momento do evento.

Internacionalmente, a classificação mais utilizada é a proposta por Cruden e Varnes (1996). Contudo, no Brasil destacam-se as classificações definidas por Freire (1965), Guidicini e Nieble (1984) e do IPT (1991) e Augusto Filho (1994). Os autores classificam os movimentos de massa como rastejos (*creeps*), fluxo ou corridas massa (*flows*), deslizamentos rotacionais (*slumps*), deslizamentos translacionais (*landslide*) e queda bloco (*rock fall*).

Os rastejos (*creep*) tem a característica de serem movimentos muito lentos e contínuos, avançando de camadas superficiais para camadas mais profundas do solo (AUGUSTO FILHO, 1994). Estão condicionados pela força gravitacional e variações de temperatura e umidade, fatores que resultam na contração e expansão do solo da encosta (GUIDICINI; NIEBLE, 1984).

Os fluxos ou corridas de massa (*flows*), são movimentos rápidos com material viscoso devido à alta umidade proveniente de áreas côncavas das encostas, que favorecem o acúmulo de água. Munido de um alto poder destrutivo, os fluxos são capazes de agregar grandes massa de solo em um curto período de tempo e se deslocar em altas velocidades percorrendo grandes distâncias (SELBY, 1993; GUIDICINI; NIEBLE, 1984).

Os deslizamentos rotacionais (*slumps*) são caracterizados por possuírem uma superfície de ruptura curva, côncava para cima, onde o movimento ocorre em função de um eixo central (AUGUSTO FILHO, 1994). São acentuados na presença de solos espessos formados pela alteração de rochas ricas em materiais argilosos como folhelhos e argilitos (FERNANDES; AMARAL, 2003).

Os deslizamentos translacionais (*shallow*) é a forma mais frequente de movimento de massa, ocorrendo principalmente em solos pouco desenvolvidos associados a altas declividades. Apresenta deslocamento rápido e de curta duração proveniente de uma superfície de ruptura planar. Segundo Guidicini e Nieble (1984), esse tipo de movimento pode estar atrelado a planos de fraqueza ao longo da interface solo-rocha, permitindo a infiltração de água ocasionando o aumento da poropressão e diminuição da coesão efetiva do solo.

As quedas de blocos estão tipicamente associadas a regiões de relevo muito íngreme e paredões rochosos. São movimentos rápidos e não possui uma superfície de deslizamento, ocorrendo como queda livre de blocos devido a ação gravitacional (CRUDEN; VARNES, 1996). É favorecida pela presença de planos de fraqueza nas rochas, potencializando a ação do intemperismo e diminuindo gradativamente a resistência das rochas (FERNANDES; AMARAL, 2003).

2.5 TRATAMENTO ESTATÍSTICO DE DADOS

Ao se possuir um banco de dados e querer aplicá-lo de alguma maneira é necessário se fazer uma análise desses dados e entender de que maneira eles se comportam. Para isso é necessário trabalhar os dados para transforma-los em informações para aí sim poder utiliza-los.

A inferência estatística é uma das partes da Ciência estatística que tem por objetivo a coleta, redução, análise e modelagem dos dados, e então realizar a inferência para uma população de dados. Um aspecto importante da modelagem dos dados é realizar previsões, a partir das quais se podem tomar decisões (BUSSAB, 2009).

Sempre que se procede com uma análise de dados, busca-se alguma forma de regularidade ou padrão ou, ainda, um modelo que represente os dados. A parte do modelo é onde os dados costumam se comportar, é onde está a principal resposta dos dados. Contudo, existem também os dados que não estão dentro desse modelo. A parte que se encontra fora, é chamada de resíduo e é tão importante quanto o modelo, já que é através dos resíduos que pode dizer se o modelo está adequado ou não para representar os dados.

2.5.1 Distribuição Normal e Quantis Empíricos

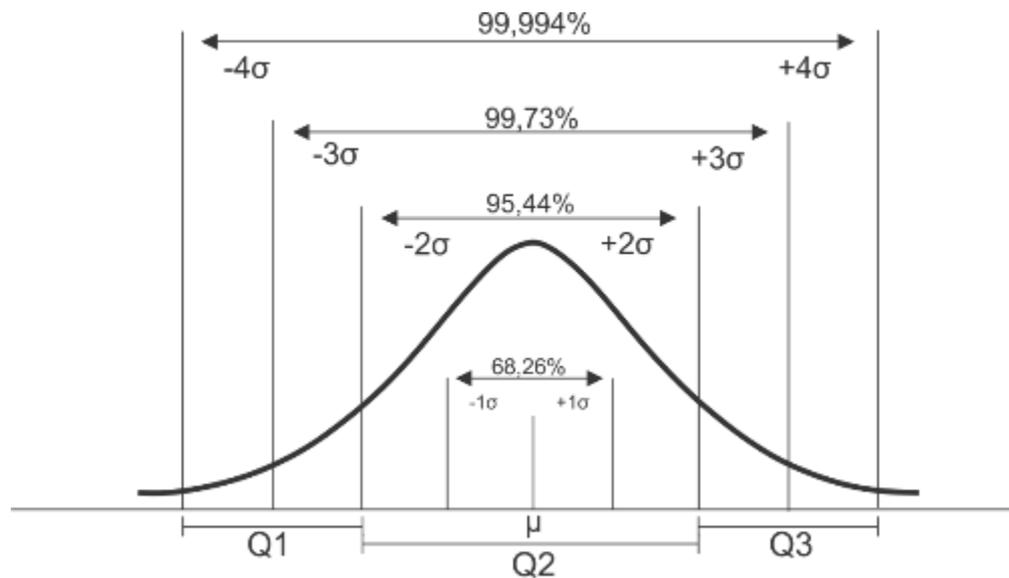
Para um grupo de dados, a média e o desvio padrão podem não ser medidas adequadas para representar efetivamente um conjunto de dados, pois esses parâmetros podem ser facilmente destoados se houver algum valor muito discrepante.

Para lidar com isso, se utiliza outra medida, os quantis. Esses quantis expressam valores dados ao conjunto de observações ordenado em ordem crescente, dividindo a distribuição em quatro partes iguais.

O primeiro quantil (Q1), é o número que deixa 25% das observações abaixo e 75% acima, enquanto o terceiro quantil (Q3), deixa 75% das observações abaixo e apenas 25% acima. Logo, o segundo quantil (Q2) é a mediana e deixa 50% das observações acima e 50% abaixo.

Os quantis mostram a simetria dos dados, se o banco de dados for perfeitamente simétrico, obteremos uma distribuição normal dos dados, conforme a Figura 9.

Figura 9- Distribuição normal e quantis empíricos.



Fonte: Modificado de Bussab (2009).

2.5.2 Distribuição ‘t’ de Student

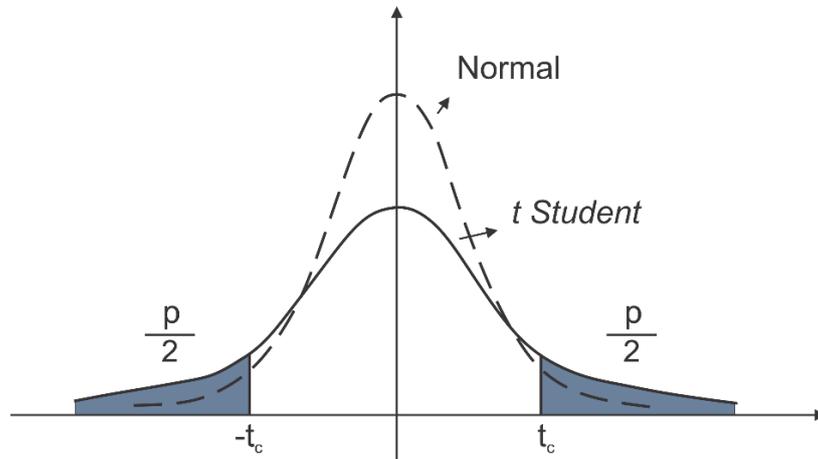
Desenvolvida no final do século passado pelo estatístico Willian Sealy Goesset, que utilizava o pseudônimo Student para fazer suas publicações, essa distribuição é utilizada para inferências estatísticas de pequenas amostras.

Para utilizar essa distribuição, deve se partir do pressuposto que a população da qual foi retirada a amostra possua uma distribuição normal, mas não se conheça a variância populacional.

A distribuição ‘t’ de *Student* tem sua forma similar à da distribuição normal, contudo, é mais achatada no centro e tem suas caudas mais alongadas (Figura 10). Diferentemente da distribuição Normal, essa distribuição não tem uma forma fixa, mas um conjunto de curvas que representa cada tamanho de amostra.

Esta distribuição possui um parâmetro denominado de “grau de liberdade”. Os graus de liberdade são o número de escolhas livres deixadas depois uma amostra estatística é calculada. Conforme os graus de liberdade aumentam, essa distribuição se aproxima da distribuição Normal, sendo que para mais de 30 graus de liberdade, a distribuição t se comporta muito próximo a uma distribuição normal (OLIVEIRA, 2010).

Figura 10 - Distribuição 't' de Student e a distribuição normal padrão.



Fonte: Adaptado de Oliveira (2010).

Para se obter a significância desejada, ou seja, a certeza de que o parâmetro avaliado está incluso nos dados, ao utilizar essa distribuição, se faz necessário determinar um valor de t_c tabelado para ele. Para isso, foi desenvolvida a tabela de valores de t_c para variados níveis de significância e graus de liberdade desejados. Assim, é possível utilizar essa distribuição para se encontrar valores variados da mesma amostra, apenas alterando o valor de significância “p” desejada.

O intervalo de confiança é a amplitude em que os valores, derivados estaticamente das amostras, tem a probabilidade de ocorrer. Ou seja, o intervalo de confiança é usado para avaliar a estimativa do parâmetro estudado.

Com uma série de intervalos de confiança é possível atrelar um nível de confiança aos dados. Esse dado representa a porcentagem de intervalos de confiança que contém o parâmetro estudado na mesma população e também a porcentagem esperada de dados que são destoantes.

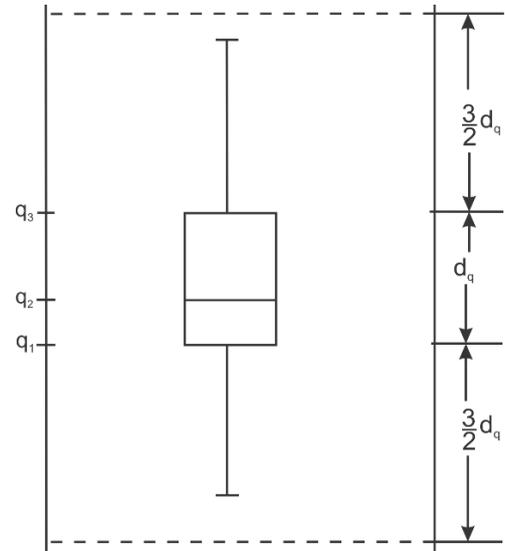
Através desses conceitos é possível estimar o comportamento de uma população de dados e obter valores válidos para serem utilizados no que se é pesquisado.

2.5.3 Box Plot

Para construir este tipo de diagrama, consideremos um retângulo onde estão representados a mediana e os quartis. A partir do retângulo, para cima, segue uma linha até o ponto mais remoto que não exceda $LS = q_3 + (1,5)d_q$, chamado limite superior. De modo similar, da parte inferior do retângulo, para baixo, segue uma linha até o ponto mais remoto que não seja menor do que $LI = q_1 - (1,5)d_q$, chamado limite inferior. Os valores compreendidos entre esses dois limites são chamados valores adjacentes. As observações que estiverem acima do limite superior ou abaixo do limite inferior estabelecidos serão chamadas pontos exteriores e representadas por asteriscos. Essas são observações destoantes das demais e podem ou não ser o que chamamos de *outliers* ou valores atípicos. Do ponto de vista estatístico, um *outlier* pode ser o produto de um erro de observação ou de arredondamento.

O *box plot* que está ilustrado na Figura 11, dá uma ideia da posição, dispersão, assimetria, caudas e dados discrepantes. A posição central é dada pela mediana e a dispersão por d_q . As posições relativas de q_1 , q_2 , q_3 dão uma noção da assimetria da distribuição. Os comprimentos das caudas são dados pelas linhas que vão do retângulo aos valores remotos e pelos valores atípicos (BUSSAB, 2009).

Figura 11- Exemplo de *Box Plot*



Fonte: Modificado de Bussab (2009)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A concepção desse trabalho se dividiu em 6 principais etapas:

1. Análise e interpretação do mapa geotécnico preliminar prévio disponibilizado pelo projeto 79/13 e 80/13 do Ministério das Cidades, e determinação dos pontos passíveis de amostragem em campo.
2. Saídas de campo para a coleta de amostras indeformadas e deformadas para a realização de ensaios de resistência e caracterização dos solos da região de estudo;
3. Realização dos ensaios geotécnicos dentro do Laboratório de Mecânica dos Solos (LMS) no Departamento de Engenharia Civil da UFSC, de modo a se obter os parâmetros físicos e de resistência dos solos;
4. Agregação dos valores obtidos nos ensaios ao banco de dados criado pelo projeto PIBIC-2017-2018 e análise estatística dos parâmetros de resistência dos solos.
5. Utilização dos parâmetros de resistência obtidos estatisticamente para a simulação do comportamento das encostas da região de estudo, determinando as declividades limites para cada Fator de Segurança;
6. Geração das Cartas susceptibilidade a movimentos gravitacionais de massa da região de estudo utilizando os dados obtidos através das simulações.

3.1 ESTUDOS PRELIMINARES

As bases cartográficas utilizadas nesse trabalho foram oferecidas pelos projetos 79/13 e 80/13 do Ministério das Cidades. Essas bases compreendem: mapa geológico elaborado pelo Projeto GERCO, na escala 1:100.000; mapa pedológico do Projeto GERCO, na escala 1:100.000; e as curvas de nível fornecidas pela EPAGRI/CIRAM, na escala 1:50.000.

O sistema de referência geográfica utilizado foi o SIRGAS-2000, juntamente com o sistema de projeção Sistema de Coordenadas em Projeção Universal Transversa de Mercator – UTM no fuso 22S e tendo como datum vertical o Marégrafo de Imbituba/SC.

Utilizando a metodologia apresentada no item 2.1.4.3 e descrita minuciosamente por SBROGLIA (2015) e HIGASHI (2006), foi gerado o mapa geotécnico preliminar da cidade de Santo Amaro da Imperatriz, o qual foi utilizado para a organização das saídas de campo.

Com o auxílio do mapa geotécnico preliminar (Mapa 3), foi realizado um estudo de pré campo onde foi percorrido todo o município a procura de encostas com solo exposto que fossem possíveis de serem amostradas. Nesse processo, averiguou-se 47 pontos plausíveis de amostragem. Contudo, foram selecionadas 11 encostas que apresentaram melhor representatividade e facilidade de amostragem dentro de cada UG (Tabela 16).

As unidades Cf e PVf foram unidas em um único polígono devido a sua proximidade e características semelhantes, facilitando assim a amostragem, recebendo a denominação CF_PVf.

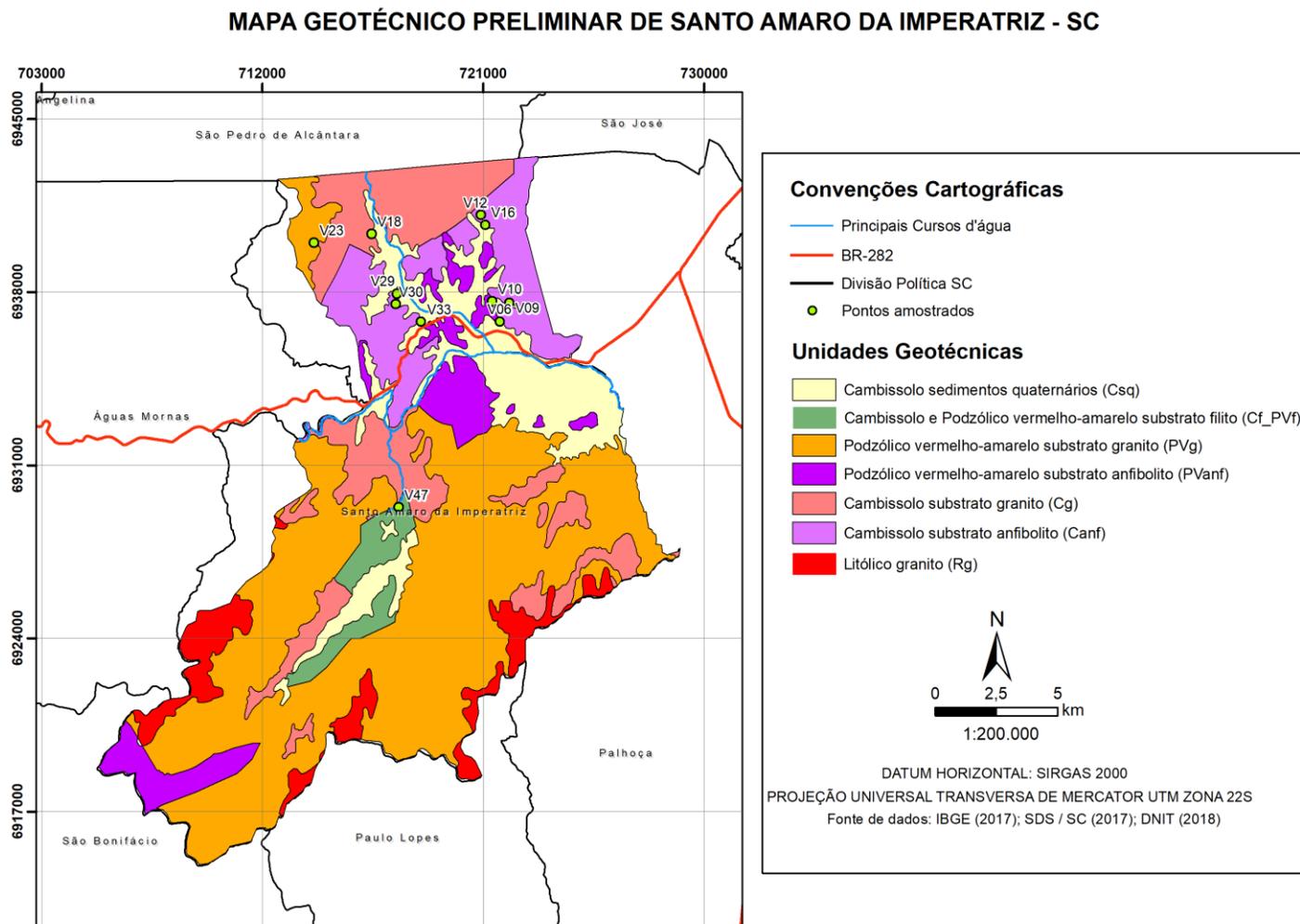
As unidades Csq e Rg não foram amostradas. A primeira por se tratar de uma unidade sem a presença de encostas, já que a mesma é formada predominantemente por planícies. E a segunda por não ter acesso e também não considerar a presença de horizonte de solo na mesma.

Tabela 16 - Pontos amostrados.

Ponto	Unidade Geotécnica	Coordenadas Geográficas		UTM	
		Latitude	Longitude	Sul	Leste
V06	Canf	-27,674773	-48,752477	6936804	721675
V09	Canf	-27,667884	-48,748637	6937560	722067
V10	PVanf	-27,667391	-48,755926	6937628	721349
V12	Canf	-27,634707	-48,761564	6941260	720859
V16	Canf	-27,639569	-48,759167	6940717	721085,4
V18	Cg	-27,643608	-48,806108	6940353	716444,9
V23	PVg	-27,647215	-48,829901	6939995	714089,8
V29	Canf	-27,665169	-48,795231	6937944	717475,6
V30	Canf	-27,669072	-48,795642	6937512	717427,3
V33	Canf	-27,675335	-48,784978	6936800	718467
V47	Cf	-27,743137	-48,792948	6929300	717546

Fonte: Do Autor (2018).

Mapa 3 - Mapa geotécnico preliminar de Santo Amaro da Imperatriz.



Elaboração do layout do mapa: Do autor, 2018. Base de dados: Projetos 79/13 e 80/13; SDS/SC, 2017; IBGE, 2017; DNIT, 2018.

3.2 AMOSTRAGEM

As saídas de campo ocorreram nos dias 7 de julho e 12 de outubro de 2018. O processo de coleta das amostras seguiu a NBR 9604/ABNT (1986). As amostras indeformadas foram coletadas com o auxílio de moldes metálicos quadrados com as dimensões padrão de 20mm de altura e 93,32mm de arestas internas que seriam posteriormente utilizados no ensaio de cisalhamento direto. As coletas foram realizadas em encostas de solo exposto, extraíndo cerca de 30cm da camada superficial afim de eliminar a camada mais afetada pelas intempéries climáticas. Após a retirada, as amostras foram identificadas e envolvidas em papel filme com o intuito de não se perder a umidade natural de campo.

Para a coleta de amostras deformadas se utilizou a mesma trincheira aberta para a coleta das amostras indeformadas. Foi coletado aproximadamente 3kg de solo deformado, ou seja, sem preservar nenhum tipo de estrutura de campo, em sacos plásticos que foram devidamente identificados e vedados visando evitar a perda de umidade para o ar. Essas amostras foram utilizadas posteriormente para os ensaios de caracterização dos solos.

As amostras coletadas foram armazenadas em câmara úmida no Laboratório de Mecânica dos solos da UFSC, evitando que seu teor de umidade fosse alterado.

3.3 ENSAIOS LABORATORIAIS

Os ensaios de cisalhamento direto, análise granulométrica, massa específica dos sólidos e limites de Atterberg, foram realizados no Laboratório de Mecânica dos Solos da UFSC.

3.3.1 Ensaio de caracterização

Buscando-se obter as características de cada ponto de coleta, foram realizados os ensaios de análise granulométrica, massa específica dos sólidos e limites de Atterberg que abrange os ensaios de limite de liquidez e limite de plasticidade e índice de plasticidade. Todos esses ensaios seguiram os procedimentos sugeridos pela ABNT que define cada ensaio. São elas:

- NBR 6457 (1986): Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização;
- NBR 6459 (1984): Solo – Determinação do limite de liquidez;

- NBR 6508 (1984): Determinação da massa específica;
- NBR 7180 (1984): Solo – Determinação do limite de plasticidade;
- NBR 7181 (1991): Solo – Análise granulométrica.

Através desses ensaios foi possível se obter as características físicas de cada ponto de estudo que se fizeram necessárias para as demais análises.

3.3.2 Cisalhamento direto

Os ensaios de cisalhamento direto foram realizados com as amostras indeformadas coletadas em campo. Os ensaios foram realizados em condições de solo inundado com o intuito de simular a pior situação possível dentro de um maciço.

O equipamento de cisalhamento direto (Figura 12) possui um sistema de alavanca que consegue transferir 5 vezes o peso aplicado na ponta da mesma para a amostra, isso somado aos 18kg do peso do próprio sistema é possível estipular a tensão confinante desejada.

Figura 12- Equipamento de cisalhamento direto.



Fonte: Do autor (2018).

As amostras foram submetidas a tensões confinantes previamente estabelecidas, onde cada tensão confinante necessitou de um determinado período de confinamento (Tabela 17). Com o intuito de evitar o surgimento de poropressões dentro do corpo de prova, o ensaio foi realizado com a velocidade de 0,307mm/min.

Tabela 17 - Parâmetros utilizados no ensaio de cisalhamento direto.

Estágio	Peso na ponta da alavanca (kg)	Tensão Normal Aplicada (kPa)	Tempo mínimo de Consolidação (horas)
1°	3	35,36	1
2°	12	83,58	4
3°	22	137,16	12

Fonte: Do Autor (2018).

Com os resultados obtidos em cada etapa de estágio, é possível calcular a envoltória de ruptura para cada ponto, obtendo-se assim seus valores de coesão e ângulo de atrito interno, dados que serão posteriormente anexados ao banco de dados para se realizar a análise estatística.

3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA DE PARÂMETROS

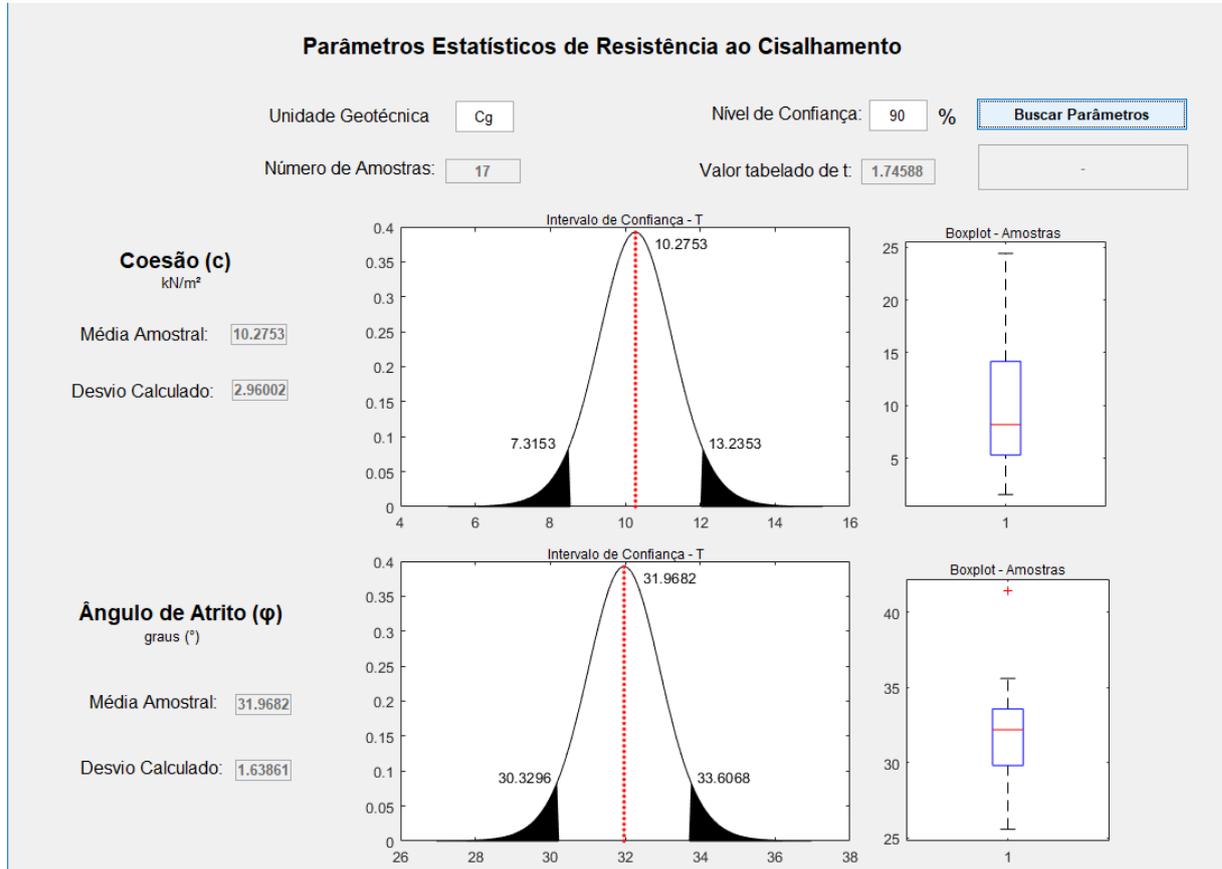
Para realizar as análises estatísticas dos dados, foi utilizado um aplicativo criado pelo Projeto “Desenvolvimento de método de análise de risco geotécnicos: Aplicação Brusque e Botuverá” (Correia & Pizzolo, no prelo) contemplado no Edital PIBIC 2017/2018 e que foi executado dentro do Laboratório de Geotecnia Aplicada (LGA), no Departamento de Geociências da UFSC.

Este aplicativo utiliza o *software MATLAB™*, desenvolvido pela empresa *MathWorks inc.*, para calcular através de uma análise estatística utilizando distribuições do tipo ‘t’ de *Student* e parâmetros como média e desvio padrão, os valores para coesão e ângulo de atrito interno para cada UG (Figura 13). Segundo Fiori (2015), são esses parâmetros de resistência mecânica que mais influenciam na estabilidade de uma encosta.

As análises são feitas através da estimativa dos parâmetros de resistência, via Intervalo de Confiança da distribuição do tipo ‘t’ de *Student*, devido ao número baixo de amostras presentes no banco de dados. Foram escolhidos os níveis de confiança de 90%, 95% e 99%,

onde foi encontrado os valores máximos e mínimos de c e φ . Contudo, visando garantir que as análises de estabilidade sejam a favor da segurança, utilizou-se os valores mínimos obtidos.

Figura 13- Consulta ao aplicativo desenvolvido para a obtenção estatística dos parâmetros de resistência.



Fonte: Do Autor (2018).

3.5 ANÁLISE DE ESTABILIDADE

As análises de estabilidades foram realizadas no *software Slope*TM, desenvolvido pela empresa *SoilVision*®. Foram criados modelos de taludes com inclinações de 15°, 20°, 25°, 30°, 35°, 40°, 45° e 50°, conforme a Figura 14. Com os modelos criados, inseriu-se os valores de ângulo de atrito e coesão, com níveis de confiança de 90%, 95%, 99%, juntamente com os valores de peso específico saturado do solo de cada UG, de forma a haver uma componente local nas análises. No caso de alguma UG ter sido amostrada mais de uma vez, foi extraída média simples de todos os pesos específicos calculados.

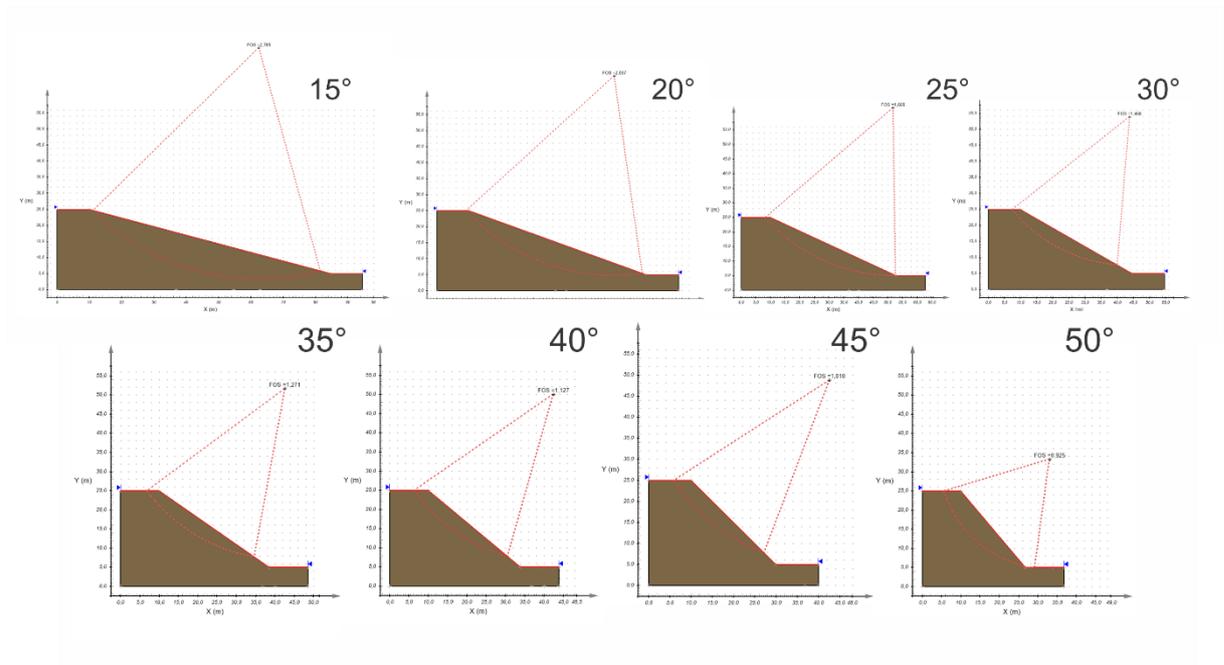
O peso específico saturado foi aplicado em toda a extensão dos modelos de encostas analisadas, para que a condição simulada fosse a pior condição possível dentro do talude, como

um período longo de chuvas intensas, assim como um nível de água que se encontrava a 5m de profundidade a partir da superfície.

O solo saturado apresenta menor FS, isso ocorre ao fato que a presença da água nos interstícios dos grãos provoca o aumento de peso, aumento da poropressão e diminuição da coesão. O nível d'água nesse cenário eleva as pressões neutras, se traduzindo na diminuição das tensões normais efetivas e a resistência ao cisalhamento.

Para as análises de estabilidade foi utilizado o método de Bishop com superfícies de ruptura circulares e com a prévia delimitação das entradas e saídas das superfícies.

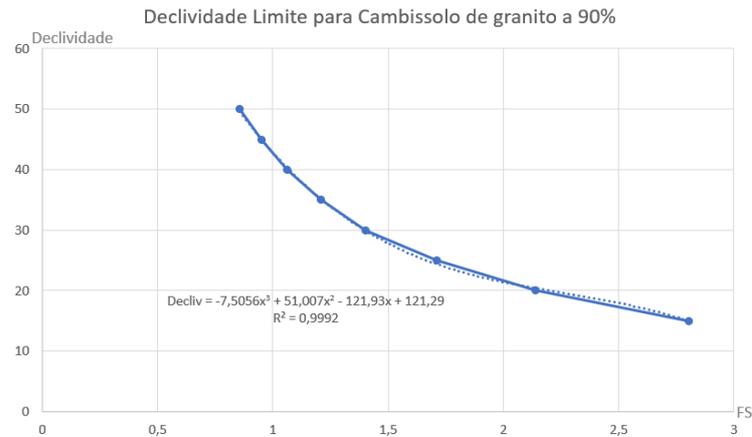
Figura 14 - Modelos utilizados para as simulações e obtenção dos Fatores de Segurança.



Fonte: Do Autor (2018).

Utilizou-se os FS obtidos para cada uma das inclinações dos modelos, e dessa forma foi possível correlacionar o FS com a inclinação para cada UG e cada nível de confiança. Foram obtidas funções que representassem satisfatoriamente essas correlações, sendo elas equações polinomiais de terceira ordem, conforme a Figura 15. Com as funções definidas, foi calculado as inclinações limite, em graus, para os fatores de segurança estabelecidos pela NBR 11682 (1991), conforme o item 2.2.4 deste trabalho.

Figura 15 - Regressão linear correlacionando declividade e FS.



Fonte: Do Autor (2018).

3.6 CLASSIFICAÇÃO DOS MAPAS

As áreas de susceptibilidade são geradas através dos dados obtidos através das declividades limites calculadas a partir da correlação entre FS e declividade, os Modelos Digitais de Terreno (MDTs) fornecidos pela SDS-SC (2010) e o mapa geotécnico gerado no item 3.1.

Para realizar a classificação das áreas de susceptibilidade, o MDT do município foi recortado de acordo com as unidades geotécnicas presentes, e posteriormente utilizando a ferramenta *Slope* presente no pacote de ferramentas do *software* ArcGIS™ foi gerada a declividade das áreas. Se fez necessário separar os mapas de declividade para cada UG, haja vista que para cada uma delas os parâmetros físicos se alteram, fazendo com que seja necessário executar análises diferentes para cada uma. Ao fim do processo, se classificou os mapas de declividade com os valores das declividades limites obtidas através do item 3.5.

As declividades foram classificadas no intervalo de FS 1,5 a 1,15. Encostas com FS maior que 1,5 foram classificadas como áreas de baixa susceptibilidade, enquanto encostas com FS menores que 1,15 foram classificadas como áreas de alta susceptibilidade. As encostas que obtiveram FS entre os intervalos de 1,5 e 1,15 foram classificadas como áreas de média susceptibilidade.

Se, em determinadas UG, a declividade limite para se obter o FS de 1,5 for de 20° e para FS 1,15 for de 30°, as áreas com declividades inferiores à 20° serão apresentadas na cor verde, áreas que com declividades superiores à 30° serão apresentadas em vermelho, e áreas com declividades entre 20° e 30° serão apresentadas em amarelo. Procedendo dessa maneira

para cada UG, é gerado a carta de susceptibilidade a movimentos gravitacionais de massa da área de estudo.

As unidades que compreendem regiões de planícies, sem a presença de encostas como na UG Csq a e regiões que foram classificadas como litólica, ou seja, sem a presença de perfil de solo, caso da UG Rg, não foram calculadas e foram representadas na cor cinza nos mapas.

Foram elaboradas três cartas, dessa forma, três cartas de susceptibilidade a movimentos de massa para o município de Santo Amaro da Imperatriz, buscando abranger os níveis de confiança estudados de 90%, 95% e 99%.

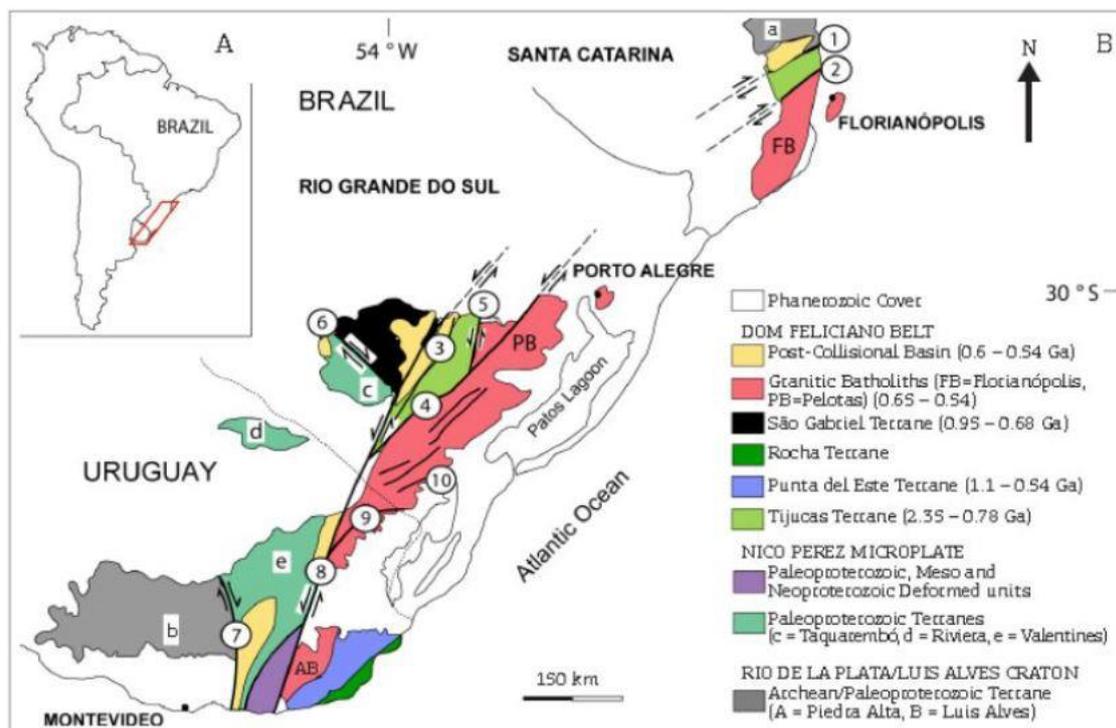
4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS

4.1 GEOLOGIA REGIONAL

O estado de Santa Catarina se localiza na porção sul da Província Mantiqueira sendo essa uma associação geológica que agrupa terrenos cristalinos na porção oriental do território nacional, se estendendo do sul do Cráton São Francisco até o Uruguai (Almeida *et al.* 1977).

Na porção meridional da Província Mantiqueira (Mapa 4) ocorre o Cinturão Dom Feliciano (CDF), sendo este uma faixa móvel representada por 1200km na direção N – S, com 150km de largura a partir da microplaca Luís Alves até o Uruguai e tem sua continuação sob a Bacia do Paraná (Basei *et al.* 2011).

Mapa 4 - Porção Meridional da Província Mantiqueira.



Main geotectonic units in southern Brazil and Uruguay. Shear zones: 1- Itajai Perimbó, 2 - Major Gercino, 3- Santana da Boa Vista-Caçapava do Sul, 4- Dorsal de Canguçu, 5- Passo do Marinheiro, 6- Ibaré, 7- Sarandi Del Y, 8- Sierra Ballena and 9- Cerro Amaro, 10- Arroio Grande. Modified from Chemale (2007) and Oyhançabal *et al.* (2010).

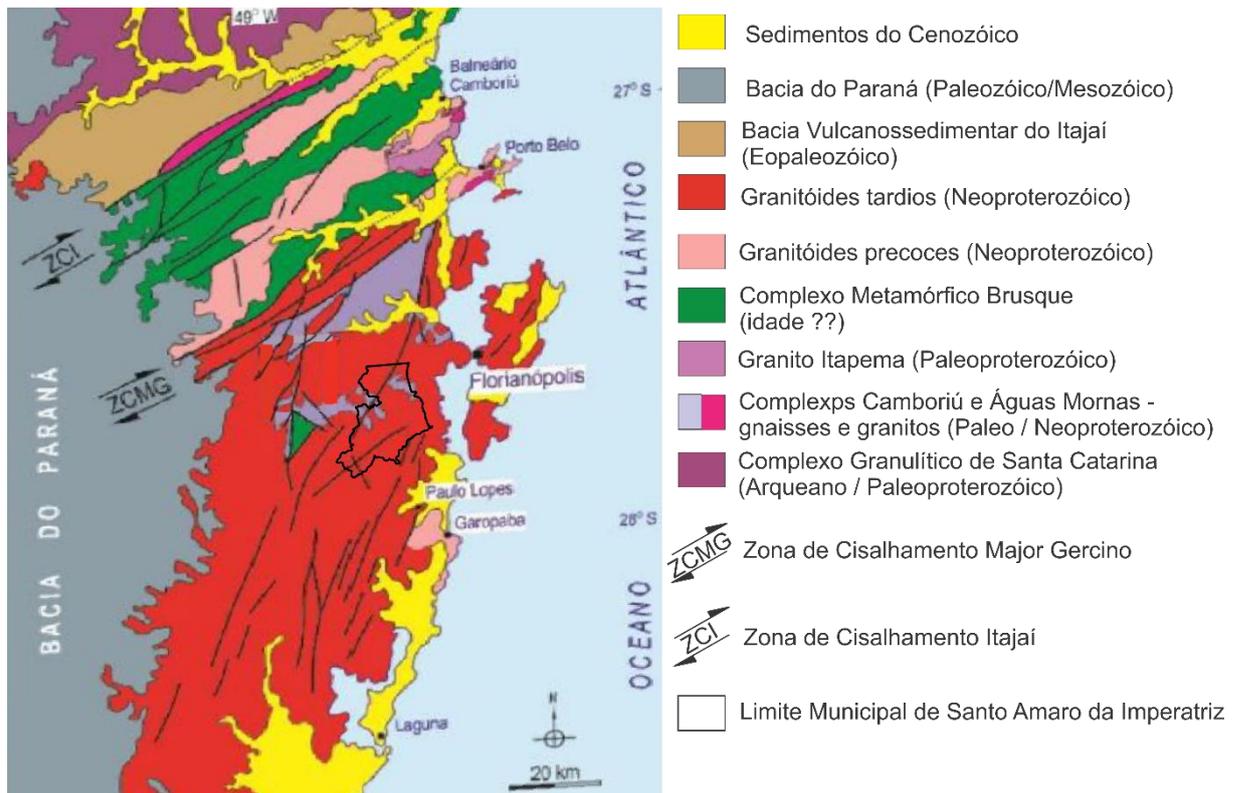
Fonte: Philipp *et al.* (2016).

Basei (1985) compartimentou o CDF em três domínios distintos: Interno, Intermediário e Externo. O limite entre cada domínio é representado por lineamentos importantes de escala regional sendo elas a Zona de Cisalhamento Itajai-Perimbó (ZCI) e a

Zona de Cisalhamento Major Gercino (ZCMG), sendo essa última interpretada como uma zona de sutura que delimita a colagem de diferentes terrenos que ocorreu em ~590Ma.

Florisbal (2011) seccionou o Escudo Catarinense (EC) em: Domínio Norte, Central e Sul (Mapa 5).

Mapa 5 - Compartimentação do Escudo Catarinense.



Fonte: Modificado de Florisbal (2011).

O Domínio Norte abrange rochas do Complexo Granulítico de Santa Catarina, de idade arqueana a paleoproterozoica, e as Bacias de Campo Alegre e do Itajaí, ambas de idade neoproterozóica. Esse domínio é delimitado a norte pela Faixa Ribeira e a sul pela ZCI.

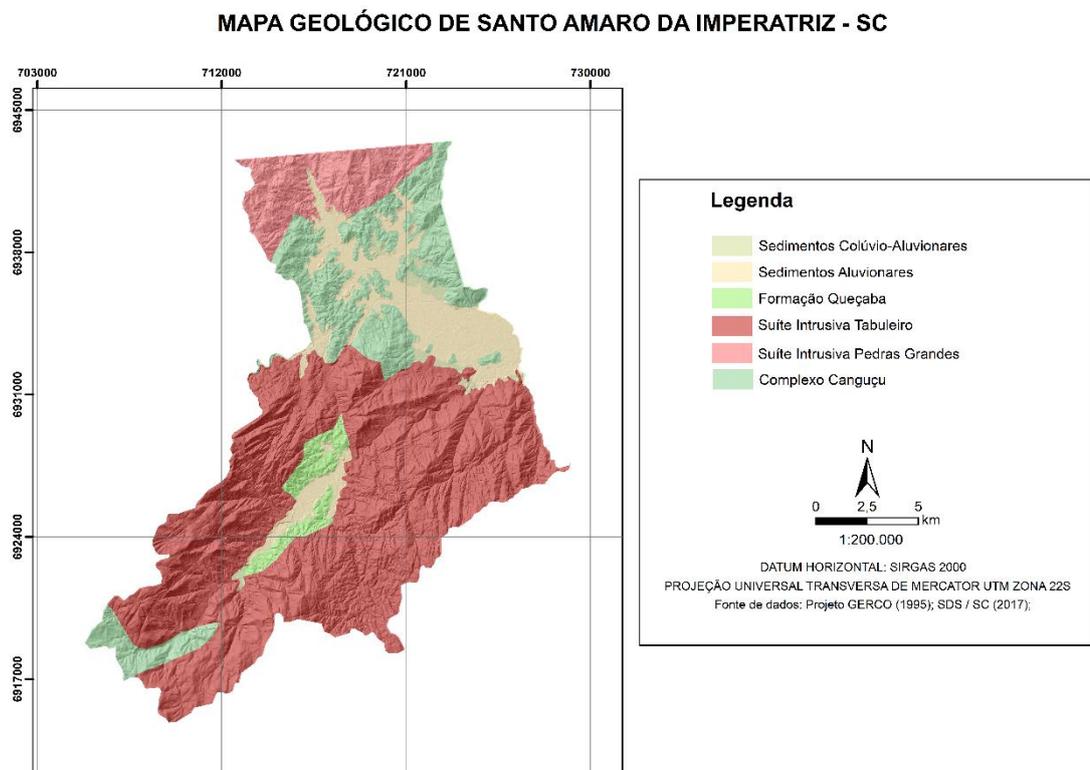
O Domínio Central representa a região entre a ZCI e a ZCMG, e é composta pelas rochas metavulcanossedimentares do Complexo Metamórfico Brusque e rochas graníticas intrusivas, denominada como Complexo Camboriú.

O Domínio Sul compreende a região a sul da ZCMG e engloba três unidades: O Batólito Florianópolis (BF), Complexo Águas Mornas (CAM) e o Complexo Queçaba (CQ).

4.2 GEOLOGIA LOCAL

A cidade de Santo Amaro da Imperatriz tem sua geologia definida pelo projeto de gerenciamento costeiro (GERCO) da Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística em 1995. As unidades geológicas presentes foram definidas como Complexo Canguçu, Suite Intrusiva Pedras Grandes, Suite Intrusiva Tabuleiro, Formação Queçaba, Sedimentos Aluvionares e Colúvio-Aluvionares. (Mapa 6).

Mapa 6 - Mapa geológico da cidade de Santo Amaro da Imperatriz.



Fonte: Projeto GERCO (1995).

4.2.1 Complexo Canguçu

Segundo Horbach *et al.* (1986), o Complexo Canguçu é apresentado como uma ampla assembleia de rochas metamórficas, com fácies anfibolito predominante e granulito localizada, associadas a granitoides cogenéticos citados por Wernick (1979).

Kaul *et al.* (1995) disserta que este complexo ocorre segundo a direção preferencial da ZCMG, sendo disposto a leste por sedimentos da Bacia do Paraná, a leste por falha com o

Granito São Miguel e por sedimentos holocênicos e a sudeste pelos granitos Tabuleiro e São Bonifácio.

Ainda segundo o mesmo autor, os migmatitos heterogêneos apresentam estruturas principalmente agmática, estromática e dobrada. Os paleossomas apresentam preferencialmente composição intermediária a básica e, representados na região do município de Santo Amaro da Imperatriz por quartzo dioritos, dioritos, micro granodioritos e anfibolitos. Os neossomas são quartzo-feldspáticos de granulação média, esparsamente pegmatóide, formando veios ou bolsões de espessura variável.

4.2.2 Suíte Intrusiva Pedras Grandes

Inicialmente classificada por Teixeira (1969) como Complexo Pedras Grandes, com o intuito de qualificar corpos graníticos homogêneos, não deformados, com variações texturais, de granulação e de cor, que ocorrem no sul do estado (*apud* Kaul *et al.*, 1995). Trainini *et al.* (1978 *apud* Kaul *et al.*, 1995), baseado em critérios químicos e petrográficos, atualizou a classificação para Suíte Intrusiva Pedras Grandes, englobando novos corpos graníticos.

É caracterizada por Basei (1985) como granitoides vermelho-rosados, leucocráticos alaskítico e isotrópico, como *stocks* a batólitos. Últimas manifestações graníticas dentro do Batólito Florianópolis esporadicamente associadas à rochas vulcânicas ácidas. Onde também começou a englobar as rochas relacionadas ao magmatismo Cambirela.

4.2.3 Suíte Intrusiva Tabuleiro

A Suíte Intrusiva Tabuleiro foi definida por Kaul *et al.* (1995), englobando alguns corpos graníticos intrusivos apresentados anteriormente na Suíte Pedras Grandes definida anteriormente.

No município de estudo, essa suíte é representada pelo Granito Tabuleiro, que se apresenta em forma de batólitos separados por metassedimentos da Formação Queçaba na porção sul do município.

Os litotipos predominantes são representados por granitos, leucogranitos e quartzo monzonitos de tonalidade rosada, homogêneos e localmente cataclados.

4.2.4 Formação Queçaba

Trainini *et al.* (1978 *apud* UFSC, 2016), descreveram a Formação Queçaba como uma sequência de rochas metamórficas de baixo grau e caracterizada por Zanini *et al.* (1977) pela intercalação rítmica de filitos, xistos e quartzitos. Basei (1985) correlaciona a Formação Queçaba ao Grupo Brusque onde essa apareceria acima da Formação Botuverá e constituiria o Domínio Interno do CDF.

UFSC (2016) descreveu a Formação Queçaba como Complexo Queçaba devido a complexa intercalação de rochas metassedimentares com pelo menos duas fases de dobramentos e diversas foliações.

4.2.5 Sedimentos Aluvionares

Areias, cascalheiras e sedimentos siltico-argilosos, inconsolidados, depositados em planícies de inundação, terraços e calhas de rede fluvial.

4.2.6 Sedimentos Colúvio- Aluvionares

Depósitos de colúvio-eluvio e aluviões, formados por sedimentos inconsolidados de granulometria variada, incluindo depósitos arenosos e argilosos formando uma estratificação incipiente ou ausente.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste tópico são apresentados os resultados e discussões obtidos durante o decorrer deste trabalho. Os resultados expostos são referentes aos ensaios geotécnicos realizados nos pontos estudados e os parâmetros obtidos através da análise estatística dos dados encontrados no banco de dados utilizado.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS

Na Tabela 18 são mostrados os índices físicos encontrados para cada ponto amostrado. Os índices físicos obtidos foram a massa específica dos sólidos (γ_s), massa específica natural (γ_{nat}), massa específica aparente seca (γ_d), teor de umidade natural (w), índice de vazios (e), porosidade (η) e grau de saturação (S_r).

Tabela 18 - Índices físicos dos pontos amostrados.

Ponto	Unidade Geotécnica	γ_s (g/cm ³)	γ_{nat} (g/cm ³)	γ_d (g/cm ³)	w(%)	e	η	S_r (%)
V06	Canf	2,63	1,46	1,26	15,5	1,08	0,52	32
V09	Canf	2,63	1,53	1,29	18,2	1,04	0,51	40
V10	PVanf	2,65	1,67	1,35	25,2	0,97	0,49	55
V12	Canf	2,59	1,48	1,23	19,9	1,10	0,53	40
V16	Canf	2,61	1,72	1,36	26,2	0,91	0,48	60
V18	Cg	2,61	1,57	1,37	15,7	0,90	0,48	35
V23	PVg	2,67	1,62	1,32	23,5	1,02	0,51	50
V29	Canf	2,64	1,60	1,27	25,7	1,07	0,52	52
V30	Canf	2,63	1,89	1,70	11,7	0,55	0,36	43
V33	Canf	2,66	1,67	1,28	30,8	1,07	0,52	63
V47	Cf	2,60	1,73	1,34	29,6	0,93	0,48	66

Fonte: Do Autor (2018).

As massas específicas dos sólidos se apresentam de maneira coerente ao protólito sugerido pelo mapa geotécnico preliminar. As UGs Canf, PVanf e Cf tiveram seus respectivos valores variando entre 2,59g/cm³ e 2,66g/cm³. Essa variação pode ocorrer devido as variações texturais nos termos metamórficos que se encontram na região de estudo e são descritas por Trainini *et al.* (1978).

As UGs Cg e PVg se apresentaram com massas específicas próximas a massa específica do quartzo. Isso corrobora com a grande porcentagem desse mineral na composição das rochas graníticas, variando de 20% a 60% dependendo do litotipo estudado.

A Tabela 19 apresenta os percentuais de cada fração granulométrica obtidos no ensaio de análise granulométrica para cada ponto estudado. Os pontos amostrados obtiveram variações consideráveis em suas granulometrias, mesmo sendo oriundos de uma mesma UG. A fração de argila nos pontos varia de 0% a 31,78%, silte de 12,08% a 37,66%, areia 36,04% a 78,5% e pedregulhos de 0,21% a 23,75%.

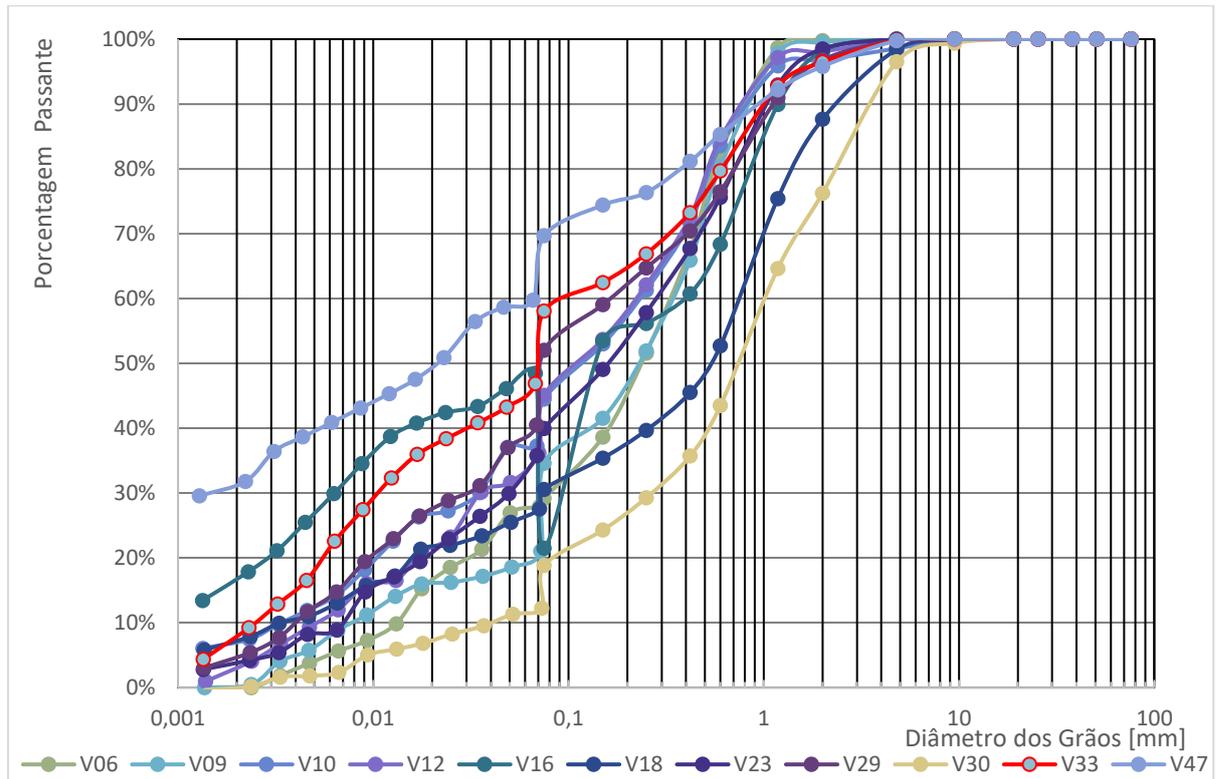
A partir das curvas granulométricas (Gráfico 4) é possível observar que os solos com maiores frações de argila se encontram nos pontos V47 e V16. Os solos dos pontos V18 e V30 apresentam uma alta fração de pedregulhos enquanto os solos dos pontos V06 e V09 denotam as maiores frações de areia. As curvas granulométricas são normalmente de formas descontínuas ou regular, classificando assim os solos como mal graduados ou com graduação regular.

Tabela 19 - Análise granulométrica dos solos dos pontos de estudo.

Ponto	Granulometria					
	Pedr. (%)	A.G. (%)	A.M.(%)	A.F. (%)	Silte (%)	Argila (%)
V06	0,21	17,14	44,02	10,72	27,91	0
V09	0,47	19,11	38,89	20,5	20,56	0,48
V10	3,24	13,17	30,60	15,71	29,82	7,45
V12	1,93	13,36	31,02	17,52	32,10	4,07
V16	1,83	29,82	14,86	5,03	30,60	17,85
V18	12,35	34,96	17,31	7,84	19,68	7,87
V23	1,49	22,89	26,58	13,27	31,56	4,21
V29	3,2	20,31	17,44	18,52	35,13	5,39
V30	23,75	32,75	19,21	12,08	12,04	0,18
V33	3,54	16,79	17,19	15,58	37,66	9,23
V47	4,19	10,5	10,89	14,65	27,98	31,78

Fonte: Do Autor (2018).

Gráfico 4 - Curvas granulométrias dos solos amostrados.



Fonte: Do Autor (2018).

Na Tabela 20 são apresentados os valores dos limites de consistência de *Atterberg*, sendo eles o limite de liquidez (LL), limite de plasticidade (LP) e o índice de plasticidade (IP) para cada ponto amostrado.

Tabela 20 - Limites de consistência dos solos.

Ponto	LL (%)	LP (%)	IP (%)
V06	31,09	NP	NP
V09	33,66	NP	NP
V10	36,12	33,60	2,52
V12	39,85	35,33	4,52
V16	60,07	45,25	14,82
V18	40,05	28,58	11,47
V23	40,67	33,12	7,55
V29	40,26	28,53	11,73
V30	36,09	26,40	9,69
V33	55,02	37,50	17,52
V47	54,24	31,39	22,85

Fonte: Do Autor (2018).

Os limites de liquidez nos solos amostrados variaram de 31,09% até 60,07%, e o limite de plasticidade variou desde “Não Plástico” (NP) até 45,25%. Observa-se que o ponto V16 demonstra possuir os maiores valores tanto pra LL quanto pra LP, enquanto os pontos V06 e V09 apresentou os menores índices.

Os baixos valores de LL e a “não plasticidade” dos pontos V06 e V09 corroboram com as altas frações arenosas juntamente com a baixa fração de finos encontrada. Pinto (2006) esclarece que a fração fina dos solos é de extrema importância, pois é através dela que quanto menores as partículas, maior a superfície específica e conseqüentemente mais plástico o material é.

A Tabela 21 classifica os solos de acordo com seus índices de plasticidade. Fiori (2015) elucida que o Índice de Plasticidade é maior nas argilas e nulo para as areias, logo materiais com frações mais finas tendem a serem mais plásticos. Assim sendo, as argilas são mais compressivas quanto maior for o IP do solo, acarretando em maiores problemas de engenharia relacionados ao uso do solo como material de engenharia.

Tabela 21 - Classificação da plasticidade dos solos.

Ponto	Classificação
V06	Não plástico
V09	Não plástico
V10	Levemente plástico
V12	Levemente plástico
V16	Moderadamente plástico
V18	Moderadamente plástico
V23	Moderadamente plástico
V29	Moderadamente plástico
V30	Moderadamente plástico
V33	Altamente plástico
V47	Altamente plástico

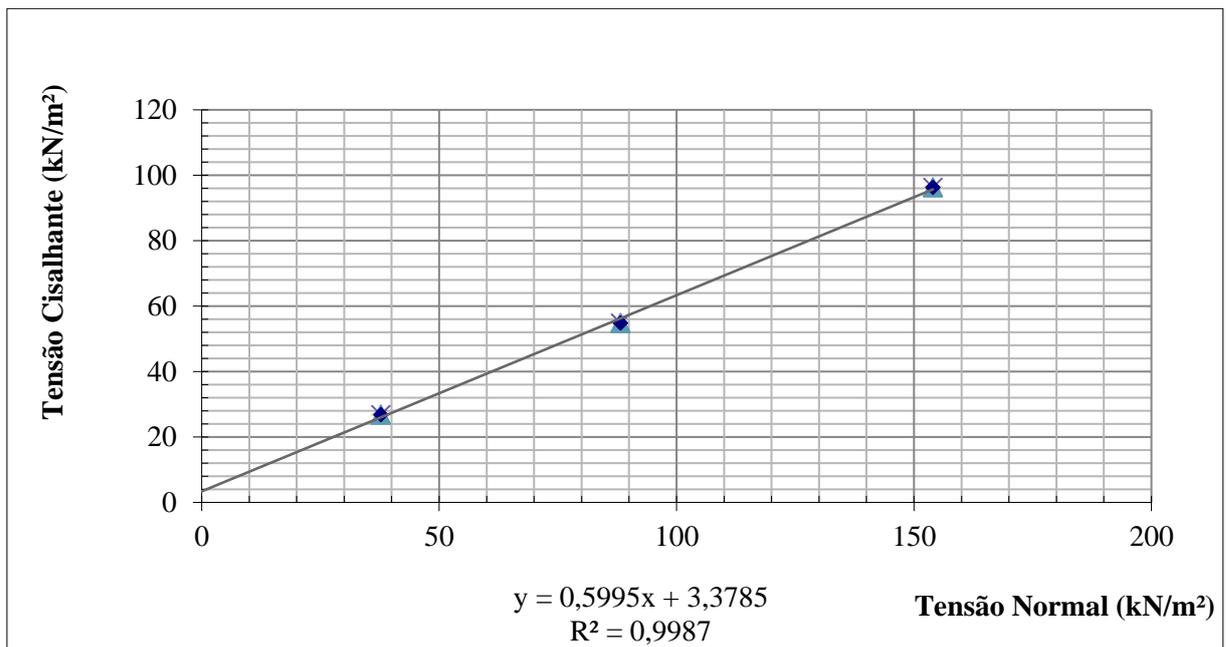
Fonte: Do Autor (2018).

5.2 CISALHAMENTO DIRETO

A partir do ensaio de cisalhamento direto em trinta e dois corpos de prova, encontrou-se os parâmetros de resistência para os solos amostrados através da análise das envoltórias de ruptura geradas pelo método de Bishop simplificado.

O Gráfico 5 apresenta a envoltória de ruptura para o ponto V06.

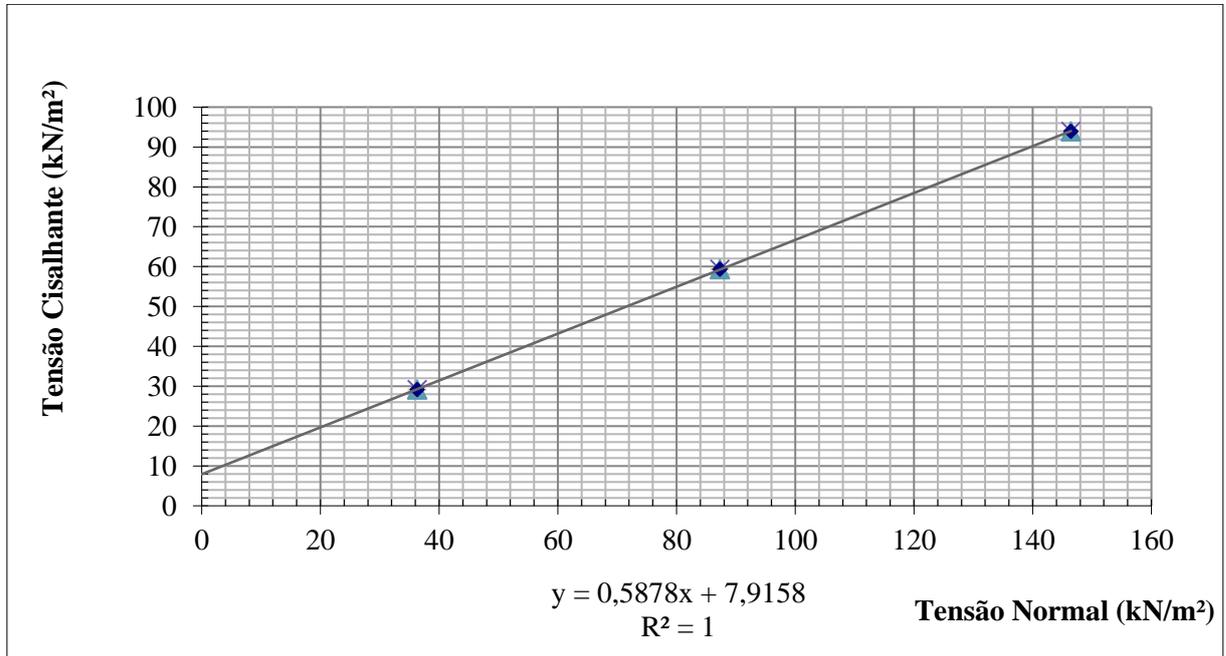
Gráfico 5 - Envoltória de ruptura para o ponto V06.



Fonte: Do Autor (2018).

O Gráfico 6 apresenta a envoltória de ruptura para o ponto V09.

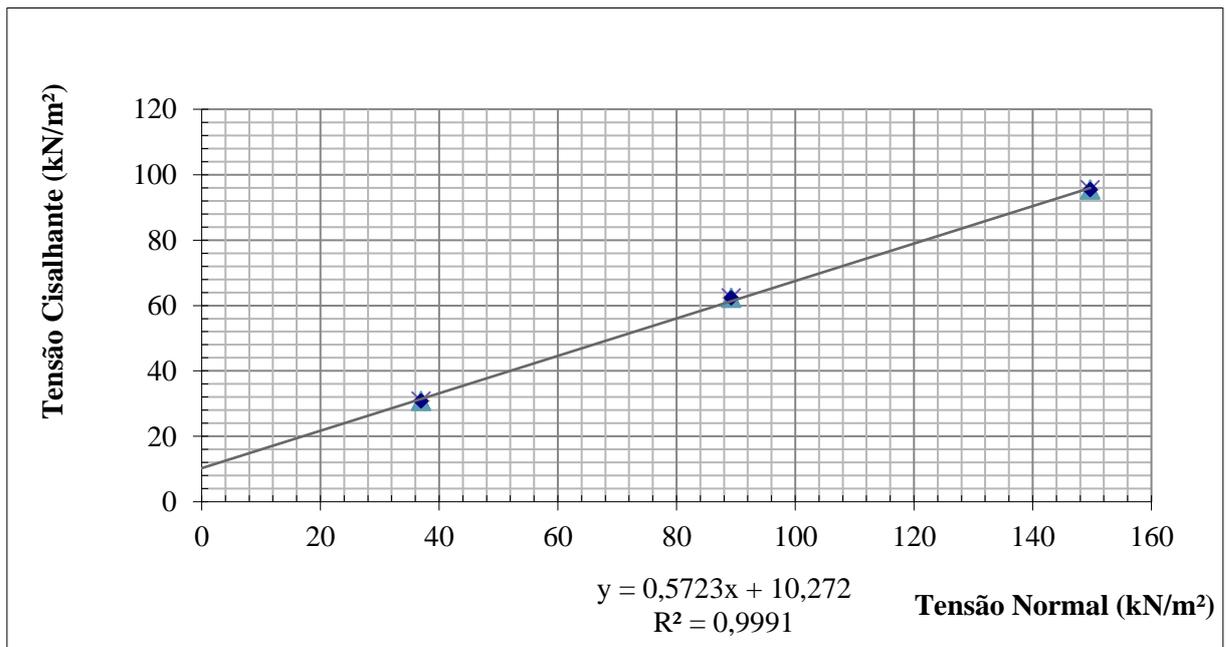
Gráfico 6 - Envoltória de ruptura para o ponto V09.



Fonte: Do Autor (2018).

O Gráfico 7 apresenta a envoltória de ruptura do ponto V10.

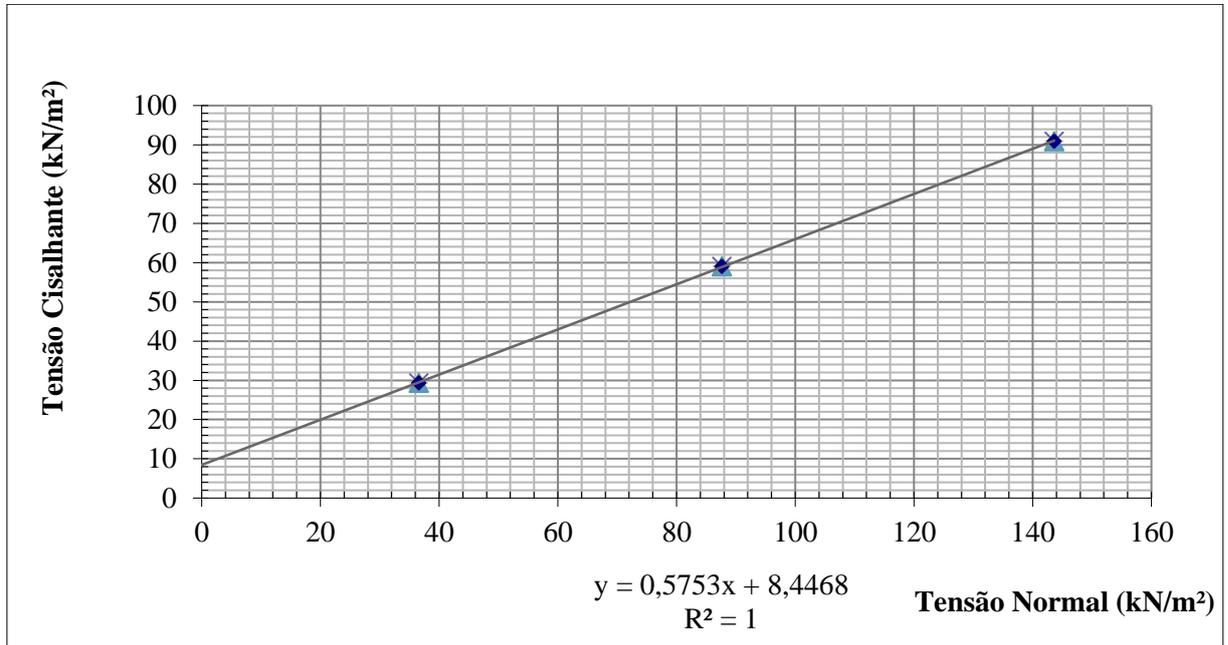
Gráfico 7 - Envoltória de ruptura para o ponto V10.



Fonte: Do Autor (2018).

O Gráfico 8 apresenta a envoltória de ruptura do ponto V12.

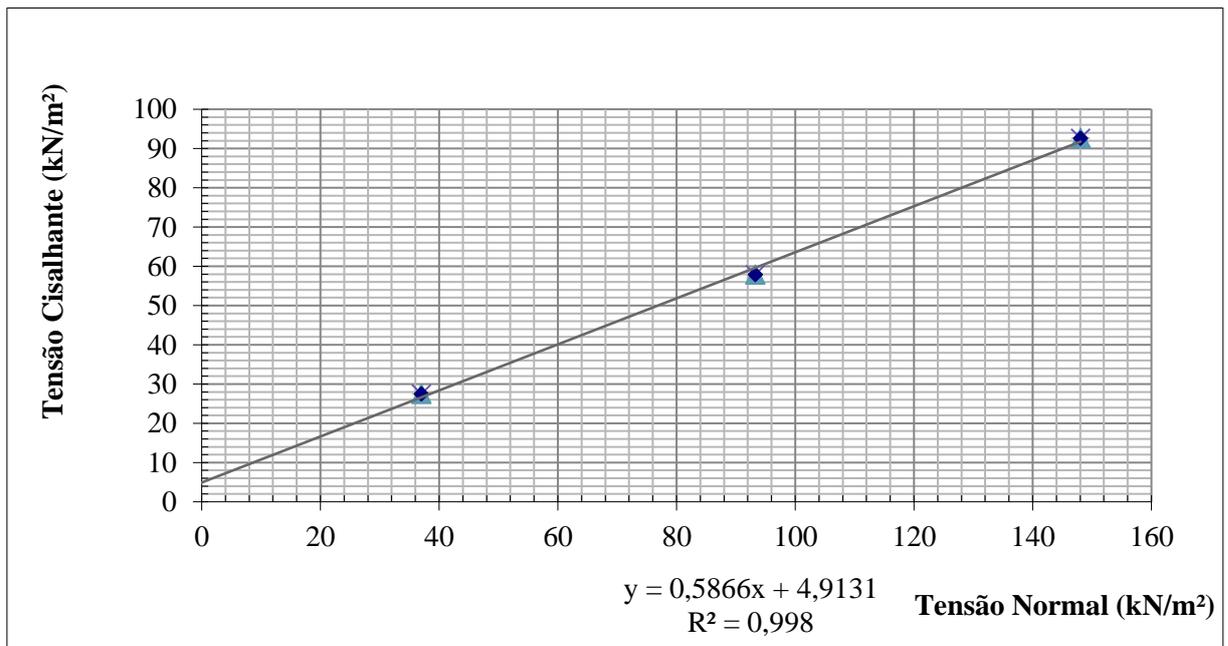
Gráfico 8 - Envoltória de ruptura para o ponto V12.



Fonte: Do Autor (2018).

O Gráfico 9 apresenta a envoltória de ruptura do ponto V16.

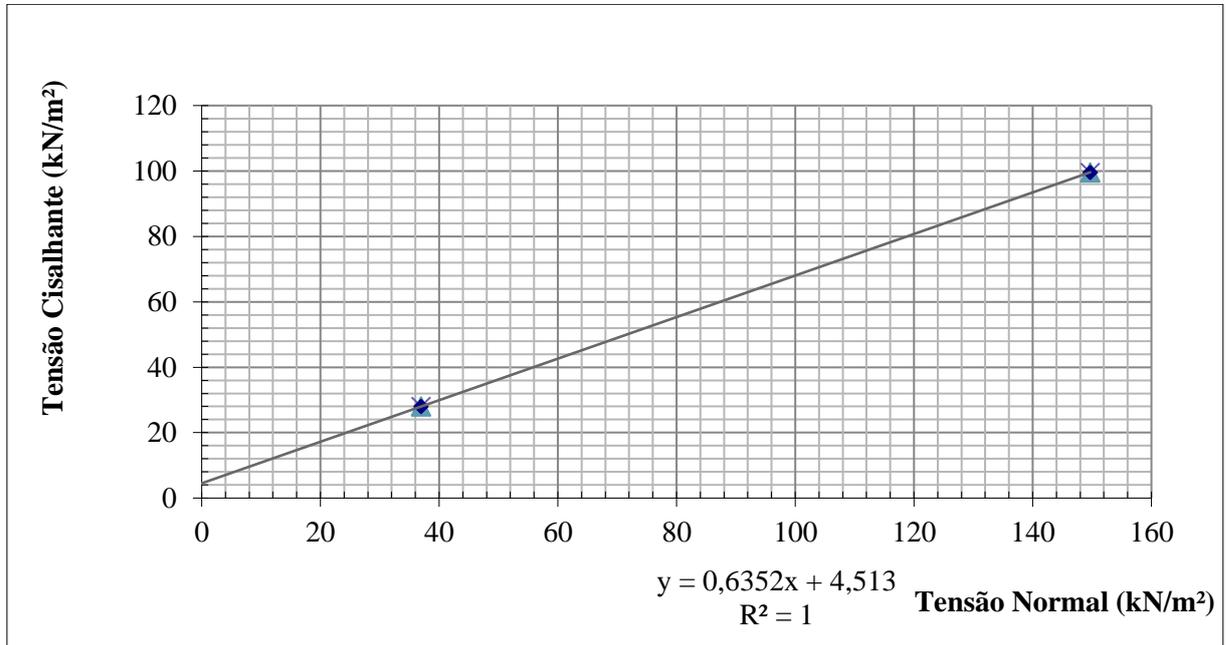
Gráfico 9 - Envoltória de ruptura para o ponto V16.



Fonte: Do Autor (2018).

O Gráfico 10 apresenta a envoltória de ruptura para o ponto V18.

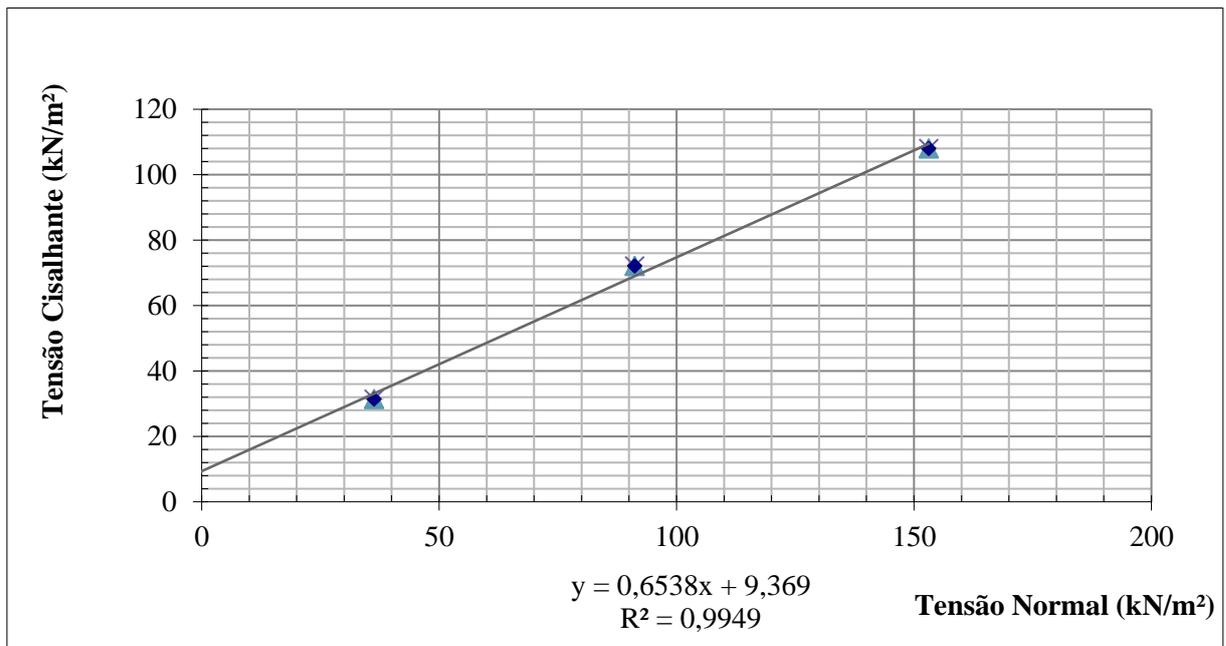
Gráfico 10 - Envoltória de ruptura para o ponto V18.



Fonte: Do Autor (2018).

O Gráfico 11 apresenta a envoltória de ruptura para o ponto V23.

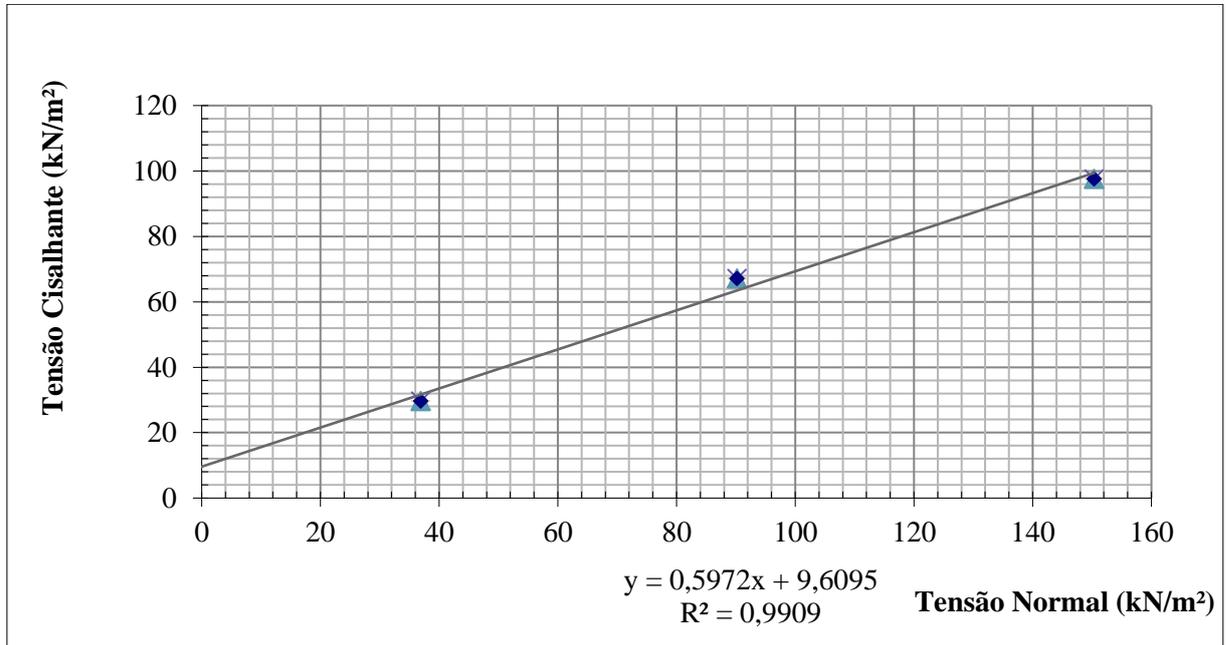
Gráfico 11 - Envoltória de ruptura para o ponto V23.



Fonte: Do Autor (2018).

O Gráfico 12 apresenta a envoltória de ruptura para o ponto V29.

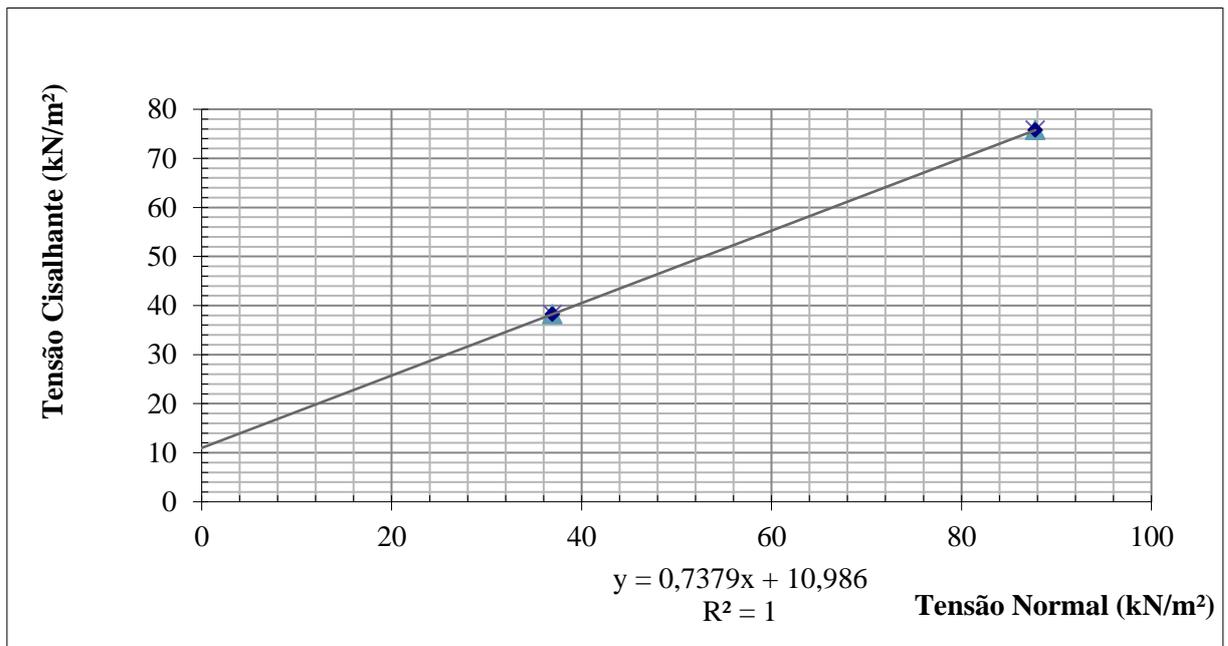
Gráfico 12 - Envoltória de ruptura para o ponto V29.



Fonte: Do Autor (2018).

O Gráfico 13 apresenta a envoltória de ruptura para o ponto V30.

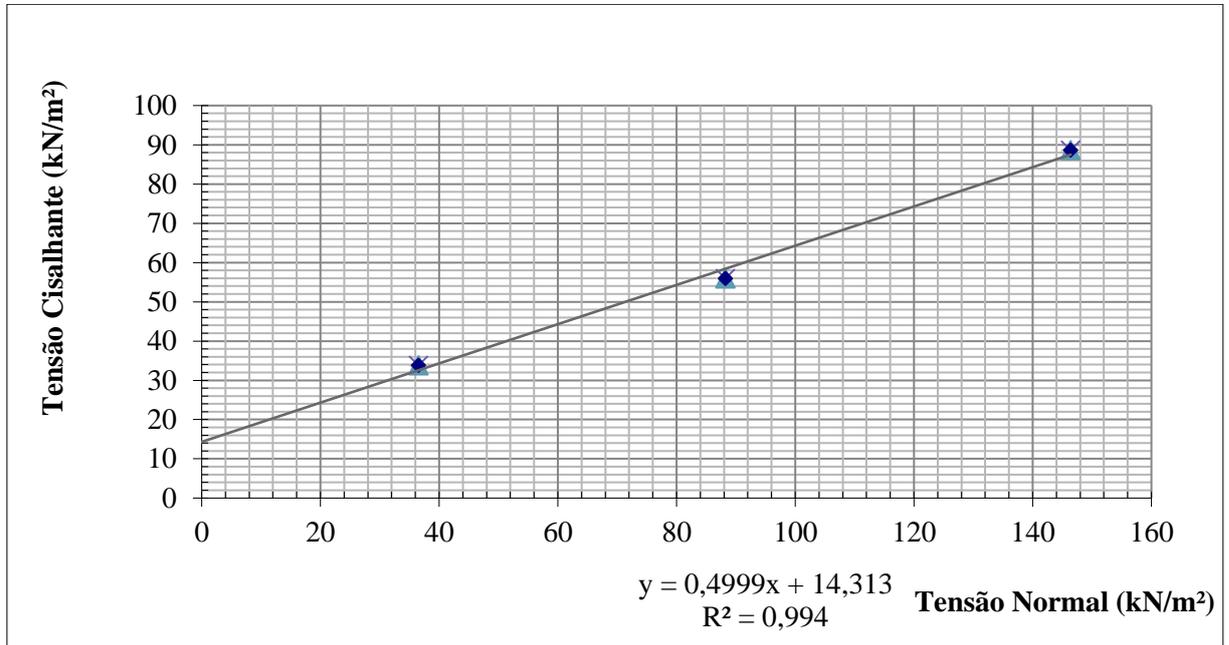
Gráfico 13 - Envoltória de ruptura para o ponto V30.



Fonte: Do Autor (2018).

O Gráfico 14 apresenta a envoltória de ruptura para o ponto V33.

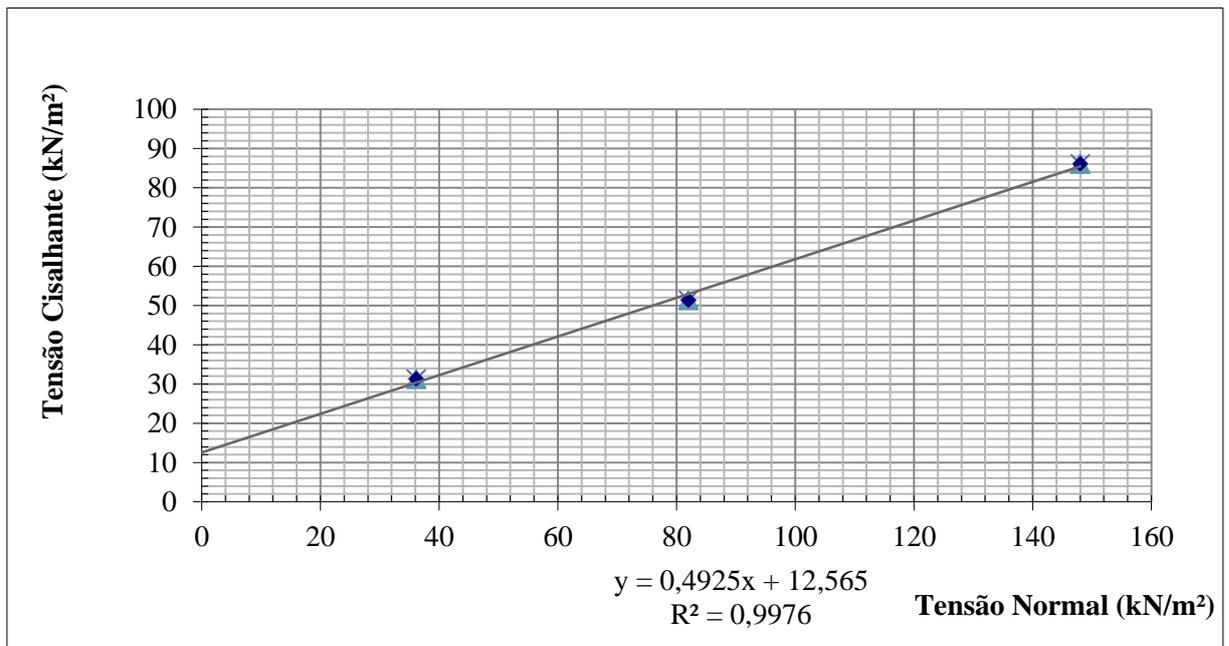
Gráfico 14 - Envoltória de ruptura para o ponto V33.



Fonte: Do Autor (2018).

O Gráfico 15 apresenta a envoltória de ruptura para o ponto V47.

Gráfico 15 - Envoltória de ruptura para o ponto V47.



Fonte: Do Autor (2018).

De acordo com os resultados obtidos, observa-se que os maiores valores de ângulo de atrito interno estão atrelados aos pontos V18, V23 e V30, ambos com altos teores de fração areia, 60,11%, 62,74% e 64,04%, respectivamente.

Os maiores valores de coesão se apresentam nos pontos V30, V33 e V47. Tais pontos estão associados a UGs com substrato de anfíbolito e filito, onde ambos apresentam alta plasticidade e altas porcentagens das frações mais finas (argila e silte) 12,22%, 46,89% e 59,76% respectivamente.

A Tabela 22 apresenta os resultados obtidos através do ensaio de cisalhamento direto para os solos amostrados.

Tabela 22 - Parâmetros de resistência dos solos amostrados.

Ponto	Coesão (kPa)	Ângulo de atrito interno (°)
V06	3,38	30,94
V09	7,92	30,45
V10	10,27	29,78
V12	8,45	29,91
V16	4,91	30,39
V18	4,5	32,4
V23	9,37	33,18
V29	9,61	30,85
V30	11,0	36,40
V33	14,31	26,56
V47	12,57	26,22

Fonte: Do Autor (2018).

5.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA

Neste item são expostos os dados dos parâmetros geotécnicos c e ϕ obtidos através das análises estatísticas realizadas no aplicativo de consulta e balizamento de parâmetros. Os dados apresentados serão a média e o desvio padrão para cada unidade geotécnica para os níveis de confiança de 90%, 95% e 99% (Tabelas de 23 a 27).

A UG PVanf obteve apenas um ponto amostrado, que foi coletado nesse trabalho. Por esse fato, não iria ser possível analisá-la estatisticamente, defasando os resultados obtidos e inviabilizando a geração das cartas de susceptibilidade segundo a metodologia proposta.

Essa UG é constituída predominantemente pela litologia anfíbolito. Segundo Winter (2014) os anfíbolitos se caracterizam por se tratarem de rochas metamórficas de grau médio,

oriundo de rochas ígneas básicas, sedimentares ou mistura de rochas vulcanoquímicas. Podendo ou não conter quartzo na sua composição, contudo se a porcentagem de quartzo variar acima de 10%, o mesmo já se torna um subtipo de gnaiss. Gnaiss é uma rocha metamórfica essencialmente quartzo-feldspática, com estrutura principalmente bandada, alternando entre bandas milimétricas a centimétricas de minerais félsicos e máficos oriundos da segregação metamórfica. Entre os minerais máficos mais comuns está o grupo dos anfibólios, que podem apresentar altas concentrações dependendo da gênese.

Através dessa definição e da avaliação de que os parâmetros de resistência c e ϕ eram similares, a UG PVanf foi agregada a unidade PVgn (Podzólico Vermelho-Amarelo de gnaiss), presente no banco de dados, para a realização das análises estatísticas.

Tabela 23 - Valores de média e desvio padrão para cada nível de confiança para Canf.

Canf (7 amostras)				
	Média	Desvio Padrão		
		90%	95%	99%
Coesão (kN/m ²)	8,51	5,81	3,39	5,13
Ângulo de atrito (°)	30,49	0,24	0,31	0,47

Fonte: Do Autor (2018).

Tabela 24 - Valores de média e desvio padrão para cada nível de confiança para Cf e PVf.

Cf e PVf (6 amostras)				
	Média	Desvio Padrão		
		90%	95%	99%
Coesão (kN/m ²)	8,65	2,30	2,94	4,61
Ângulo de atrito (°)	29,37	1,27	1,62	2,55

Fonte: Do Autor (2018).

Tabela 25 - Valores de média e desvio padrão para cada nível de confiança para Cg

Cg (17 amostras)				
	Média	Desvio Padrão		
		90%	95%	99%
Coesão (kN/m ²)	10,27	2,96	3,59	4,95
Ângulo de atrito (°)	31,96	1,64	1,99	2,74

Fonte: Do Autor (2018).

Tabela 26 - Valores de média e desvio padrão para cada nível de confiança para PVg.

PVg (41 amostras)				
	Média	Desvio Padrão		
		90%	95%	99%
Coesão (kN/m ²)	10,62	1,90	2,29	3,06
Ângulo de atrito (°)	31,46	1,38	1,66	2,22

Fonte: Do Autor (2018).

Tabela 27 - Valores de média e desvio padrão para cada nível de confiança para PVanf.

PVanf (10 amostras)				
	Média	Desvio Padrão		
		90%	95%	99%
Coesão (kN/m ²)	10,47	1,99	2,46	3,53
Ângulo de atrito (°)	27,50	3,09	3,81	5,48

Fonte: Do Autor (2018).

Observando os valores dos desvios padrões calculados, pode-se concluir que a UG Canf é a que apresenta a maior uniformidade nos dados. Isso se deve ao fato de que todos os pontos analisados foram os mesmos coletados e analisados nesse trabalho, sem interferência de dados pré-existentes oriundos de outras localidades no banco de dados.

Por outro lado, a UG Cg é a que apresenta a menor uniformidade entre os parâmetros, uma vez que essa unidade se expressa na bibliografia e dentro do banco de dados em localidades distintas como os municípios de Camboriu, São José, Rio Fortuna, Araranguá, Brusque, Blumenau, Botuverá, Antônio Carlos, Florianópolis e Santo Amaro da Imperatriz, todas no estado de Santa Catarina.

A utilização de nível de confiança para a obtenção dos parâmetros de resistência c e φ se mostrou eficaz na avaliação dos resultados conforme o número de amostras, o erro amostral e seu desvio. É importante salientar que os fatores geológicos podem explicar o alto desvio presente na UG Cambissolo de Granito (Cg), uma vez que há uma notável variação das rochas classificadas como granito, em termos mineralógicos e texturais e que não são expressas no momento da classificação de forma genérica de solos residuais de granito.

O aplicativo de consulta e balizamento dos dados se mostrou eficiente retornando dados que podem ser considerados não somente em análises de parâmetros de resistência regionais, mas sim em estudos de estabilidade locais suprimindo valores fora do comum através da análise dos *boxplots* e distribuições.

5.4 ANÁLISES DE ESTABILIDADES

5.4.1 Dados de entrada

Para obter os valores das declividades limites para cada nível de confiança, se realizou a análise de estabilidade de taludes utilizando os parâmetros de resistência obtidos estatisticamente e o peso específico saturado inferido dos solos através dos seus índices físicos.

A Tabela 28 apresenta os pesos específicos saturados para cada UG encontrada na localidade de estudo.

Tabela 28 - Pesos específicos saturados inferidos para cada UG.

Unidade Geotécnica	γ_{sat} (kN/m ³)
Canf	17,93
Cg	18,07
Cf e PVf	17,90
PVanf	18,01
PVg	17,86

Fonte: Do Autor (2018).

Para os parâmetros de resistência (c e ϕ), foram utilizados os valores dos limites inferiores da curva de distribuição 't' de *Student* para cada nível de confiança de cada unidade geotécnica, garantindo que as análises estejam a favor da segurança.

As Tabelas 29 a 33 apresentam os valores obtidos estatisticamente dos parâmetros de resistência para as unidades geotécnicas estudadas.

Tabela 29 - Valores estatísticos de c e ϕ , para Canf.

	Canf		
	Nível de Confiança		
	90%	95%	99%
Coesão (kN/m ²)	5,81	5,12	3,37
Ângulo de atrito (°)	30,24	30,18	30,01

Fonte: Do Autor (2018).

Tabela 30 - Valores estatísticos de c e φ , para Cf e PVf.

Cf e PVf			
	Nível de Confiança		
	90%	95%	99%
Coesão (kN/m ²)	6,34	5,70	4,03
Ângulo de atrito (°)	29,09	27,74	26,81

Fonte: Do Autor (2018).

Tabela 31 - Valores estatísticos de c e φ , para Cg.

Cg			
	Nível de Confiança		
	90%	95%	99%
Coesão (kN/m ²)	7,31	6,68	5,32
Ângulo de atrito (°)	30,32	29,97	29,22

Fonte: Do Autor (2018).

Tabela 32 - Valores estatísticos de c e φ , para PVg.

PVg			
	Nível de Confiança		
	90%	95%	99%
Coesão (kN/m ²)	8,71	8,33	7,56
Ângulo de atrito (°)	30,07	29,80	29,23

Fonte: Do Autor (2018).

Tabela 33 - Valores estatísticos de c e φ para PVanf.

PVanf			
	Nível de Confiança		
	90%	95%	99%
Coesão (kN/m ²)	8,48	8,02	6,94
Ângulo de atrito (°)	27,50	23,69	22,02

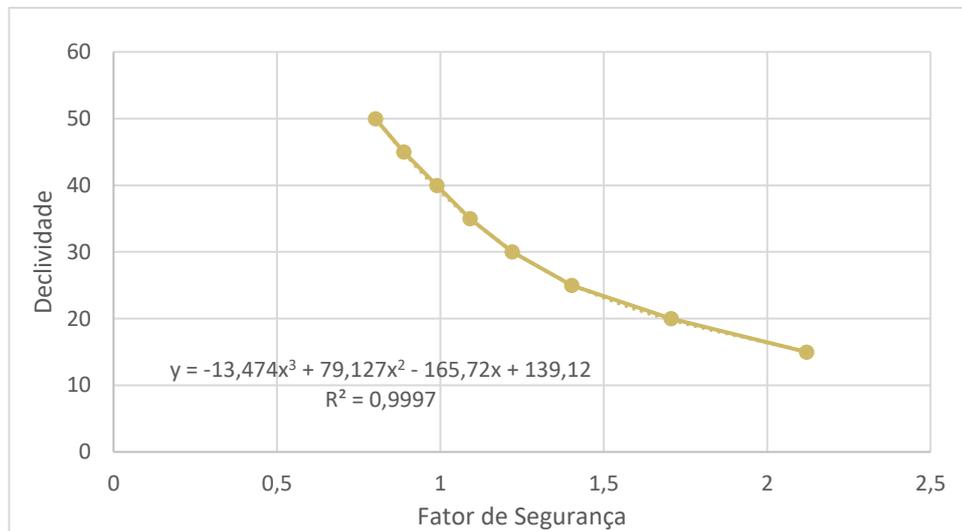
Fonte: Do Autor (2018).

5.4.2 Determinação das declividades limite

Foram executadas um total de 128 análises de estabilidade de encostas, englobando todas as unidades geotécnicas, as declividades e os três níveis de confiança determinados. Com os valores obtidos das análises, se encontrou 15 equações que representam as correlações entre FS e declividade para cada caso.

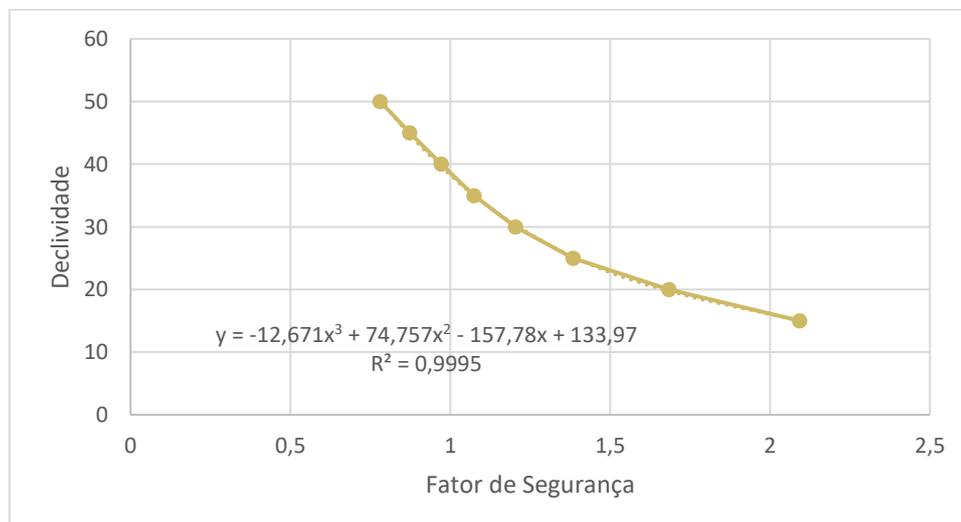
Os Gráficos 16 a 18 apresentam os resultados obtidos para as correlações e suas respectivas equações para a UG cambissolo de anfibolito (Canf), para todos os níveis de confiança.

Gráfico 16 - Correlação de FS e declividade para Canf ao nível de confiança de 90%.



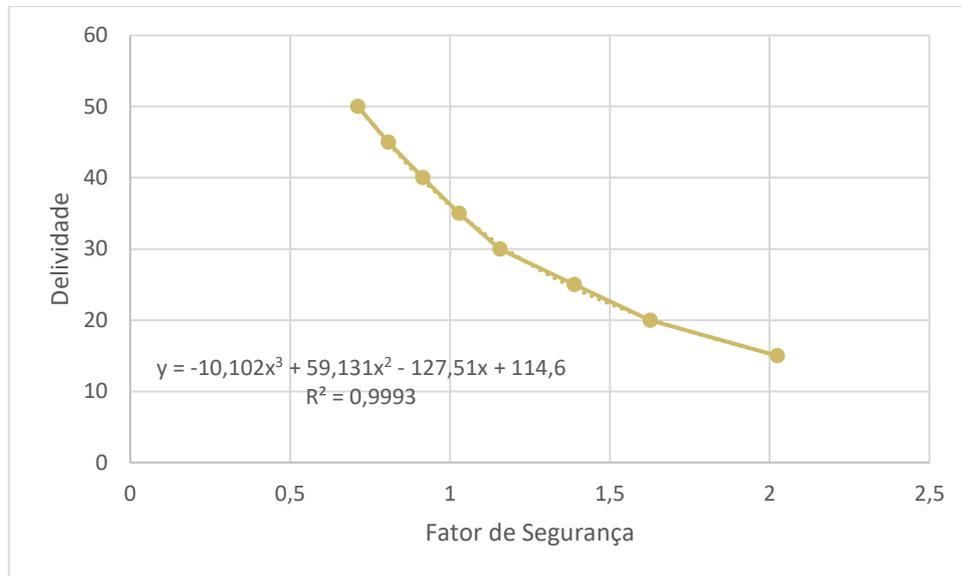
Fonte: Do Autor (2018).

Gráfico 17 - Correlação de FS e declividade para Canf ao nível de confiança de 95%.



Fonte: Do Autor (2018).

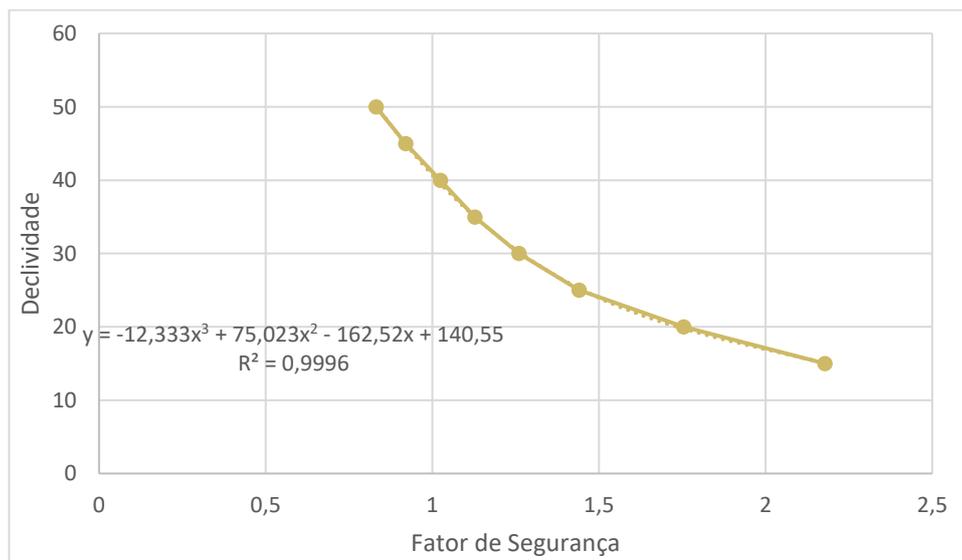
Gráfico 18 - Correlação de FS e declividade para Canf ao nível de confiança de 99%.



Fonte: Do Autor (2018).

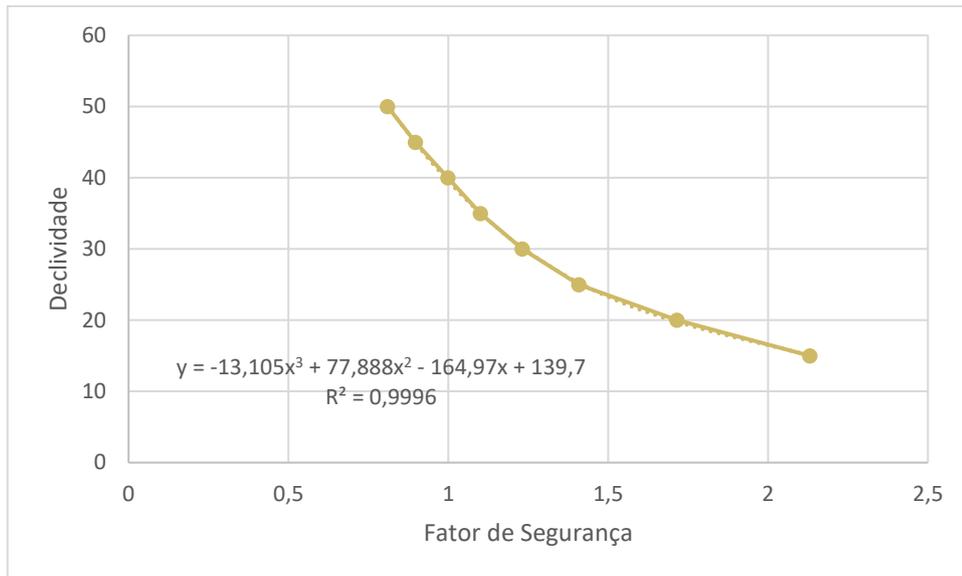
Os Gráficos 19 à 21 apresentam os resultados obtidos para as correlações de declividade e FS e suas respectivas equações para a UG cambissolo de granito (Cg), para todos os níveis de confiança.

Gráfico 19 - Correlação de FS e declividade para Cg ao nível de confiança de 90%.



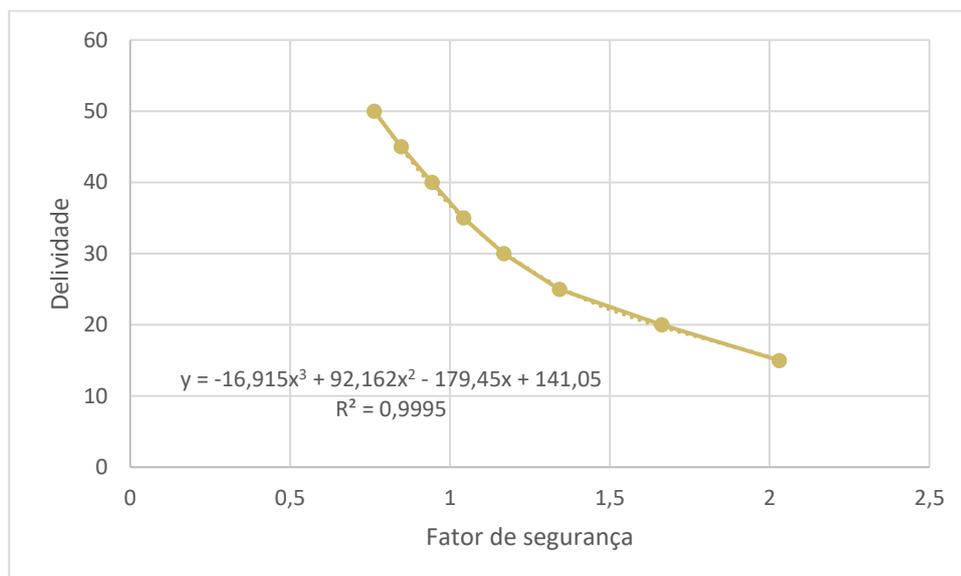
Fonte: Do Autor (2018).

Gráfico 20 - Correlação de FS e declividade para Cg ao nível de confiança de 95%.



Fonte: Do Autor (2018).

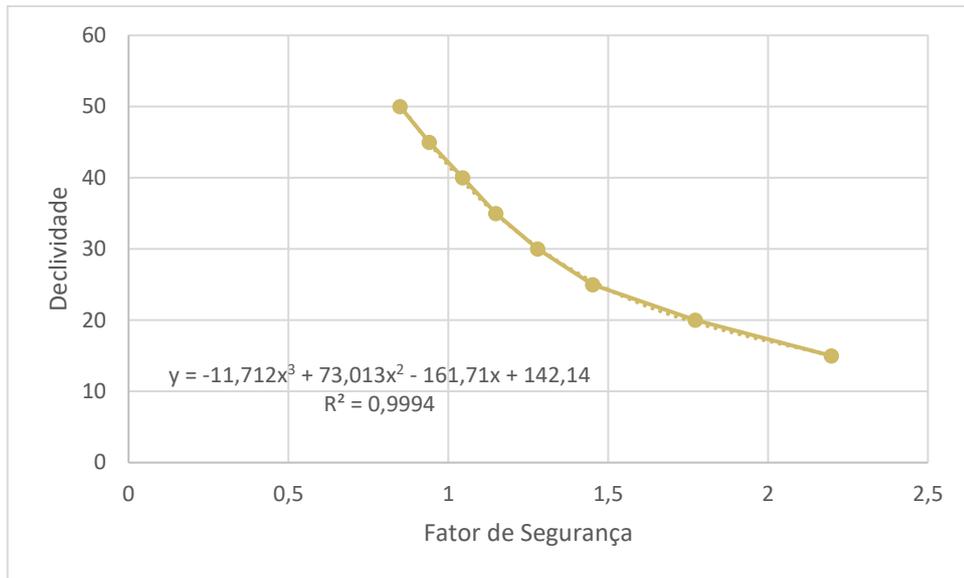
Gráfico 21 - Correlação de FS e declividade para Cg ao nível de confiança de 99%.



Fonte: Do Autor (2018).

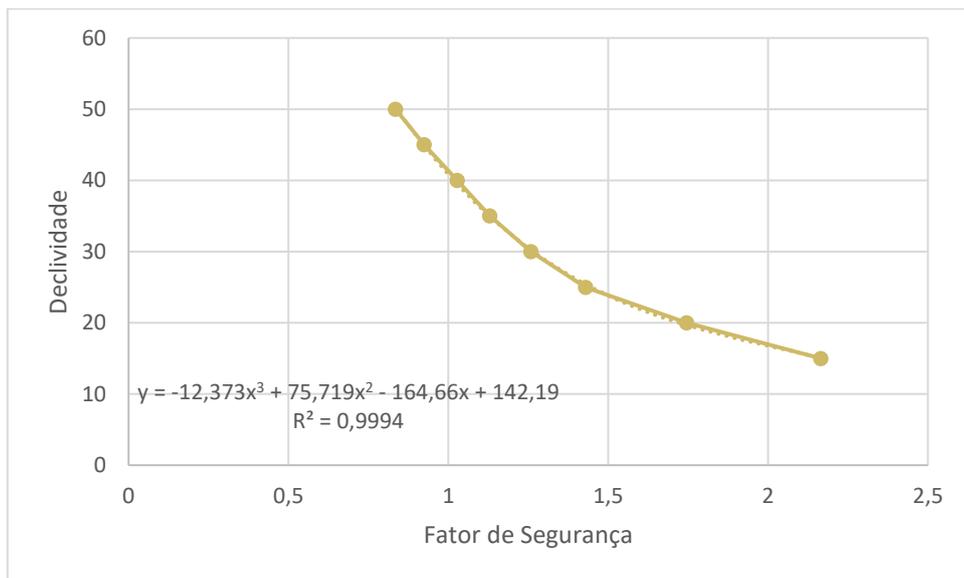
Os Gráficos 22 à 24 apresentam os resultados obtidos para as correlações de declividade e FS e suas respectivas equações para a UG Podzólico Vermelho-Amarelo de granito (PVg), para todos os níveis de confiança.

Gráfico 22 - Correlação de FS e declividade para PVg ao nível de confiança de 90%.



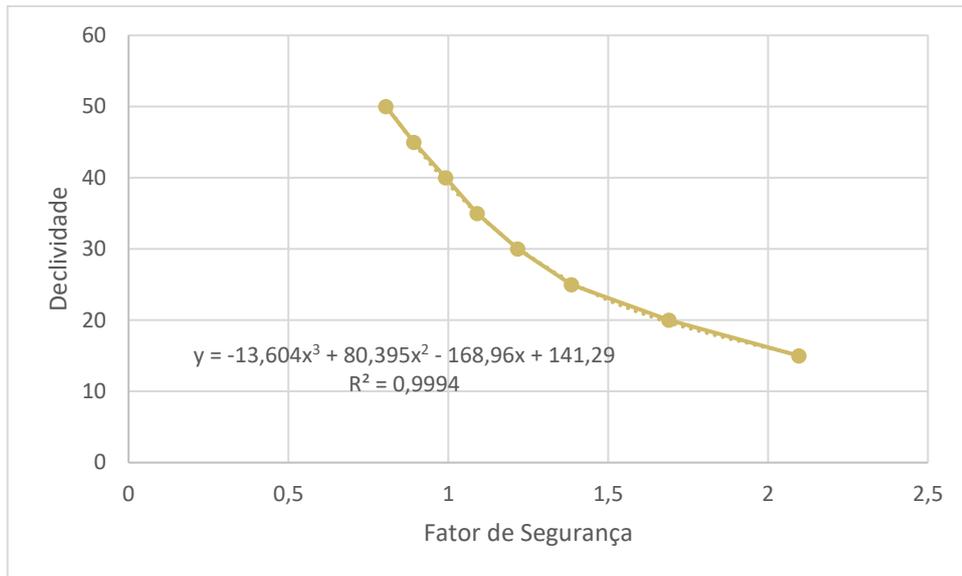
Fonte: Do Autor (2018).

Gráfico 23 - Correlação de FS e declividade para PVg ao nível de confiança de 95%.



Fonte: Do Autor (2018).

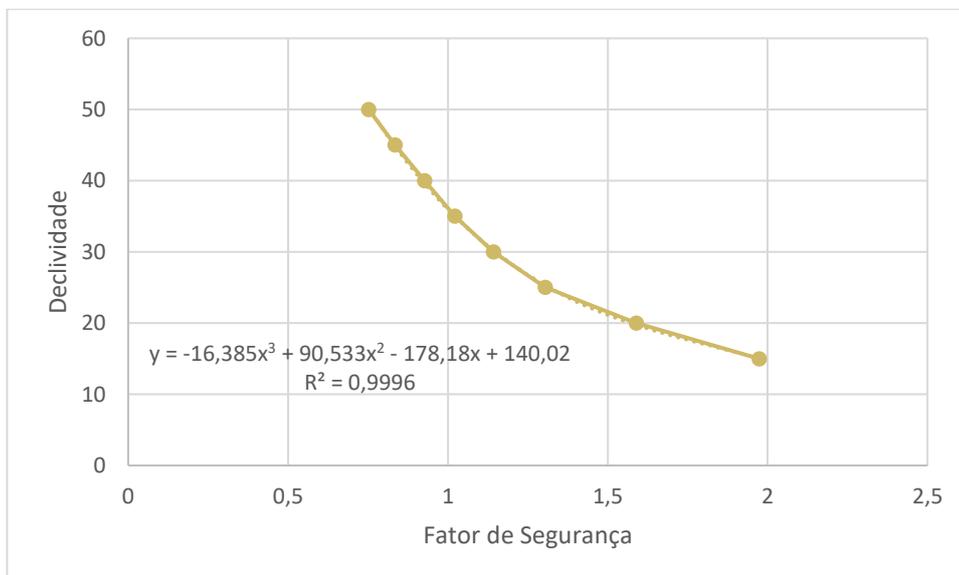
Gráfico 24 - Correlação de FS e declividade para PVg ao nível de confiança de 99%.



Fonte: Do Autor (2018).

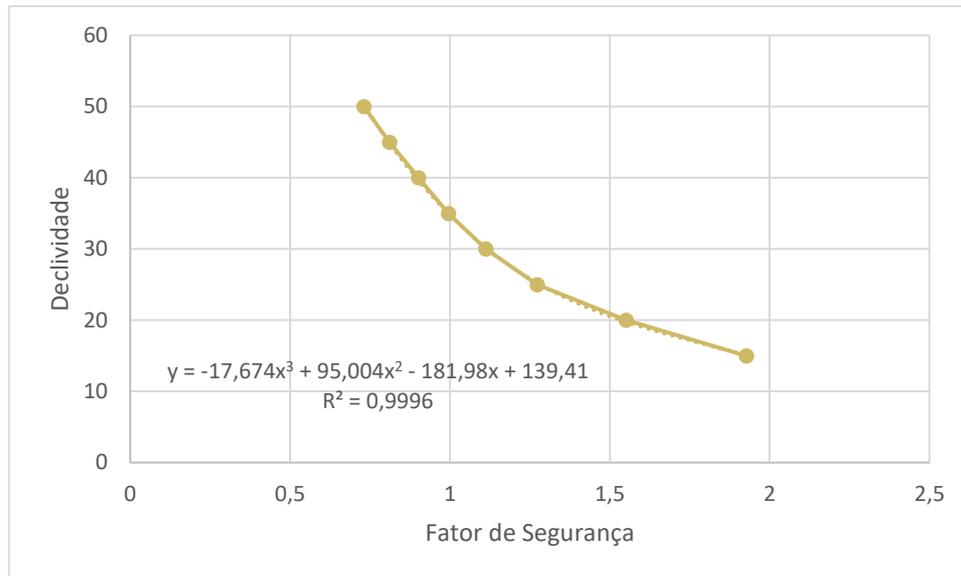
Os Gráficos 25 à 27 apresentam os resultados obtidos para as correlações de declividade e FS e suas respectivas equações para a UG Cambissolo e Podzólico Vermelho-Amarelo de filito (Cf_PVf), para todos os níveis de confiança.

Gráfico 25 - Correlação de FS e declividade para Cf e PVf ao nível de confiança de 90%.



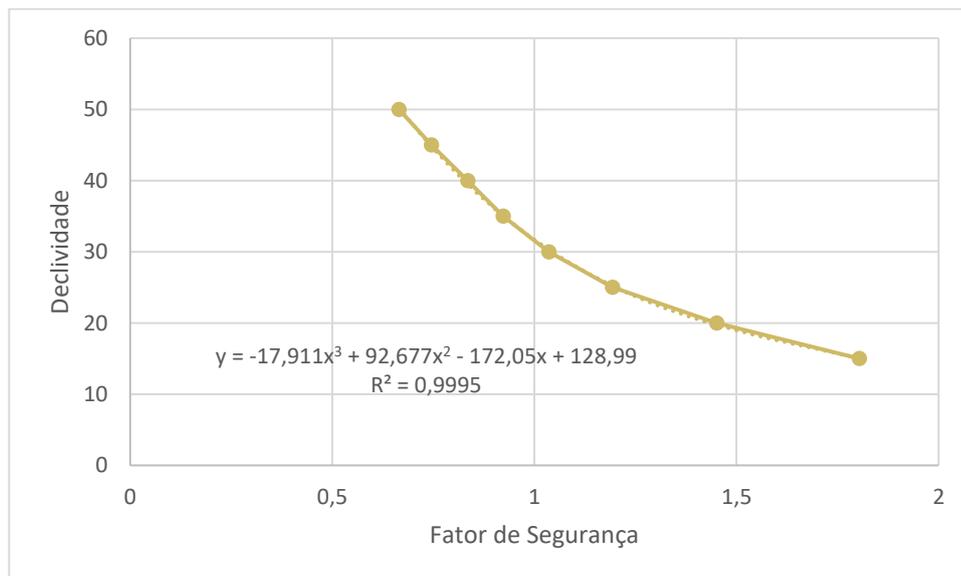
Fonte: Do Autor (2018).

Gráfico 26 - Correlação de FS e declividade para Cf e PVf ao nível de confiança de 95%.



Fonte: Do autor (2018).

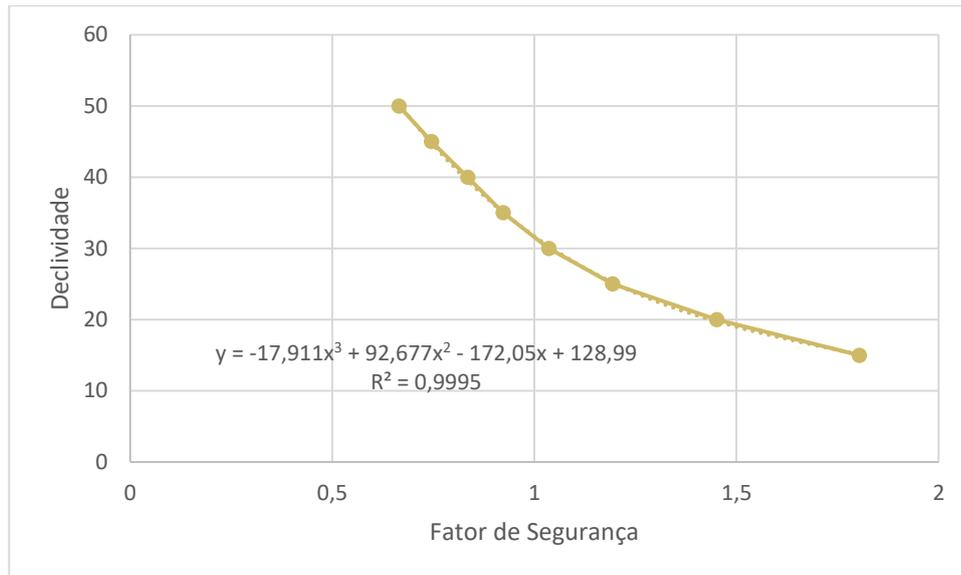
Gráfico 27 - Correlação de FS e declividade para Cf e PVf ao nível de confiança de 99%.



Fonte: Do Autor (2018).

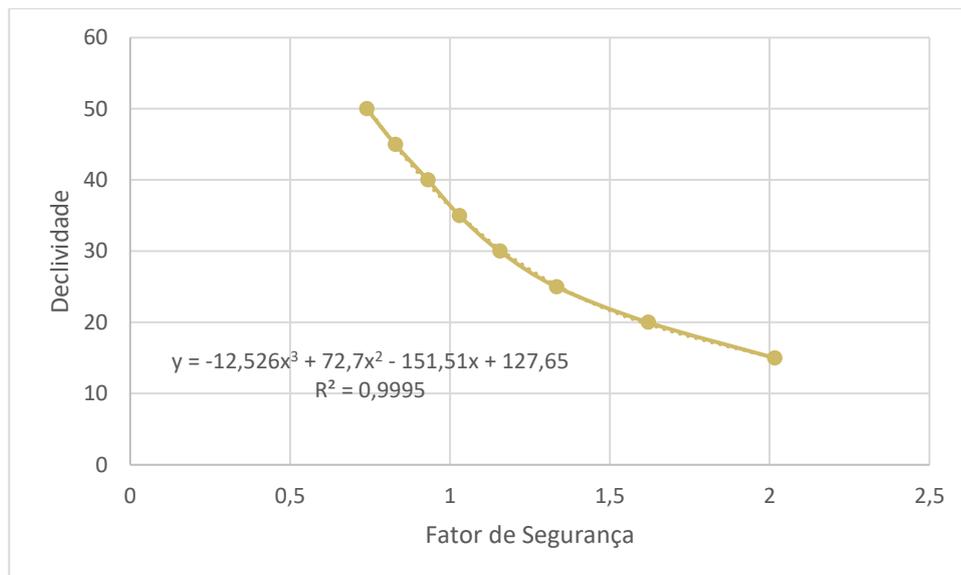
Os Gráficos 28 à 30 apresentam os resultados obtidos para as correlações de declividade e FS e suas respectivas equações encontradas para a UG Podzólico Vermelho-Amarelo de anfibolito (PVanf), para todos os níveis de confiança.

Gráfico 28 - Correlação de FS e declividade para PVanf ao nível de confiança de 90%.



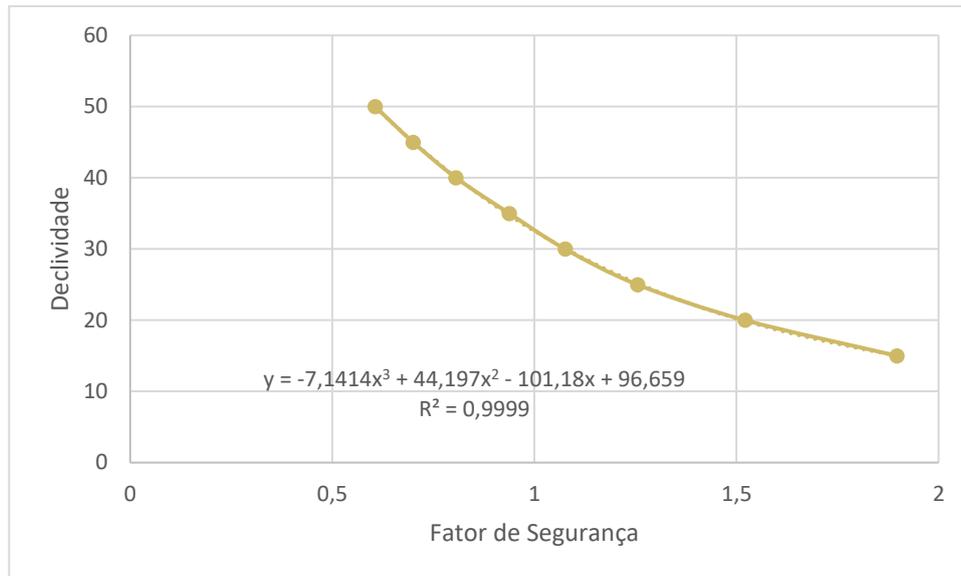
Fonte: Do Autor (2018).

Gráfico 29 - Correlação de FS e declividade para PVanf ao nível de confiança de 95%.



Fonte: Do Autor (2018).

Gráfico 30 - Correlação de FS e declividade para PVanf ao nível de confiança de 95%.



Fonte: Do Autor (2018).

É possível observar que em todas as correlações efetuadas o FS é altamente afetado pelas declividades mais acentuadas. Segundo Fiori (2015) isso ocorre pois em altas declividades a força proveniente do peso da massa de solo é mais efetiva, ou seja, existem menos forças opostas a favor da estabilidade da encosta, induzindo a ruptura. Outro fator importante é que os solos estudados são majoritariamente de composição arenosa. Com isso, uma encosta com esse aspecto tende a ser mais sensível à declividade, uma vez que as areias necessitam de tensões de confinamento maiores para aumentar sua resistência.

As linhas de tendência definidas como equações polinomiais de terceira ordem se mostraram apropriadas para representar o comportamento das correlações utilizadas neste estudo. Dessa maneira os resultados encontrados para as declividades limites são fiéis ao modelo, vide o valor do R^2 , diminuindo a margem de erro e atribuindo confiança aos dados obtidos.

A partir das equações definidas através das correlações obtidas pelas análises de estabilidade das encostas, foi possível inferir os valores de declividade limites para cada unidade geotécnica ao nível de confiança 90%, 95% e 99% e FS de 1,5 e 1,15. A Tabela 34 apresenta os valores das declividades limites encontrados.

Tabela 34 - Declividade limites para cada UG em função de FS e nível de confiança.

Declividades limite (°)							
Unidade Geotécnica	Nível de Confiança						
	FS	90%		95%		99%	
		1,5	1,15	1,5	1,15	1,5	1,15
Canf	23,1	32,69	22,73	32,11	22,28	30,8	
Cg	23,94	34,11	23,26	33,06	22,15	30,84	
PVg	24,32	34,92	23,8	34,15	22,82	32,61	
Cf e PVf	21,14	29,92	20,54	28,89	18,98	26,45	
PVanf	22,33	31,53	21,64	30,50	20,23	27,89	

Fonte: Do Autor (2018).

Os resultados das análises estatísticas para os c e ϕ se expressaram em variações de declividade limite na casa dos 3° dentro do intervalo de confiança de 90% a 99%, valor esse que aparece na unidade geotécnica Canf com FS 1,5. Essa unidade foi a que demonstrou maior desvio padrão entre seus parâmetros, principalmente referente a coesão, que variou de 5,57% a 8,23% aos níveis de confiança de 90% e 99%, respectivamente.

O grande desvio padrão se traduziu em uma diferença de 3,92 kN/m² no valor da coesão entre os níveis de confiança, influenciando diretamente nos FS obtidos nas análises de estabilidade e, por conseguinte nas declividades limites calculadas.

A UG PVg foi a que apresentou os valores de declividades limites mais alto, ou seja, se mostrou ser a UG com maior segurança. Por outro lado, a UG Cf e PVf foi a que apresentou menor segurança.

5.4.3 Cartas de susceptibilidade a movimentos de massa

Os Mapas 7, 8 e 9 apresentam o resultado da classificação das declividades limites encontrados para cada UG nos níveis de confiança de 90%, 95% e 99%, respectivamente. Os resultados encontrados mostram uma grande migração das áreas de baixa e média susceptibilidade para áreas de alta susceptibilidade conforme o nível de confiança é aumentado.

Os setores de baixa susceptibilidade a movimentos gravitacionais de massa estão associados a setores de declividades abaixo de 24,32°, 23,8° e 22,82° para os níveis de confiança de 90%, 95% e 99% respectivamente. Já os setores com alta susceptibilidade a movimentos gravitacionais de massa são representados por encostas com declividades iguais ou maiores a 34,92°, 34,15° e 32,61° aos níveis de confiança de 90%, 95% e 99%,

respectivamente. Os setores de média susceptibilidade são os que surgem no intervalo entre as declividades supracitadas de acordo com os níveis de confiança também supracitados.

A Tabela 35 apresenta a porcentagem das áreas estudadas que são classificadas como de baixa, média e alta susceptibilidade para cada nível de confiança.

Tabela 35 - Porcentagem da área estudada no município de Santo Amaro da Imperatriz para cada classe de susceptibilidade por nível de confiança

Nível de Confiança	Baixa Susceptibilidade	Média Susceptibilidade	Alta Susceptibilidade
90%	45,41%	35,58%	18,91%
95%	43,83%	35,13%	21,04%
99%	39,86%	34,10%	26,04%

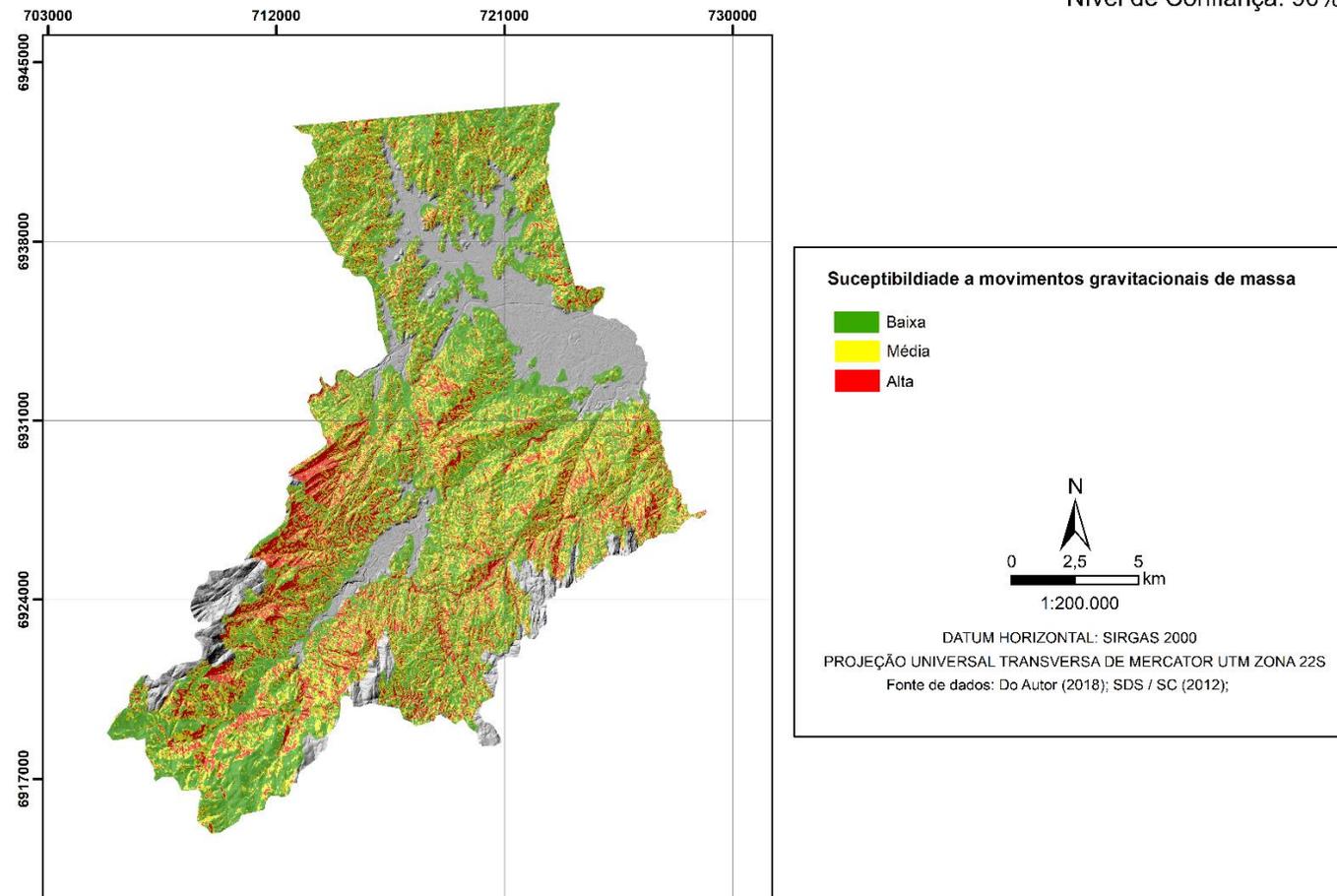
Fonte: Do Autor (2018).

É possível observar uma grande variação na porcentagem de áreas classificadas como de alta susceptibilidade a movimentos gravitacionais de massa com o incremento do nível de confiança dos dados. O maior nível de confiança se traduz na diminuição da chance de erro, logo quanto maior essa variável, menos áreas tendem a se apresentar com baixa susceptibilidade. Isso ocorre justamente pois quanto maior o nível de confiança, menor é a declividade limite correspondente a cada FS.

Mapa 7 - Carta de susceptibilidade a movimentos gravitacionais de massa preliminar de Santo Amaro da Imperatriz com 90% de nível de confiança.

CARTA DE SUSCEPTIBILIDADE A MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA PRELIMINAR DE SANTO AMARO DA IMPERATRIZ -SC

Nível de Confiança: 90%

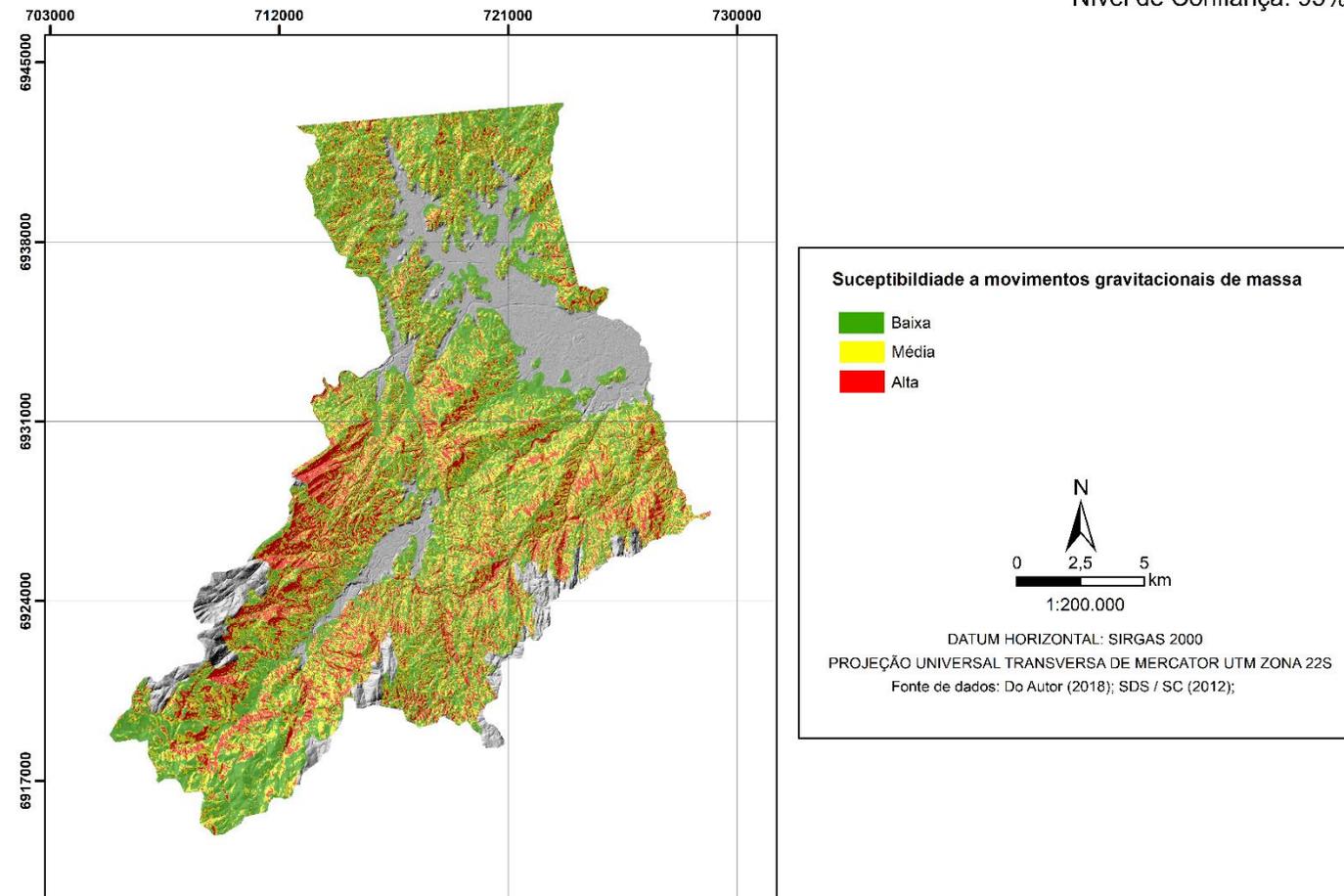


Fonte: Do Autor (2018).

Mapa 8 - Carta de susceptibilidade a movimentos gravitacionais de massa preliminar de Santo Amaro da Imperatriz com 95% de nível de confiança.

CARTA DE SUSCEPTIBILIDADE A MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA PRELIMINAR DE SANTO AMARO DA IMPERATRIZ -SC

Nível de Confiança: 95%

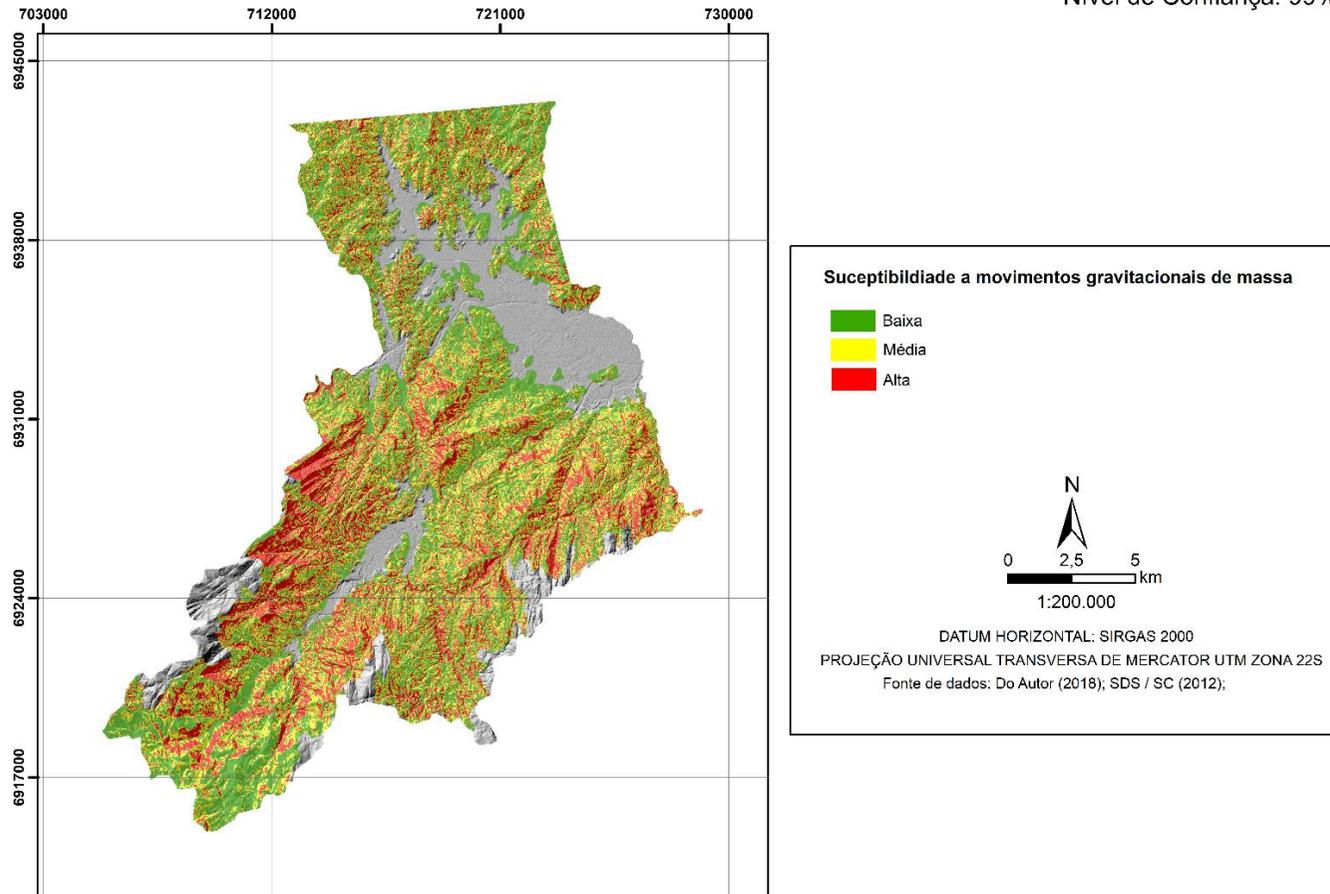


Fonte: Do Autor (2018).

Mapa 9 - Carta de susceptibilidade a movimentos gravitacionais de massa preliminar de Santo Amaro da Imperatriz com 99% de nível de confiança.

CARTA DE SUSCEPTIBILIDADE A MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA PRELIMINAR DE SANTO AMARO DA IMPERATRIZ -SC

Nível de Confiança: 99%



Fonte: Do Autor (2018).

6 CONCLUSÃO

A aplicação de uma nova metodologia de análise de parâmetros de resistência de solos (c e ϕ) com o intuito de poder inferir a susceptibilidade a movimentos gravitacionais de massa, abre uma série de pontos de discussão sobre os resultados obtidos através de estatística, e como a determinação do nível de confiança altera esses resultados.

A metodologia de grandes áreas desenvolvida por Davison Dias (1995) se mostra uma alternativa viável para a realização de mapeamentos geotécnicos em escalas regionais. Contudo, a generalização oriunda do fato de utilizar apenas uma amostra por unidade, faz que variações de parâmetros dentro de uma mesma UG sejam desconsideradas, lesando a confiabilidade do produto final.

A utilização do aplicativo desenvolvido no Laboratório de Geotecnia Aplicada surge como uma opção para sanar o problema apresentado pela metodologia de Davison Dias (1995). A utilização de estatística para a inferência dos parâmetros de resistência suprime consideravelmente a chance de se levar em consideração *outliers* para a realização das análises de estabilidade e assim conceber um resultado equivocado.

Os valores obtidos pelo aplicativo desenvolvido pela equipe do LGA se mostraram condizentes, contudo é necessário avaliar o tamanho do desvio encontrado em cada UG e para cada nível de confiança. Dados com um desvio muito alto devem ser revistos e analisados minuciosamente antes da sua aplicação, uma vez que altos desvios podem levar a resultados reais destoantes do que é apresentado.

A aplicação pura de estatística, no entanto, não faz com que o resultado obtido seja o mais correto possível. Uma vez que, mesmo tentando se aproximar das piores situações possíveis, variáveis como chuvas, clima, variações geológicas e pedológicas não são diretamente aplicadas nas análises, efetuando assim análises genéricas de comportamento dos taludes da região. Isso mostra a fragilidade da metodologia utilizada, que mesmo buscando sanar o problema de representatividade amostral de determinada UG, ainda se torna uma análise superficial e com brechas para possíveis equívocos.

De toda forma, o mapeamento geotécnico em grande escala não deve substituir as análises locais em detalhes. Deve servir como uma primeira visão sobre as condições que se espera encontrar em campo, tendo ainda que ser corroborado por estudos mais específicos que busquem eliminar as generalizações feitas e adicionem variáveis locais que foram suprimidas durante o processo de mapeamento.

Quanto as cartas preliminares de susceptibilidade a movimentos gravitacionais de massa, conclui-se que são de essenciais para a expansão urbana de grandes centros ou setores adjacentes. A qualidade do produto final está diretamente ligada a quantidade de parâmetros que está sendo levado em consideração no momento das análises, mais parâmetros, mais coerente a carta final será.

Este trabalho elucidou a questão de que apenas números não podem corresponder a todas as variáveis naturais que regem o comportamento mecânico dos solos de uma determinada região. Sendo necessário complementar com estudos geológicos, pedológicos, climáticos e de engenharia as informações necessárias para se obter o resultado mais próximo da realidade.

7 SUGESTÕES

Desenvolver um método em que as análises estatísticas consigam avaliar as nuances numéricas e diferir o que é variável local e variável regional, de modo que seja possível atribuir pesos diferentes para cada uma delas durante o processo de inferência dos parâmetros de resistência.

Mensurar o quanto os fatores climáticos influenciam na carta de susceptibilidade final, fazendo com que a classificação das áreas se altere de acordo com a pluviosidade média da região.

Refinamento do banco de dados, adicionando particularidades ligadas a geologia e pedologia de cada unidade, podendo avaliar durante o processo de obtenção dos dados aquelas que são mais próximas a UG que está sendo estudada.

A criação de uma análise regional em 3D que seja capaz de realizar a krigagem de dados obtidos através de poços de inspeção, geofísica, etc. e correlacionar os mesmos com os parâmetros de resistência presente no banco de dados.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, A. D. C. **Mapeamento geotécnico da folha Conchal-SP: Escala 1:50.000.** 1994, Dissertação de Mestrado. São Carlos: Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 2vol.
- ALMEIDA, F.F.M. de et al. **Províncias estruturais brasileiras.** Simpósio de Geologia do Nordeste, v. 8, n. 1977, p. 363-391, 1977.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122:** Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 2003. 91 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459:** Solo - Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1984. 6 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180:** Solo - Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1984. 3 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181:** Solo - Análise Granulométrica. Rio de Janeiro, 1984. 13 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM52:** Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2003. 13 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9604:** Abertura de poço trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas. Rio de Janeiro, 1986. 9 p.
- AUGUSTO FILHO, O. **Cartas de risco de escorregamentos: uma proposta metodológica e sua aplicação no município de Ilhabela, SP.** Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994. 162p.
- BASEI, M.A.S. **O Cinturão Dom Feliciano em Santa Catarina .** 1985. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Instituto de Geociências. São Paulo. 213p.
- BASEI, M.A.S.; CAMPOS NETO, M.C; CASTRO, N.A; NUTMAN, A.P.; WEMMER, K.; YAMAMOTO, M.T.; HUECK, M.; OSAKO, L.; SIGA, O.; PASSARELLI, C.A. **Tectonic Evolution of The Brusque Group, Dom Feliciano Belt, Santa Catarina, Southern Brazil.** Journal of South American Earth Science. Vol 32. pag 324-350. 2011.
- BUSSAB. W. O.; MORETTIN. P.A. **Estatística Básica.** 6 °Edição São Paulo: SaraivaUni, 2010.
- BASTOS. G. **Estruturação de Banco de Dados a Partir do Mapeamento Geotécnico Aplicado à Região de Ribeirão Preto (SP).** 2005. Tese de Doutorado. EESC - USP, Departamento de Geotecnia, São Carlos.
- BITAR, O. Y.; CERRO, L. E.S.; NAKAZAWA, V.A. **Carta de risco geológico e carta geotécnica. Uma diferenciação a partir de casos em áreas urbanas no Brasil.** 1992. In:

SIMPÓSIO LATINO AMERICANO SOBRE RISCO GEOLÓGICO URBANO, 2, Pereira, 1992. Pereira V.1, p.35-41.

BITTENCOURT, M.F.; BONGIOLO, E.M.; PHILIPP, R.P.; MORALES, L.F.G.; RUBERT, R.R.; MELO, C.L.; LUFT JR, J.L. **Estratigrafia do Batólito Florianópolis, Cinturão Dom Feliciano, na região de Garopaba-Paulo Lopes, SC.** Revista Pesquisa em Geociências. Instituto de Geociências, UFRGS. 2008.

CARAMEZ, M. L. **Mapeamento geotécnico da microbacia do Itacorubi – Florianópolis/SC – Aplicação do modelo SHALSTAB para a confecção de mapa de suscetibilidade a deslizamentos rasos de encostas.** 2017. Dissertação de Mestrado. Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC.

CERRI, L. E. S. **Carta geotécnica: Contribuições para uma Concepção Voltada Às Necessidades Brasileiras.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 6, Salvador, BA, 1990.

CORREIA, Vinícius Martins; PIZZOLO, Renata de Lucca. **Desenvolvimento de método de análise de riscos geotécnicos: Aplicação em Brusque e Botuverá, estado de Santa Catarina.** Relatório de Iniciação Científica/CNPQ, no prelo.

COSTA, Tony Carlos Dias. **Análise crítica das metodologias gerais de mapeamento geotécnico visando formulação de diretrizes para a cartografia geotécnica no trópico úmido e aplicação na região metropolitana de Belém, Escala 1 : 50000.** 9 novembro 2001. 279 p. Universidade Federal do Pará, Belém. 9 novembro 2001.

CPRM – COMPANHIA DE PESQUISAS DE RECURSOS MINERAIS. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil – Carta Metalogenética / Previsional – Escala 1:100.000 – Anexo II.** 1995

CRUDEN, D. M.; VARNES, D. J. L *Landslides: investigation and mitigation. Chapter 3- Landslides types and processes. Transportation research board special report.* n. 247, 1996.

DAS, B. M. **Fundamentos de engenharia geotécnica.** Tradução EZ2Translate. Revisão técnica Leonardo R. Miranda. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

DAVISON DIAS, R. **Proposta de metodologia de definição de carta geotécnica básica em regiões tropicais e subtropicais.** Revista do Instituto Geológico. São Paulo, p.511-55.1995.

DAVISON DIAS, R. **Aplicação de Pedologia e Geotecnia no Projeto de Fundações de Linhas de Transmissão.** 1987. Tese de Doutorado em Engenharia – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, RJ.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 6. ed. Rio de Janeiro, 2013.

ESPÍNDOLA, M.D.S. **Análise dos parâmetros geotécnicos dos solos moles da obra de ampliação do Aeroporto Internacional Hercílio Luz, Florianópolis.** 2011. Dissertação de Mestrado – Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC.

FERNANDES, N. F.; AMARAL, C.P. Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org) **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand, p. 123-194, 2003.

FLACH, M. K. **Análise da estabilidade de um talude em solo natural com avaliação dos parâmetros de resistência em diferentes profundidades, Nova Trento – SC**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina.

FLORISBAL, L.M., 2011. **Petrogênese de granitos sintectônicos em ambiente pós-colisional do Escudo Catarinense: estudo integrado de geologia estrutural, geoquímica elemental e isotópica Sr–Nd–Pb e geocronologia U–Pb em zircão**. Tese (Doutorado). Curso de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 153 p.

FREITAS, C, G, L. de; CAMPANHA, V. A. **Carta geotécnica e ambiental aplicada em planos diretores municipais**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E GEOAMBIENTAL, 6, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: ABGE, 2007. p. 562-570.

FIORI, Alberto Pio. **Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas: aplicações na estabilidade de taludes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

FRANCO, Gustavo Barreto, et. al. **Cartografia Geotécnica: Estágio Atual do Conhecimento**. Caminhos da Geografia, Uberlândia: v. 11, n. 35, Set/2010. p 158 – 172. Disponível em: <http://www.ig.ufu.br/revista/caminhos.html>. Acesso em 21 setembro 2017.

GODOI, Cesar Schimdt. **Caracterização geomecânica de um solo residual de gnaiss – Santo Amaro da Imperatriz, Santa Catarina**. 2014. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC.

GUIDINI, G.; NIEBLE, C. M. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. Edgard Blucher, 1984. 194p.

HIGASHI, R. A. D. R. **Metodologia de uso e ocupação dos solos de cidades costeiras brasileiras através de SIG com base no comportamento geotécnico e ambiental**. 2006. Tese de Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC.

HORBACH, R. *et al.* **Geologia In: IBGE. Folha SH.22 Porto Alegre e parte das folhas SH.21 Uruguaiana e SI.22 Lagoa Mirim**. Rio de Janeiro: IBGE, 1986.

IAEG. *Engineering geological maps – a guide to their preparation. Earth Sciencies*. 1976. n.15. CEGM, IAEG, UNESCO press.

KAUL, P. F. T *et al.* **Geologia. In: IBGE. Folha SG.22 Curitiba, parte da folha SG.21 Asunción e folha SG.23 Iguape**. Rio De Janeiro: IBGE, 1995.

KAUL, P. F. T.; FERNANDES, E.; SANTOS NETO, A. **Projeto Gerenciamento Costeiro GERCO – 3ª Fase: Geologia**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 2002. 63p.

MARINHO, F.A.M. **Investigação Geotécnica Para Quê?** In: IV CONFERÊNCIA BRASILEIRA DE ENCOSTAS, 2005, Vol 2.

MOORE, D. S. **A estatística básica e sua prática**. 2º Edição. São Paulo: LTC, 2005.

MÜLLER, V. S. **Avaliação da influência de um protocolo para obtenção de dados de resistência ao cisalhamento com aplicação em mapas geotécnicos**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina.

PELLOGIA, Alex Ubiratan Goossens. **Discussão sobre a atual cartografia geotécnica do município de São Paulo e suas possíveis aplicações**. Revista Brasileira de Geociências: v. 26, n.4, dez/1996. p315-319.

PINTO, C. D. S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

ROSA, R. O. **Projeto Gerenciamento Costeiro GERCO – 3ª Fase: Geomorfologia**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 2002, 56p.

SBROGLIA, Regiane Mara. **Mapeamento geotécnico e das áreas suscetíveis a deslizamentos na microbacia do Ribeirão Baú, Ilhota - SC**. 17 março 2015. 187 p. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 17 março 2015.

SELBY, M. J. **Hillslope materials and process**. Oxford Universty Press Inc. New York, 2ºed., 1993. 450p.

SHIMIZU, S. H.; VIEIRA, P. C.; MOSER, J. M. **Projeto Gerenciamento Costeiro GERCO – 3ª Fase: Pedologia**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 2003. 705p.

SILVA, M. A. **Análise da Susceptibilidade ao Colapso de Areias Quartzosas Podzolizadas ao Leste do Estado de Santa Catarina**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina.

SOUZA, N. C. D. C. **Mapeamento Geotécnico da Folha de Aguaí, com base na Compartimentação por Formas de Relevo e Perfis Típicos de Alteração**. Dissertação de Mestrado - EESC, USP, São Carlos, 1992.

SOUZA, Leonardo Andrade; SOBREIRA, Frederico Garcia. **Procedimentos para elaboração de cartas geotécnicas no planejamento urbano**. Revista Brasileira de Cartografia. Ouro Preto / MG, nº 67, p 141-156, Jan/2015.

TRAININI, D. R. et al. **Projeto Vidal Ramos-Biguaçu: Relatório Final**. Porto Alegre: DNPM/CPRM. 5v. 1978.

UFSC 2016; **Mapeamento Geológico 1:25.000, Projeto Águas Mornas, parte das folhas Rancho Queimado (SG-22-Z-D-IV-2), Santo Amaro da Imperatriz (SG-22-Z-D-V-1), Anitápolis (SG-22-Z-D-IV-4) e São Bonifácio (SG-22-Z-D-V-3).** Florianópolis. Trabalho do curso de graduação em geologia, Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina.

UFSC 2017; **Mapeamento Geológico 1:25.000, Projeto Forquilhas, parte das folhas Rancho Queimado (SG-22-Z-D-IV-2), Santo Amaro da Imperatriz (SG-22-Z-D-V-1).** Florianópolis. Trabalho do curso de graduação em geologia, Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina.

VARGAS, M. **Introdução à Mecânica dos Solos.** São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1977. 509p.

VARNES, D.J. *Slope movement types and process. Special Report*, v. 176, p. 11-33, 1978.

WERNICK, E. **O magmatismo granitoide das regiões de dobramento nordestes e sudeste do Brasil.** Revista Brasileira de Geociências, v. 9, n.2, jun/1979. P122-139.

WINTER, J. D. *Principles of Igneous and Metamorphic Petrology.* Harlow: Pearson Education Limited, 2014.

WOLSKI, M. S. (1998). **Contribuição à cartografia geotécnica de grandes áreas com o uso de sistemas de informações geográficas: uma aplicação à Região do Médio Uruguai (RS).** CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO - COBRAC, p. 8p.

XAVIER, Sinval Catarelli. **O mapeamento geotécnico por meio de geoprocessamento como instrumento de auxílio ao planejamento do uso e ocupação do solo em cidades costeiras: Estudo de caso para Pelotas (RS).** Janeiro 2010. 216 p. Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande. Janeiro 2010.

ZAINE, J. E. **Mapeamento Geológico-geotécnico por Meio do Método do Detalhamento Progressivo: Ensaio de Aplicação na Área Urbana do Município de Rio Claro – SP.** IGCE, Rio Claro, SP, 2000.

ZANINI, L. F. P. et al. (Santa Catarina). **Florianópolis - Lagoa: folha SG.22-Z-D-V - folha SG.22-Z-D-VI:** estado de Santa Catarina. Brasília: CPRM, 1997. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB.

ZUQUETTE, L. V. **Análise crítica da cartografia geotécnica e posposta metodológica para as condições Brasileiras.** 1987. Tese de Doutorado. São Carlos: Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 4 vol.

ZUQUETTE, L. V. **Importância do Mapeamento Geotécnico no Uso e Ocupação do Meio-físico: Fundamentos e Guia para Elaboração.** Tese de Livre-Docência, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1993, 2v., 388p.

ZUQUETTE, L. V. e NAKAZAWA, V. A. **Cartas de Geologia de Engenharia.** Geologia de Engenharia, São Paulo, 1998, ABGE, p. 282-300.

ZUQUETTE, L. V.; GANDOLFI, N. **Cartografia geotécnica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.