

Guilherme Ramos Ribeiro

**ANÁLISE E VALIDAÇÃO DE SUSCEPTIBILIDADE A  
DESLIZAMENTOS EM AMBIENTE SIG NA REGIÃO DE  
BELCHIOR CENTRAL, GASPARGUARAPUAVA, SC.**

**Orientador: Edison Ramos Tomazzoli**

Dissertação submetido ao  
Programa de Pós Graduação em  
Geografia, da Universidade Federal  
de Santa Catarina para a obtenção  
do Grau de Mestre em Geografia.  
Orientador: Prof. Dr. Edison Ramos  
Tomazzoli.

Florianópolis  
2016

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

Ribeiro, Guilherme

Análise e validação de susceptibilidade a deslizamentos em ambiente SIG na região de Belchior Central, Gaspar, SC. / Guilherme Ribeiro ; orientador, Edison Tomazzoli - Florianópolis, SC, 2016. 188 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Programa de Pós-Graduação em Geografia.

Inclui referências

1. Geografia. 2. Movimentos Gravitacionais de Massa. 3. Susceptibilidade. 4. Análise Sensitiva . 5. Validação da Susceptibilidade. I. Tomazzoli, Edison. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Geografia. III. Título.





## RESUMO

Esta dissertação explora metodologias que permitem avaliar as principais características do cenário de movimentos gravitacionais de massa.

A área de estudo foi escolhida em resposta ao desastre natural de 2008 no Vale do Itajaí, Santa Catarina, onde ocorreram centenas de milhares de movimentos de massa causando 135 vítimas fatais e 2 desaparecidos, configurando em diversos municípios um cenário catastrófico. A área de estudo se insere no município de Gaspar, abrangendo os bairros de Belchior e Arraial do Ouro, totalizando 55km<sup>2</sup>.

A análise de susceptibilidade de movimentos gravitacionais de massa (MGM) foi gerada a partir de uma análise estatística probabilística, utilizando a capacidade preditiva para mensurar o grau de relevância dos fatores de predisposição. O cálculo da capacidade preditiva foi efetivado a partir do Valor Informativo, relacionando a densidade média dos MGM da área de estudo, pela densidade média de cada classe dos fatores de predisposição. Os resultados obtidos revelaram que dentre os 6 fatores de predisposição analisados, a combinação de todos eles para a modelação da susceptibilidade, geram o melhor índice de taxa de predição, isoladamente, dentre os fatores de predisposição, a declividade seguido da pedologia tiveram os melhor índices.

A validação do modelo gerado para avaliação da susceptibilidade foi efetuado a partir do particionamento de inventário dos movimentos pretéritos de forma aleatória, utilizando metade para avaliação da susceptibilidade a outra metade para validação do mesmo, a partir da Taxa de Sucesso, gerado pelo cálculo da Área Abaixo da Curva(AAC)

Os resultados obtidos da validação do modelo revelaram que o melhor resultado da Área Abaixo da Curva foi a partir do particionamento do modelo em 4 classes, gerando um índice de 0,820, enquanto que a melhor curva de predição foi gerada a partir de 8 classes, justificando 77% dos movimentos de massa com 20% da área de estudo.

**Palavras-chave:** Movimentos Gravitacionais de Massa; Sistemas de Informações Geográficas; Análise Sensitiva; Mapeamento de Susceptibilidade; Validação do modelo.



## ABSTRACT

This work promotes the exploration of methodologies for assessing the main features of the scene of mass gravitational movements.

The study area was chosen in response to the natural disaster in November 2008 in the Valley of Itajaí, Santa Catarina, where there were hundreds of thousands of mass movements caused 135 fatal victims and 2 missing, setting in several municipalities a similar scenario to war . Totaling 55km<sup>2</sup>, the study area is within the municipality of Gaspar, covering the districts of Belchior and Arraial do Ouro.

The gravitational mass movements susceptibility analysis (MGM) was generated from a statistical \ probabilistic analysis using the predictive ability to measure the degree of relevance of predisposing factors. The calculation of the predictive capacity was made effective from the Information Value, relating the average density of the MGM of the study area, the average density of each class of predisposing factors. The results showed that among the 6 analyzed predisposing factors, the combination of all of them for modeling susceptibility generate the best prediction rate index, alone among the predisposing factors, the slope followed by pedology had the best rates .

Validation of the generated model to evaluate the susceptibility was made from the inventory partitioning of past moves randomly, using half to evaluate the susceptibility to other half to be validated from the success rate, generated by calculating the area Under Curve.

The results of validation of the model revealed that the best result Curve Area Under was from partitioning the model into 4 classes, generating a 0.820 index, while the best prediction curve was generated from the 8 classes, justifying 80% of mass movements with 20% of the study area.

**Keywords:** Mass Gravitational Movements; Geographic Information Systems; Sensitivity Analysis; Risk Mapping; Resilience.





## LISTA DE FIGURAS

Figura 1-2 Número de ocorrências de desastres naturais no Brasil, registradas no sistema EM-DAT. Adaptado do EM-DAT 2015. ....	27
Figura 1-1 Número de ocorrências de desastres no Brasil entre 1990 – 2015 registrados no EM-DAT. Adaptado do EM-DAT 2015. ....	<b>Error!</b>
<b>Bookmark not defined.</b>	
Figura 1-3: Número de óbitos por ocorrência de desastres naturais no Brasil, registrados no sistema EM-DAT. Adaptado do EM-DAT 2015. ....	28
Figura 1-4 - Mapa de ocorrência de escorregamentos no estado de Santa Catarina (1980-2003). ....	32
Figura 2-1 - Bacia hidrográfica do Vale do Itajaí, localização do município de Gaspar e a localização da área de estudo.....	38
Figura 2-2 - Esquema do Bloqueio atmosférico configurado durante o evento.....	58
Figura 2-3 - Carta de superfície.....	59
Figura 2-4 - Mapa Urbano da Freguesia de São Pedro Apóstolo (atual centro de Gaspar). ....	61
Figura 2-5 - Evolução da população do município de Gaspar 1991-2010 .....	63
Figura 2-6 - Grupo de estabelecimentos agropecuários, por dimensão fundiária. ....	65
Figura 3-1 - Tipos básicos de movimentos de massa. ....	68
Figura 3-2 - Tipos básicos de movimentos de massa. ....	69
Figura 3-3 - Tipologias de movimentos de massa. ....	71
Figura 3-4 - Movimentos de Massa, conforme características físicas... ..	72
Figura 3-5 - Modelo básico das características de um deslizamento.....	72
Figura 3-6 - Secções de tombamento em diferentes estágios de atividade.....	75
Figura 3-7 - Escorregamento translacional padrão.....	77
Figura 3-8 Indicadores de rastejo .....	80
Figura 3-9 Esquema geral dos fatores que envolvem os MGM. ....	82
Figura 3-10 - Principais grupos de fatores de predisposição de ocorrência de movimentos gravitacionais de massa no mundo.....	84
Figura 3-11 - Relação entre evento e desastre de origem natural.....	85
Figura 3-12 Definição de risco.....	86
Figura 4-1 Modelagem da Cartografia Geotécnica a partir da dinâmica do meio ambiente e o papel do meio físico, e sua relação com a cartografia geotécnica. ....	99
Figura 4-2 Tipos de Cartas Geotécnicas.....	100

Figura 5-1 Da esquerda para direita: (a) Área da área de estudo apresentando deformação espacial; (b) detalhe do MDE com anomalias; (c) Cotas de nível contendo valores anômalos; (d) MDE corrigido.....	103
Figura 5-2 - Tabela de atributos do shapefile inventário. ....	106
Figura 5-3 - Mapeamento utilizando imagem aérea como plano de fundo .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 5-4 - Mapeamento utilizando imagem aérea e curvas de nível como plano de fundo.....	107
Figura 5-5 - Mapeamento utilizando curvas de nível e Hillshade (Relevo sombreado) como plano de fundo.....	107
Figura 5-6 - Procedimentos para a taxa de predição. ....	109
Figura 5-7 - Metodologia de mapeamento das zonas de depleção.....	111
Figura 5-8 - Declividade da área de estudo.....	114
Figura 5-9 - Valor Informativo por Classe de Declividade. Classe1= 0°-5°; Classe2= 5°-10 °; Classe3= 10°-15°; Classe4= 15°-20°; Classe5= 20-25°; Classe6= 25°-30°; Classe7= 30°-35°; Classe8= 35°-40°; Classe9= 40°-46,5°; .....	115
Figura 5-10 - Valor Informativo das unidade geomorfológicas. Classe 1 ( escarpas erosivas); classe 2 (escarpas em linha de falha); classe 3 (bacias suspensas); classe 4 (modelado de colinas e morros em gnaisse); classe 5 (modelado de colinas e morros em arenito); classe 6 (modelado de colinas e morros em conglomerado); classe 7 (modelado em montanhas); classe 8 (planície fluvial).....	116
Figura 5-11 - Direções de encosta da área de estudo. ....	118
Figura 5-12 - VI das classes de direções de encosta. Classe 1 (Norte); Classe 2 (Nordeste); classe 3 (Leste); classe 4 (Sudeste); classe 5 (Sul); classe 6 (Sudoeste); classe 7 (Oeste); classe 8 (Noroeste). ....	119
Figura 5-13 - Formas de encosta da área de estudo. ....	121
Figura 5-14 - Curvatura Perfil convexo (esq.), perfil concâvo (meio); perfil retilíneo (dir.). ....	122
Figura 5-15 - Curvatura plana: convexo (esq.), perfil concâvo (meio); perfil retilíneo (dir.). ....	123
Figura 5-16 - Resultado da multiplicação das matrizes de formas em perfil e plana. ....	124
Figura 5-17 - VI das formas de encostas na área de estudo. ....	124
Figura 5-18- Lineamentos da área de estudo. ....	126
Figura 5-19 - VI dos lineamentos. ....	127
Figura 5-20 - VI das classes de solos na área de estudo. ....	128
Figura 6-1 - Taxa de sucesso.....	135
Figura 6-2 - Taxa e curva de predição da declividade, cada classe representa 5° de declividade. Ex: 1 = 0 a 5°. ....	135

Figura 6-3 - Classificação do índice AAC conforme a qualidade do modelo.....	137
Figura 7-1 - Área de estudo em porcentagem, por classe de declividade. ....	141
Figura 7-2 - Total de UT com MGM translacional em porcentagem, por classe de declividade. ....	141
Figura 7-3 - Taxa de predição da declividade .....	142
Figura 7-4 - Área de estudo em porcentagem, por classe de solos.....	143
Figura 7-5 - Total de UT com MGM translacional em porcentagem, por classe de solos. ....	144
Figura 7-6 - Curva de predição da pedologia .....	145
Figura 7-7 - Área de estudo em porcentagem por classe de direção de encosta. Fonte: Ribeiro, 2016.....	146
Figura 7-8 - Total de UT com MGM translacional em porcentagem por classe de direção de encosta. ....	146
Figura 7-9 - Curva de predição das direções de encosta .....	147
Figura 7-10 - Área de estudo em porcentagem por classe geomorfológica. ....	149
Figura 7-11 - Total de UT com MGM translacional em porcentagem por classe geomorfológica.....	150
Figura 7-12 - Taxa de predição do mapeamento geomorfológicos. ....	151
Figura 7-13 - Área de estudo em porcentagem por classe de forma de encosta.....	152
Figura 7-14 - Total de UT com MGM translacional em porcentagem por classe de forma de encosta. ....	153
Figura 7-15 - Taxa de predição das formas de encosta. ....	154
Figura 7-16 Tabulação dos dados no Excel para extração dos valores da AAC e os gráficos de predição.....	157
Figura 7-17 Densidade de MGM translacional por classe de susceptibilidade. ....	159
Figura 7-18 Densidades de MGM translacional para as classes de susceptibilidade utilizadas no modelo final.....	160
Figura 7-19 taxa de predição do mapeamento da susceptibilidade com 8 classes.....	161
Figura 7-20 taxa de predição do mapeamento da susceptibilidade com 32 classes.....	161



## **LISTA DE MAPAS**

Mapa 1- Mapa geomorfológico da área de estudo. Adaptado de Tomazzoli et al. (2012). .....	43
Mapa 2 - Mapa Geológico e lineamentos principais da área de estudo. ....	48
Mapa 3- Mapa pedológico da área de estudo. ....	54
Mapa 4- Mapa de susceptibilidade da área de estudo. ....	163



## LISTA DE FOTOS

Foto 1 - Quedas de blocos em diversas partes do mundo.....	73
Foto 2 - Esquerda: Escorregamento planar raso. Direita: Escorregamentos translacionais generalizados com posterior fluxo de detritos, deflagrando a explosão do gasoduto em Gaspar. ....	76
Foto 3 - Esquerda: Escorregamento rotacional provocado por corte do talude da estrada de Luiz Alves. Direita: Visada panorâmica dos deslizamentos rotacionais com clara influencia antrópica .....	78
Foto 4 - Esquerda: Ribeirão Belchior após corrida de detritos. Foto: Fernanda Bauzys (2009). Direita: Direção que seguiu a corrida de detritos do escorregamento 3, ao longo do ribeirão Belchior.....	79
Foto 5 - Esquerda: Processo de rastejo em pasto condicionado por pisoteamento de gado e possível estrutura pedológica. Direita: Trincas em estruturas rijas, indícios indiretos de rastejo.....	80
Foto 6 - Esquerda: Rodovia com aterro, funcionando como represa em casos de chuvas fortes e ou contínuas. Direita: Corte vertical do talude sem projetos de reestruturação taludial. ....	87
Foto 7 Esquerda: Casas de palafitas, altamente vulneráveis as quaisquer anormalidades naturais. Direita: Conjunto habitacional de baixa-média renda já com alvenarias, menos vulneráveis as anormalidades naturais. ....	87
Foto 8 Esquerda: Perigo de um gato ser atacado por uma matilha de cães. Direita: Casa em perigo por possível rolamento de bloco.....	88





## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Unidades de Planejamento de Gaspar - SC.....	64
Tabela 2 Níveis de mapeamento e suas aplicações .....	90
Tabela 3 Bases e fontes de informações para modelagem em ambiente SIG. ....	92
Tabela 4 Valores Informativos das Classes na análise da susceptibilidade e na validação. ....	155
Tabela 5 Hierarquia dos fatores de predisposição a partir do índice AAC. ....	157
Tabela 6 Cálculo da Área Abaixo da Curva para a susceptibilidade à MGM translacional. ....	162



## LISTA DE ABREVIACÕES

AAC – Área Abaixo da Curva

AVADAN - Avaliação de Danos da Defesa Civil

BD – Banco de Dados

CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

EM-DAT - Emergency Events Database

EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina

*ID – Identidade ShapeFile*

IDMC - Internal Displacement Monitoring Centre

MDT- Modelo Digital de Terreno

MGM – Movimento Gravitacional de Massa

PNPDEC - Política Nacional de Proteção e Defesa Civil

SIG – Sistemas de Informações Geográficas

UNESP -Universidade do Estado de São Paulo

SAAPI - Sistema Aerotransportado de Aquisição e Pós-processamento de Imagens Digitais.

SDS- Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável

UT – Unidade de Terreno

VI – Valor Informativo

VCAN - Vórtice Ciclônico em Altos Níveis



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>25</b>
1.1	Justificativas da Área de Estudo .....	32
1.2	Objetivos gerais.....	34
1.3	Objetivos específicos .....	35
<b>2</b>	<b>LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b>	<b>37</b>
2.1	Localização da área de estudo e critérios de delimitação	37
2.2	ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS.....	39
2.3	QUADRO GEOLÓGICO .....	44
2.4	TIPOS DE solos (Pedologia).....	49
2.5	características Climáticas .....	55
2.5.1	Condições meteorológicas do desastre de 2008.....	57
2.6	Quadro Sócio-Espacial .....	60
2.6.1	Histórico de ocupação do município de Gaspar .....	60
2.6.2	Características gerais do município de Gaspar.....	63
<b>3</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA DOS MOVIMENTOS</b>	<b>67</b>
	<b>GRAVITACIONAIS DE MASSA (MGM) E AGENTES</b>	
	<b>CONDICIONANTES.....</b>	<b>67</b>
3.1	Movimentos Gravitacionais de Massa (MGM) .....	67
3.2	Tipologias de movimentos gravitacionais de massa .....	73
3.2.1	Quedas e tombamentos .....	73
3.2.2	Escorregamentos.....	75
3.2.1.1	Escorregamentos translacionais .....	76
3.2.2.2	Escorregamentos rotacionais .....	77
3.2.2	FLUXOS .....	78
3.2.3	Rastejos .....	80
3.3	Fatores preparatórios e condicionantes: Os fatores de	
	predisposição.....	81

3.4	Evento, desastre, susceptibilidade, perigosidade, vulnerabilidade e risco.....	85
3.4.1	Agentes que permeiam o risco .....	88
<b>4</b>	<b><i>Metodologia e procedimentos para Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e base de dados .....</i></b>	<b>91</b>
4.1	Fontes da base de dados e integração em SIG .....	91
4.2	Cartografia Geotécnica.....	98
4.3	Sistemas de Terreno \ Unidade de Terreno .....	100
<b>5</b>	<b><i>MAPEAMENTO DE INVENTÁRIO E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DOS ELEMENTOS DE PREDISPOSIÇÃO A MGM NA ÁREA DE ESTUDO .....</i></b>	<b>103</b>
5.1	Procedimentos metodológicos para mapeamento de inventário, os movimentos pretéritos. ....	104
5.1.1	Particionamento do inventário.....	108
5.1.2	O que usar como base de relação entre MGM e fatores de predisposição: Polígonos ou pontos? .....	109
5.1.3	.....	109
5.2	Fatores de predisposição, procedimentos metodológicos e resultados preliminares. ....	111
5.2.1	Declive .....	112
5.2.2	Geomorfologia .....	115
5.2.3	Direção de encostas.....	116
5.2.4	Formas da vertente .....	119
5.2.5	Lineamentos .....	125
5.2.6	Pedologia .....	127
<b>6</b>	<b><i>FUNDAMENTOS TEÓRICOS DA ANÁLISE E VALIDAÇÃO DE MODELOS DE SUSCEPTIBILIDADE A MGM .....</i></b>	<b>129</b>
6.1	Possibilidades metodológicas para avaliação da susceptibilidade .....	129
6.2	Valor informativo.....	131
6.3	Modelo de predição .....	132

<b>7 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E RESULTADOS OBTIDOS.....</b>	<b>139</b>
<b>7.1 Análise dos fatores de predisposição para mapeamento da Susceptibilidade.....</b>	<b>140</b>
7.1.1 Fator de predisposição declividade.....	140
7.1.2 Fator de predisposição pedologia.....	142
7.1.3 Fator de predisposição direção de encostas.....	145
7.1.4 Fator de predisposição geomorfologia.....	147
7.1.5 Fator de predisposição formas de encosta.....	151
<b>7.2 Valores Informativos das classes dos fatores de predisposição.....</b>	<b>154</b>
<b>7.3 Taxa de predição e hierarquia dos fatores de predisposição.....</b>	<b>156</b>
<b>7.4 Construção do mapa de susceptibilidade e validação do modelo.....</b>	<b>158</b>
<b>8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>165</b>
<b>9 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>171</b>





## 1 INTRODUÇÃO

A compreensão da dinâmica dos processos naturais é intrigante para a humanidade desde quando a própria ciência foi construída pelas civilizações, buscando a desmistificação dos processos naturais.

Considerando as últimas cinco décadas, percebemos uma fantástica evolução nas ciências dedicadas à redução ao risco por desastres naturais. Durante esse período, a população mundial passou de 3 para 7 bilhões de habitantes, assim como passamos por mais uma revolução tecnológica, possibilitando estudos que jamais poderiam ser realizados àquela época, como por exemplo, a cartografia digital e o sensoriamento remoto.

Buscando tecer nesta introdução um breve histórico a respeito dos estudos dos desastres, a Universidade católica de Louvain, em Bruxelas, cria em 1973 o Centro de Investigação sobre a Epidemiologia dos Desastres (CRED), recebendo apoio de diversas organizações globais. Nos anos 90, o CRED, em apoio com as Nações Unidas de Assuntos Humanitários (UN- DHA); a Federação Internacional da Cruz Vermelha; a Ajuda Humanitária da União Europeia (ECHO); e o Escritório de Assistência a Desastres no Exterior (OFDA – USAID) promoveram ativamente a Década Internacional para a Redução de Desastres Naturais ( IDNDR ) dentro de suas atividades.<sup>1</sup>

Como resultado desta década ativamente dedicada a redução dos riscos, o CRED cria o Centro internacional de banco de dados para desastres, o Emergency Events Database (EM – DAT), que tinha como objetivo unificar dados gerados por organizações, projetos e cientistas de todo o mundo, dimensionando as perdas e a magnitude dos desastres.

A visibilidade de informações em torno das variedades de desastres que envolvem os espaços globais estão crescendo anualmente e o monitoramento dos espaços que sofrem de algum tipo de perigo tornam-se cada vez mais vital para a construção de uma resiliência global, frente a diversidade de perigos que os seres humanos enfrentam.

O Centro Interno de Monitoramento de Deslocados (Internal Displacement Monitoring Centre (IDMC)) criado em 1998 a pedido do Comitê Permanente de Interagências sobre a assistência humanitária, hoje é a principal fonte de informação e análise sobre o deslocamento de populações afetadas por desastres.

---

<sup>1</sup> Disponível em: <http://www.emdat.be/history> Acesso em: 05/01/2015.

Nos últimos 15 anos, foram registrados no banco de dados do EM-DAT uma média de 455 ocorrências por ano, com um total de mais de 3,5 milhões de vítimas fatais, afetando uma soma incrível de 6 bilhões de pessoas a um custo estimado em mais de 3 trilhões de dólares (EUA). Analisando estes dados é surpreendente reunindo esses últimos 15 anos em um único ano, somente 14% da população global seria privilegiada por não ter sido afetada por algum desastre. No Brasil, somente no ano de 2014, o IDMC registrou 7 ocorrências envolvendo inundações e deslizamentos, contabilizando aproximadamente 2,5 mil pessoas deslocadas pelos desastres ocorridos em 7 Estados brasileiros.<sup>2</sup>

São números que superam até mesmo grandes prejuízos causados por determinadas guerras, assim a redução de riscos de desastres e a construção da resiliência estiveram entre os temas eleitos pelo Secretariado do Rio +20 e a Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável.

Dentre o total de vítimas fatais nos últimos 40 anos mencionado anteriormente, Freitas et al. (2012) aponta que mais de 90% dos óbitos inserem-se em países pobres ou em desenvolvimento, sendo que nesses países o ciclo da pobreza alimenta o da degradação ambiental e estes se retroalimentam, criando um ciclo vicioso. Essa situação torna a vulnerabilidade socioambiental cada vez mais expostas a desastres exponencialmente danosos.

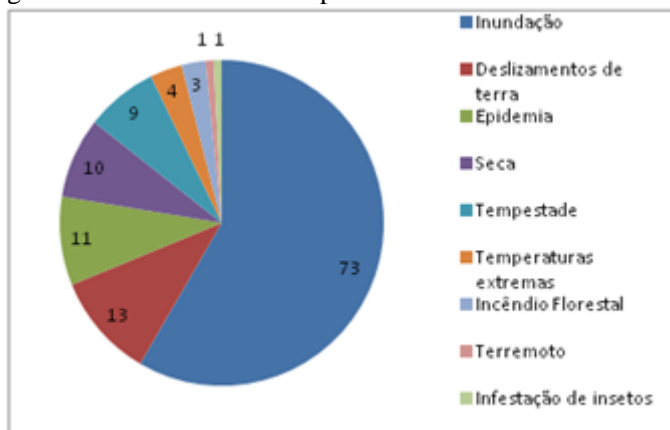
Estes dados apontam uma estreita relação entre as possibilidades de redução do risco, com a questão da vulnerabilidade e o poder de resiliência social, mensurados, no fim de contas, pela acumulação de capital per capita.

Em nível nacional, a grande concentração de desastres está ligada aos eventos climáticos extremos, principalmente em casos de precipitações severas, dados contidos no banco do EM-DAT, mostram que 98% dos desastres naturais estão diretamente associados às anomalias climáticas ( Figura 1-1).

---

<sup>2</sup> Disponível em: <http://www.internal-displacement.org/global-figures/#natural> Acesso em: 16/07/2015.

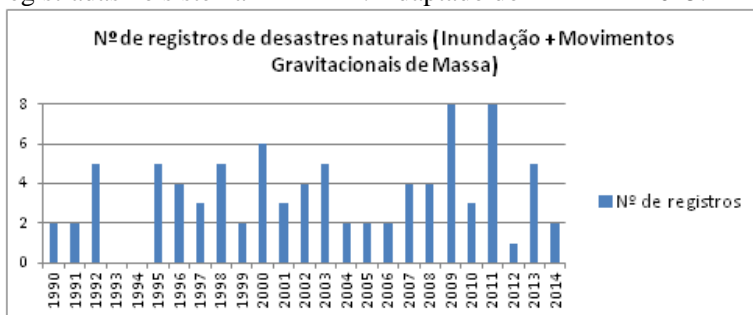
Figura 1-1 Número de ocorrências de desastres no Brasil entre 1990 – 2015 registrados no EM-DAT. Adaptado do EM-DAT 2015.



Disponível em: [http://emdat.be/advanced\\_search/index.html](http://emdat.be/advanced_search/index.html) Acessado em: 05/01/2015.

Nos últimos 15 anos foram registrados 87 desastres relacionados a inundação e movimentos de massa (Figura 1-2), oficialmente, totalizando 3313 vítimas fatais (Figura 1-3).

Figura 1-2 Número de ocorrências de desastres naturais no Brasil, registradas no sistema EM-DAT. Adaptado do EM-DAT 2015.



Disponível em: [http://emdat.be/advanced\\_search/index.html](http://emdat.be/advanced_search/index.html) Acessado em: 05/01/2015.

Figura 1-3: Número de óbitos por ocorrência de desastres naturais no Brasil, registrados no sistema EM-DAT. Adaptado do EM-DAT 2015.



Disponível em: [http://emdat.be/advanced\\_search/index.html](http://emdat.be/advanced_search/index.html) Acessado em: 05/01/2015.

Em 1950, o número de habitantes da população brasileira era de aproximadamente 52 milhões, comparado com o censo de 2010, o país teve um aumento de mais de 140 milhões de pessoas.

Este considerável aumento populacional brasileiro transformou o Brasil em um país populoso, de concentrações e desconcentrações anômalas, sendo historicamente ocupadas a partir das regiões litorâneas, interiorizando o território à medida que os eixos econômicos foram se desenvolvendo.

Os contrastes sociais, bem como, a ausência de planejamento urbano ordenados na grande maioria das fundações das cidades, contribuem para o processo perigoso de moradia em áreas susceptíveis a Movimentos Gravitacionais de Massa (MGM), aumentando, portanto, a recorrência e a magnitude dos desastres.

Analisando o custo-benefício de prevenção de desastres naturais, a promoção de políticas legislativas e regulamentações sérias no uso e cobertura do solo visando minimizar os perigos naturais, certamente, são mais eficazes do que mitigações de engenharias. Tais mitigações, via de regra, implicam volumosos encargos financeiros e não proporciona uma reestruturação espacial para o convívio com o perigo. Essas mitigações ao contrário, reinvestindo nestes lugares, mantendo assim, as redes técnicas em situações altamente perigosas.

As políticas públicas de redução ao risco no Brasil, em virtude dos padrões de uso e gestão do território, são carentes de gestão dos riscos ambientais atreladas aos desastres naturais, em particular tratando-se da previsão e prevenção de perdas de vida humanas, assim

como econômicas. Sendo, entretanto, as ações de governo concentradas na mitigação de sinistro (Almeida e Pascoalino, 2015), ou seja, na gestão de crise, tal como apresentado nos acontecimentos do Estado de Santa Catarina em 2008.

A ineficiência generalizada do Governo em relação às infraestruturas (materiais e ideológicas) de base para a sociedade, é que, somente, em 2005 ocorreu a institucionalização da defesa civil, bem como, por meio de um decreto do presidente da república (26 de setembro de 2005), foi instituído no Brasil a Semana Nacional de Redução de Desastres, inserido no Art. 1º, apresentado abaixo:

*Fica instituída a Semana Nacional de Redução de Desastres, a ser comemorada na segunda semana de outubro de cada ano, destinada a aumentar o senso de percepção de risco da sociedade brasileira, mediante a mudança cultural da população relacionada à sua conduta preventiva e preparativa, principalmente das comunidades que vivem em áreas de risco.*<sup>3</sup>

*Parágrafo único. Caberá ao Ministério da Integração Nacional a coordenação das comemorações da Semana Nacional para Redução de Desastres, com a colaboração das entidades nacionais ligadas ao Sistema Nacional de Defesa Civil – SINDEC*

*Desde 2005, com a iniciativa promulgada para a redução de desastres, o país passou pelos maiores índices de danos causados por desastres na história dos desastres do Brasil (EM-DAT 2015), culminando nas catástrofes ocorridas nas regiões serranas do estado de São Paulo e Rio de Janeiro, em 2010 e 2011.*

*Devido as drásticas consequências destas ultimas catástrofes, a propagação social e midiática conseguiram incentivar o legislativo para uma iniciativa no fortalecimento da política nacional de redução de riscos e resposta a desastres naturais, promulgando a lei 12.608, de abril de 2012, que de acordo com a lei vigente da POLÍTICA NACIONAL DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL (PNPDEC) a seção I do Art. 3o diz que a*

---

<sup>3</sup> Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Ato2004-2006/2005/Dnn/Dnn10640.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Ato2004-2006/2005/Dnn/Dnn10640.htm) Acesso: 17/01/2015.

*PNPDEC abrange as ações de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação voltadas à proteção e defesa civil.*

*No parágrafo único a PNPDEC deve integrar-se às políticas de ordenamento territorial, desenvolvimento urbano, saúde, meio ambiente, mudanças climáticas, gestão de recursos hídricos, geologia, infraestrutura, educação, ciência e tecnologia e às demais políticas setoriais, tendo em vista a promoção do desenvolvimento sustentável.*

*No Art. 4o são diretrizes da PNPDEC:*

*I - atuação articulada entre a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios para redução de desastres e apoio às comunidades atingidas;*

*II - abordagem sistêmica das ações de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação;*

*III - a prioridade às ações preventivas relacionadas à minimização de desastres;*

*IV - adoção da bacia hidrográfica como unidade de análise das ações de prevenção de desastres relacionados a corpos d'água;*

*V - planejamento com base em pesquisas e estudos sobre áreas de risco e incidência de desastres no território nacional;*

*VI - participação da sociedade civil.*

*E ao art. 5o são objetivos da PNPDEC:*

*I - reduzir os riscos de desastres;*

*II - prestar socorro e assistência às populações atingidas por desastres;*

*III - recuperar as áreas afetadas por desastres;*

*IV - incorporar a redução do risco de desastre e as ações de proteção e defesa civil entre os elementos da gestão territorial e do planejamento das políticas setoriais;*

*V - promover a continuidade das ações de proteção e defesa civil;*

*VI - estimular o desenvolvimento de cidades resilientes e os processos sustentáveis de urbanização;*

*VII - promover a identificação e avaliação das ameaças, suscetibilidades e vulnerabilidades a desastres, de modo a evitar ou reduzir sua ocorrência;*

*VIII - monitorar os eventos meteorológicos, hidrológicos, geológicos, biológicos, nucleares, químicos e outros potencialmente causadores de desastres;*

*IX - produzir alertas antecipados sobre a possibilidade de ocorrência de desastres naturais;*

*X - estimular o ordenamento da ocupação do solo urbano e rural, tendo em vista sua conservação e a proteção da vegetação nativa, dos recursos hídricos e da vida humana;*

*XI - combater a ocupação de áreas ambientalmente vulneráveis e de risco e promover a realocação da população residente nessas áreas;*

*XII - estimular iniciativas que resultem na destinação de moradia em local seguro;*

*XIII - desenvolver consciência nacional acerca dos riscos de desastre;*

*XIV - orientar as comunidades a adotar comportamentos adequados de prevenção e de resposta em situação de desastre e promover a autoproteção; e*

*XV - integrar informações em sistema capaz de subsidiar os órgãos do SINPDEC na previsão e no controle dos efeitos negativos de eventos adversos sobre a população, os bens e serviços e o meio ambiente.*

Dada a relevância (científica, midiática, política, econômica e social) crescente dos riscos naturais para a sociedade, há todo o interesse de adotar estratégias de atuação, nomeadamente de mecanismos de precaução e medidas de prevenção, capazes de minimizar perdas e danos econômicos e sociais, à escala local (RAMOS, 2012).

Compreendendo estas atuais necessidades sociopolíticas do cenário atual brasileiro, o objetivo geral deste trabalho é produzir um mapeamento de susceptibilidade, aplicando e testando algumas metodologias replicáveis que estejam sendo aclamadas no meio científico atual. As técnicas e métodos desta presente dissertação irá se compor na região do médio Vale do Itajaí, compreendendo os bairros de Belchior e Arraial do Ouro do município de Gaspar, justificando este recorte por serem regiões com características geomorfológicas favoráveis aos Movimentos Gravitacionais de Massa (MGM) e, adicionalmente, por se tratar de uma área contendo elementos sociais expostos.

Somando ao objetivo geral do presente trabalho, foram estabelecidos 4 objetivos específicos, (i) Analisar os Movimentos Gravitacionais de Massa (MGM) e seus fatores condicionantes; (ii) Identificar e cartografar os MGM e seus fatores condicionantes; (iii) Analisar os métodos de análise e validação da susceptibilidade; (iv) Produzir e validar um modelo de susceptibilidade a partir de uma análise não heurística; (v) Contribuir para a evolução dos modelos de avaliação à susceptibilidade de Movimentos Gravitacionais de Massa, utilizando uma área onde até o presente momento, ainda não existem mapeamentos validados de susceptibilidade por meio de análise estatística/probabilística.

## 1.1 JUSTIFICATIVAS DA ÁREA DE ESTUDO

Nesta sessão procura-se justificar a delimitação da área de estudo a partir de (i) Favorabilidade e ocorrências passadas de MGM; (ii) disponibilidade de dados espaciais; (iii) exposição social ao determinado perigo; (iv) ausência de contribuição científica passada, de mesmo ou melhor detalhe do que o gerado pelo presente trabalho; e (v) somar com os estudos já publicados do projeto Morro do Baú<sup>4</sup>.

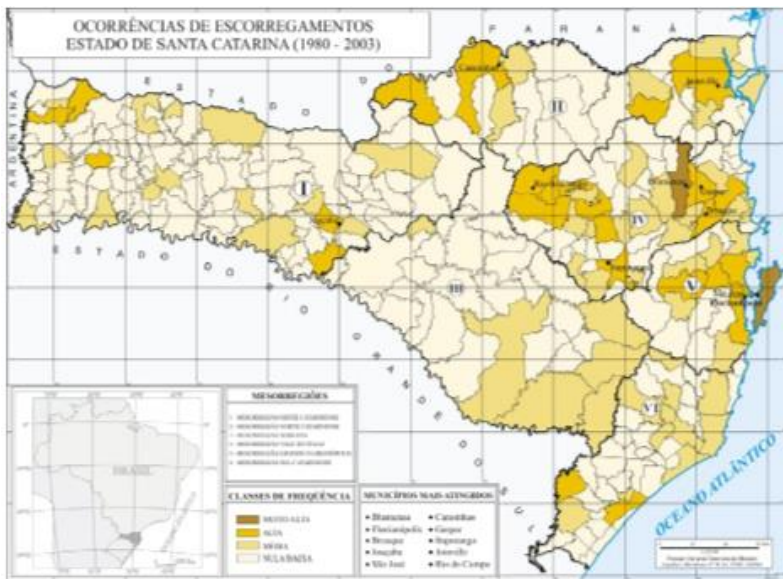
Conforme dados registrados pelo Atlas de Desastres Naturais de Santa Catarina (HERRMANN, 2005), a bacia do Vale do Itajaí é uma das regiões mais afetadas por desastres naturais do Estado, tendo classes de frequências classificadas como muito alta e alta, conforme mostra a Figura 1-4. O município de Gaspar, local proposto para o estudo de risco a movimento gravitacional de massa, está inserida nestas áreas susceptíveis.

Figura 1-4 - Mapa de ocorrência de escorregamentos no estado de Santa Catarina (1980-2003).

---

<sup>4</sup> Tomazzoli et al., 2012.





Fonte: Herrmann org. (2005).

Bauzys (2010) afirma que o município de Gaspar se encontra em uma área bastante susceptível à ocorrência de MGM. Isso se deve, principalmente, ao relevo acidentado e montanhoso, com presença de vertentes íngremes e sempre cobertas por um solo espesso, originadas por cobertura sedimentar do quartenário, proveniente em maior parte das rochas gnáissicas do Complexo Granulítico Luis Alves. A presença de alta densidade hidrográfica favorecida pela região de clima úmido, sempre sujeita a elevados índices de precipitação geram o ambiente ideal para os eventos de MGM.

O presente trabalho necessita de uma ou mais bases históricas de MGM passados, mensurados espacialmente através do uso de ambientes de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) para modelação da susceptibilidade.

Por limitações de acesso e ausência de conjuntos de imagens e fotos aéreas passadas, o inventário de MGM registrados no presente trabalho foram extraídos de um único evento, ocorrido no fim do ano de 2008.

Durante a primavera\verão de 2008, as condições severas de alta pluviosidade, fez com que o estado de Santa Catarina decretasse situação de emergência em 99 municípios e 14 municípios decretaram estado de calamidade pública devido aos estragos provocados pela

chuva. Os MGM desencadeados por este evento foram os principais causadores de prejuízos econômicos e sociais, ocorrendo em enorme quantidade, tanto em áreas urbanas, quanto em áreas rurais.

Os municípios mais atingidos por este desastre natural se encontram no Vale do Itajaí, no total foram confirmados 135 óbitos e 2 desaparecidos, onde 97% foram relacionadas a MGM.

O município de Gaspar, local onde se situa a área da presente pesquisa, foi o terceiro município com maior número de mortes confirmadas (17), no total de vítimas ocasionados pelo desastre relacionado a MGM.

Em novembro de 2008, o município de Gaspar decreta estado de calamidade pública. A cidade foi devastada por inundações e MGM espacialmente generalizados.

A população do município foi inteiramente afetada, conforme avaliação de danos da defesa civil (AVADAN), todo o território do município foi afetado, nas áreas rurais e urbanas, havendo danos, portanto, nas diversas áreas: residencial, comercial, indústria, agrícola, pecuária, extrativismo vegetal e turismo.

Dos municípios mais afetados pelo desastre, de acordo com a defesa civil estão: Ilhota (41), Blumenau (24), Gaspar (17) Luis Alves (10), Rodeio (4) e Benedito Novo (2).

Conforme registrado no relatório do AVADAN do município de Gaspar, a intensa precipitação pluviométrica nos últimos 03 (três) meses, ocasionou forte enxurrada com inundações bruscas nesta data, causando MGM. Entre os dias 21 e 24 de novembro registraram 514,9 mm, causando saturação do solo. 17 pessoas morreram e 5 desaparecidos, 281 ficaram feridas, 7153 desalojadas e 4.305 ficaram desabrigadas, totalizando 54.687 pessoas afetadas pelo evento ocorrido.

Os danos estruturais também foram enormes, com 600 km de rodovias, 8.700 residências danificadas, 203 indústrias e 197 comércios danificados, soma-se ao prejuízo 16 mil toneladas de grãos, cereais e leguminosas perdidos, somando pouco mais de 11 milhões de reais no setor alimentício, curiosamente o mesmo valor requerido pela prefeitura da época para cobrir os prejuízos de 32 obras de artes danificadas somadas as outras 26 destruídas. A bacia do Ribeirão Belchior, área de estudo desta dissertação que está situada integralmente dentro do município, foi profundamente atingidas por MGM.

## 1.2 OBJETIVOS GERAIS

Elaborar um mapa de susceptibilidade por método estatístico\probabilístico, vinculado aos dados gerados pelo projeto Morro do Baú, utilizando a nova base cartográfica da Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável (SDS).

### 1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Analisar os Movimentos Gravitacionais de Massa (MGM) e seus fatores condicionantes;
- b) Identificar e cartografar os MGM e seus fatores condicionantes;
- c) Analisar os métodos de análise e validação da susceptibilidade;
- d) Produzir e validar um modelo de susceptibilidade a partir de uma análise não heurística.
- e) Contribuir para a evolução dos modelos de avaliação à susceptibilidade de Movimentos Gravitacionais de Massa, utilizando uma área onde até o presente momento, ainda não existem mapeamentos validados de susceptibilidade por meio de análise estatística\probabilística.



## **2 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

Neste capítulo são apresentadas as descrições gerais relacionadas à área de estudo. Portanto são mostrados a localização da área de estudo e seus critérios de delimitação, assim como a estrutura geológica, geomorfológica, populacional e as redes técnicas expostas.

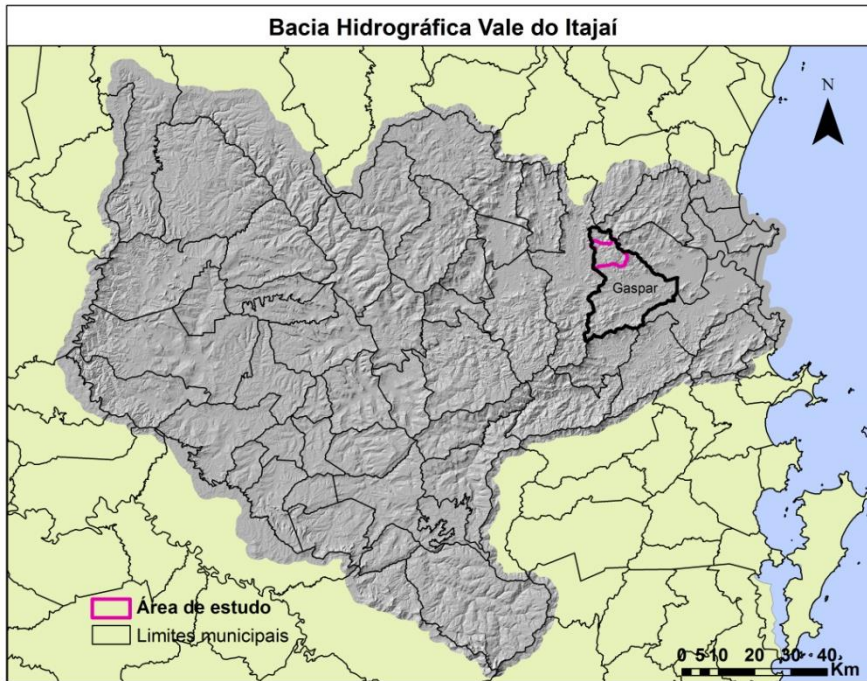
### **2.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E CRITÉRIOS DE DELIMITAÇÃO**

A área de estudo insere-se na bacia hidrográfica do Vale do Itajaí, na sub-bacia Ribeirão Belchior e Ribeirão Arraial-do-Ouro, afluentes do rio Itajaí-Açu pela margem esquerda no sentido geral Noroeste-Sudeste.

A bacia hidrográfica do rio Itajaí é a mais extensa da vertente atlântica no estado de Santa Catarina, sendo o rio Itajaí-Açu o maior contribuinte desta bacia.

Compreendendo uma área de 15.000 km<sup>2</sup>, a bacia hidrográfica do Rio Itajaí contém em sua área 55 municípios e cerca de 1.5 milhão de habitantes conforme censo do IBGE 2010. O território da bacia, em função das suas características geológicas e geomorfológicas, divide-se em três grandes compartimentos naturais, o alto, o médio e o baixo vale. No alto vale, o relevo se apresenta na forma de patamares, o médio vale apresenta relevo acentuado e alta densidade de drenagem, enquanto o baixo vale é caracterizado pela grande extensão das planícies de inundação.

Figura 2-1 - Bacia hidrográfica do Vale do Itajaí, localização do município de Gaspar e a localização da área de estudo.



O ribeirão Belchior possui 17 km de extensão, afluente da margem esquerda do rio Itajaí-Açu, está situado na região norte do município de Gaspar. Esta bacia possui aproximadamente 80 km<sup>2</sup>.

A sub-bacia, situada na região rural do município de Gaspar, reúne as comunidades de Carolina, Belchior Alto, Belchior Central, Cananéia e Belchior Baixo possuindo os seguintes limites: ao norte - municípios de Massaranduba e Luís Alves; ao sul - bairro Águas Negras, pertencente ao município de Gaspar; ao leste - bairro Arraial do Ouro, pertencente ao município de Gaspar; e ao oeste - município de Blumenau.

A aplicação dos critérios propostos para delimitação da área de estudo sucederam, a atual configuração cartográfica de contorno, com 55km<sup>2</sup>. O atual recorte não inclui a jusante do Ribeirão Belchior, quando ambos os ribeirões se encontram e confluem para seu afluente, o rio Itajaí-Açu.

## 2.2 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

Geomorfologicamente, a bacia do ribeirão Belchior compreende segundo o mapa geomorfológico 1:100.000 do projeto Gerenciamento Costeiro (IBGE, 2003), os seguintes domínios morfoestruturais:

i) Domínio Morfoestrutural Embasamento em Estilos Complexos, que compreende, dentro da bacia, a unidade geomorfológica Serras Cristalinas Litorâneas;

ii) Domínio Morfoestrutural Depósitos Sedimentares Quaternários, que compreende, nesta área, a unidade geomorfológica Planícies Aluviais.

O recorte da área é caracterizado pelo relevo montanhoso, predominando os modelados de dissecação com vales bem encaixados dentre um substrato geológico diferenciado (Tomazzoli et al., 2012).

O clima favorece a predominância de centenas de pequenos afluentes efêmeros que catalisam ainda mais, as formações severamente rugosas no terreno.

Conforme estudo geomorfológico publicado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2002a), via o Projeto de Gerenciamento Costeiro (GERCO), existem, dentro da área de estudo, 3 domínios referindo-se ao primeiro táxon, contemplando a dois modelados de dissecação e um modelado de acumulação.

O refinamento do mapeamento da geomorfologia local foi extraído pelo mapeamento de Tomazzoli et al. (2012), produzido na escala 1:50.000, posteriormente reavaliada em gabinete por meio de fotointerpretação das imagens disponíveis (Capítulo 5.1) e sombreamentos do Modelo Digital de Terreno (Hillshade).

A divisão principal dos modelados geomorfológicos são definidos a partir das tipologias referentes à dissecação ou acumulação.

Foram inseridos dois tipos de modelados de dissecação na presente área de estudo, o Domínio Morfoestrutural Embasamento em Estilos Complexos e o Domínio Morfoestrutural Coberturas Melassóides e Vulcanitos .

O modelado de acumulação na presente área pertence ao Domínio Morfoestrutural Depósitos Sedimentares Quaternários, correspondendo as planícies aluviais do ribeirão Belchior e Arrail do Ouro.

A respeito destes domínios morfoestruturais e seus modelados, o mapa geomorfológico 1:100.000 do Projeto Gerenciamento Costeiro (IBGE, 2002), refere-se a eles como:

Os Modelados de Dissecação (D) são resultantes de processos erosivos ligados à dinâmica fluvial e/ou pluvial, sendo classificados de acordo com a forma de relevo dominante.

Os Modelados de Acumulação (A) são identificados de acordo com os processos genéticos e os ambientais de deposição, cujas características se traduzem em facilidades ou obstáculos à sua ocupação.

#### a) Domínio Morfoestrutural Embasamento em Estilos Complexos

Este é o domínio predominante na área de estudo, a superfície constituída por esse domínio corresponde a mais antiga porção da crosta terrestre no sul do Brasil compreendendo terrenos pré-cambrianos que correspondem, fundamentalmente do ponto de vista litoestratigráfico, à rochas de caráter metamórfico, originadas essencialmente no Arqueano e inicialmente como rochas de características ígneas (IBGE, 2002a).

Os limites deste domínio compreendem uma área que vai de Joinville até Laguna, com sequência de serras dispostas de forma subparalelas, relevo montanhoso e escarpado onde predominam cambissolos húmicos e solos litólicos. O aspecto natural encontrado nesta unidade é muito semelhante à Unidade Geomorfológica Serra do Mar e, de acordo com o mapeamento de vulnerabilidade produzido pelo GERCO, é amplamente desfavorável à ocupação humana.

Os modelados de dissecação ocorridos neste domínio são divididos em 3 classes, Dissecação Colinosa, Morraria e de Montanha. Todas resultantes da intensa erosão fluvial a que esteve submetida em todo o domínio ,decorrênte da atuação de um sistema morfoclimático quente e úmido que atuou na área desde o final do último período glacial quaternário (IBGE, 2002a).

a.1) Tipos de modelados deste domínio, presentes na área de estudo:

##### Modelados de Dissecação (D)

- Dc (Colinoso): Dissecação com vales pouco encaixados, abertos, com amplitude altimétrica pequena constituindo elevações convexo-côncavas conformando colinas. Declividade: entre 8 e 20%.

- Do (Morraria): Dissecação com vales encaixados, mais fechados e com amplitudes altimétricas maiores que no colinoso, constituindo elevações convexo-côncavas, conformando morros. Declividade: entre 20 e 45%.

- Dm (Montanhas): Dissecação com vales bem encaixados, fechados, podendo conter terraços alveolares; topos extensos convexo-



côncavos e vertentes com diferentes graus de inclinação por vezes desdobradas em patamares. As amplitudes altimétricas superiores a 200m conferem a qualificação de montanhas às elevações aí existentes. Declividade: entre 45% e 75%.

b) Domínio Morfoestrutural das Coberturas Molassóides e Vulcanitos.

Corresponde às rochas sedimentares do Grupo Itajaí. Este domínio teve origem a partir de uma sucessão de camadas e estratos sedimentares, com manifestações vulcânicas intercaladas podendo ter sido afetadas por ligeiro metamorfismo (anquimetamorfismo) e formadas na era neoproterozóica nas bordas do Domínio Morfoestrutural Embasamento em Estilos Complexos, recobrando-as total ou parcialmente.

As rochas vulcânicas que ocorrem neste domínio têm suas origens relacionadas aos processos de fusão da crosta, ou ainda a fusões de um manto litosférico, modificado por processos de subducção (IBGE, 2002a).

Geoquimicamente, este vulcanismo representa as manifestações alcalinas pós-orogênicas relacionadas ao final do ciclo Brasileiro.

As estruturas mais importantes deste domínio não estão inseridas na área de estudo, mas são representadas por uma antefossa molássica do Cinturão Móvel Dom Feliciano, onde foi depositado o Grupo Itajaí e por uma bacia e um graben preenchido pelo Grupo Campo Alegre. A antefossa corresponde a um grande monoclinal com caimento topográfico para SE e que foi afetado por duas fases de deformação originando dobras normais e inclinadas e grandes inflexões descontínuas.

Outra importante estrutura deste domínio correspondem as complexas zonas de falhas conhecida como Lineamentos Blumenau e que afeta além deste domínio, também os domínios morfoestruturais Embasamento em Estilos Complexos e Bacia Sedimentar do Paraná.

A interpretação das fotografias aéreas realizadas na Bacia do Ribeirão do Baú, feita por Egas (2011), mostra que a densidade da rede hidrográfica de primeira ordem é superior à densidade observada nas bacias, escavadas nas rochas do Complexo Luiz Alves, os vales são também mais estreitos e mais encaixados.

c) Domínio Morfoestrutural Depósitos Sedimentares Quaternários

Compreende essencialmente litologias do Quaternário, recebendo contribuição de áreas-fontes mistas, registradas pela presença de depósitos marinhos, aluvionares, lagunares, eólicos e detrítico-colúviais (IBGE, 2002a).

Desenvolve-se de forma descontínua e ocorrendo generalizadamente por toda a fachada atlântica, é constituído fundamentalmente por planícies alongadas na direção N-S e por superfícies em forma de rampas que se interiorizam pelos principais vales fluviais.

Este domínio é subdividido em três unidades geomorfológicas: Planícies Marinhas, Planícies Aluviais, e Planos e Rampas Colúvio-Aluviais.

As Planícies Aluviais englobam um grande número de bacias hidrográficas independentes e que fazem parte da vertente atlântica do território catarinense.

De acordo com o IBGE (2002, a), os sedimentos aluvionares, presentes na bacia hidrográfica em estudo, constituem os terraços e planícies elaboradas em argilas, areias e siltes inconsolidados oriundos da deposição fluvial em planícies de inundação e calhas fluviais. Os sedimentos colúvio-aluvionares, de idade provavelmente pleistocênica, aparecem comumente na forma de rampas constituindo os depósitos dos sopés de vertente e aluviões subatuais.

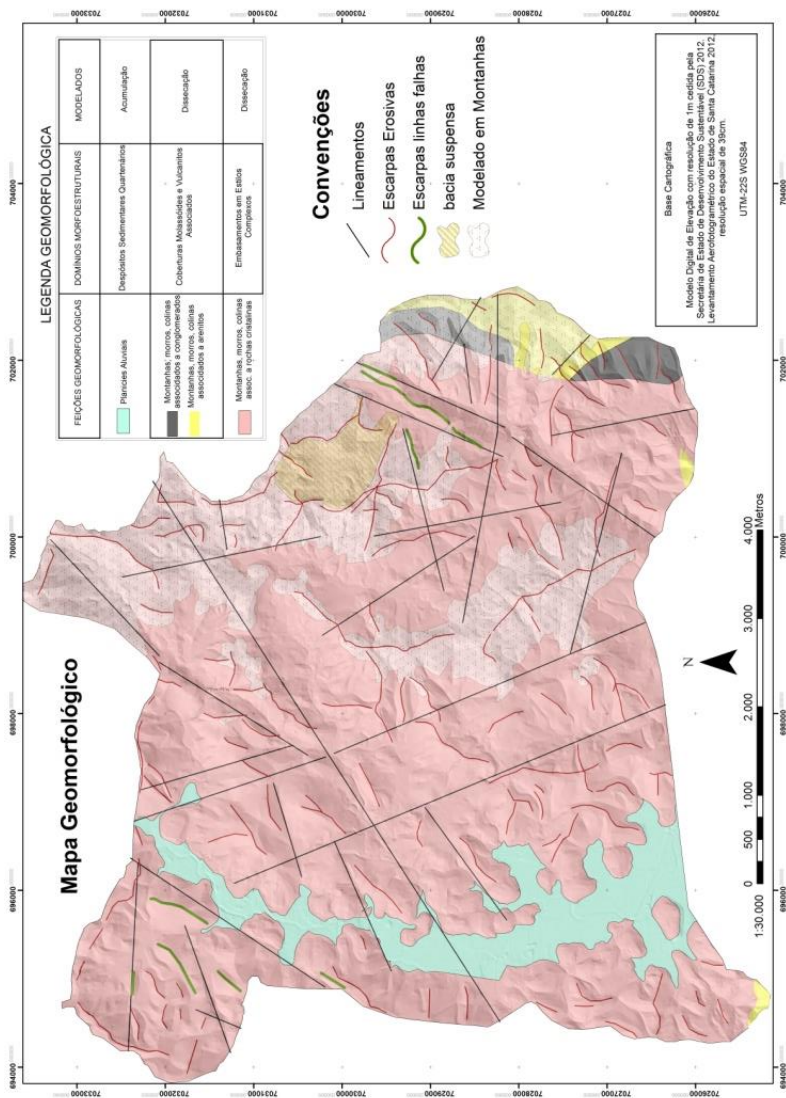
Também, na planície em questão, foi encontrado a presença de grande quantidade de blocos rochosos e seixos em seus leitos, estes depósitos são correlacionáveis às flutuações climáticas que ocorreram no Pleistoceno Superior e no Holoceno e resultam da retirada do material de granulometria mais fina dos depósitos heterométricos de talude, sobre os quais escoam (IBGE, 2002a).

c.2) Tipos de modelados deste domínio, presentes na área de estudo:

Modelados de Acumulação Atf (Terraço Aluvial): Área plana, levemente inclinada, apresentando rupturas de declive em relação ao leito do rio e às várzeas. Pode apresentar-se dissecada, devido a mudanças no nível de base e consequentes retomadas erosivas (IBGE, 2002a). Esse é o tipo de modelado de acumulação predominante na área de estudo.

O mapa a seguir (Mapa 1) mostra os domínios e unidades presentes na área de estudo.

Mapa 1- Mapa geomorfológico da área de estudo. Adaptado de Tomazzoli et al. (2012).



## 2.3 QUADRO GEOLÓGICO

A área de estudo contempla três unidades geológicas, sendo o Complexo Luiz Alves a unidade predominante, seguida pela unidade de Depósitos Quaternários e ao sul e sudeste da presente área tem-se a unidade Grupo Itajaí, com afloramentos de rochas do tipo conglomerados e sedimentares.

A base referencial do mapeamento geológico foi retirada do Projeto Morro do Baú (Tomazzoli et al., 2012), em escala 1:50.000, do relatório final do GERCO ( IBGE, 2002b) em escala 1:100.00 além de dados geológicos extraídos em campo de Bauzys (2010).

As unidades que formam o substrato rochoso da área de estudo são :

### a) Unidade Complexo Luiz Alves

O Complexo Luiz Alves (IBGE, 2002b) é a unidade litoestratigráfica mais antiga do Vale do Itajaí, estendendo-se por cerca de 5.000 km<sup>2</sup>. Ele está recoberto, a sul, pelos depósitos do Grupo Itajaí e a oeste pelas formações sedimentares da Bacia do Paraná. A leste encontra-se com o oceano Atlântico, sendo recoberto por depósitos quaternários em grande parte da área. A nordeste, confronta-se com o Complexo Paranaguá, ao passo que a norte/nordeste é intrudido por massas ígneas da Suíte Intrusiva Serra do Mar, apresentando-se aí, também, parcialmente coberto por depósitos vulcano-sedimentares do Grupo Campo Alegre.

A área de estudo está cortada por numerosas falhas e zonas de cisalhamento, com destaque para o lineamento ou zona de cisalhamento Perimbó, com direção N55°E (Tomazzoli et al, 2009), que coloca as rochas deste complexo em contato com as rochas dos grupos Brusque e Itajaí, respectivamente. Ocorrem também falhas e zonas de cisalhamento nos quadrantes N80°E, N20°E e N30°W. Os vales fluviais profundos e retilíneos são controlados por estas estruturas, apresentando, em boa parte da área de estudo, encostas com alta declividade e com calhas fluviais preenchidos por depósitos sedimentares aluvionares.

De acordo com Bauzys (2010), os litotipos mais abundantes são hiperstêniohornblenda gnaisses (granulitos chanoquíticos), biotita-hornblenda gnaisses e biotita gnaisse com traços de hornblenda. Além do hiperstênio, hornblenda e biotita, são constituídas por plagioclásio, feldspato potássico e quartzo, além de minerais secundários como clorita e sericita provenientes de alterações hidrotermais. As texturas

predominantes são granolepidoblásticas e miloníticas, bem como as porfiroclásticas, com feldspatos circundados por matriz félsica fina recristalizada

O hiperstênio aparece quase sempre com bordas substituídas por horblenda, como resultado de retrometamorfismo para a fácies anfíbolito.

Em uma das análises geológicas, Bauzys (2010), observou um anfíbólio gnaiss com bandamento inclinado justaposto a biotita gnaiss milonítico com bandamento subvertical, relacionado a zona de cisalhamento dúctil de direção N10°E; 80°W.

Os gnaisses granulíticos são ortoderivados e tem composição predominantemente básica (gnaisses noríticos), subsidiariamente intermediária (gnaisses enderbíticos) ou ácida (gnaisses charnoenderbíticos), estes gnaisses apresentam estrutura foliada ou bandada, e coloração em geral cinza esverdeada (IBGE, 2002b).

No que consiste aos lineamentos e cisalhamento dentro deste complexo, ocorrem numerosas zonas de cisalhamento, seccionados segundo duas direções gerais: N80E e N20E. Tendo originado vales geralmente bastante alongados, rasos e estreitos, essas zonas de cisalhamento estão normalmente cobertas por aluviões holocênicos. Outras feições estruturais que se destacam, nesse complexo, são falhas de direções gerais N55E e N30W (IBGE, 2002).

Conforme Bauzys (2010), próximo às margens direita do ribeirão Belchior, quase na divisa entre Gaspar e Luiz Alves ocorre excelente exposição de formação ferrífera bandada (BIF), constituída por finas camadas de óxidos de ferro (magnetita/hematita) interladas a finas bandas claras de quartzo policristalino.

#### b) Unidade Grupo Itajaí

O Grupo Itajaí se estende por uma área de cerca de 1.200km<sup>2</sup>, entre o Complexo Luís Alves e o Grupo Brusque, alongada (eixo maior) na direção N60E. É constituído por diferentes tipos de turbiditos e de arenitos, além de conglomerados (cgl), bem como rochas vulcânicas e subvulcânicas de composição predominantemente riolítica (rl), raramente básica (mugaritos), com níveis restritos de tufos finos (IBGE, 2002b).

Conforme o relatório final do projeto “Análise e Mapeamento das Áreas de Risco a Movimentos de Massa e Inundações nos Municípios de Gaspar, Ilhota e Luis Alves” (Tomazzoli et al, 2012), as rochas do

Grupo Itajaí, são compostas por siltitos, folhelhos, ardósias, arenitos finos, arcósios, arenitos conglomeráticos e conglomerados, formados no final do período Proterozóico Superior (aproximadamente 500 milhões de anos a.p.). Nas falhas são encontrados os conglomerados petromíticos do Grupo Itajaí. Nas áreas mais baixas, estão distribuídos os Sedimentos Aluvionares compostos por cascalhos, areias e siltico-argilosos, formados no período Holocênico.

#### c) Unidade Depósitos Quartenários

Esta unidade refere-se aos numerosos depósitos sedimentares colúvio-aluvionares da área de estudo, muitos deles não mapeados devido à escala de mapeamento, principalmente os depósitos colúvionares deflagrados muitas vezes por MGMs pretéritos, situados sempre no sopé de encostas íngremes e normalmente de pequena dimensão.

A constituição dos depósitos colúviais na área de estudo são de sedimentos inconsolidados, mal selecionados, as matrizes são normalmente de depósitos areno-argilosos e areno-siltico argilosos, contendo quase sempre matações e blocos de rocha com dimensões variáveis.

Na parte setentrional da área de estudo, existe a sobreposição com os estudos acerca dos MGM de Bauzys (2010), definindo os depósitos aluviais na área de estudo, por serem constituídos por areias, cascalheiras e sedimentos siltico-argilosos, inconsolidados, depositados em planícies de inundação, terraços e calhas da rede fluvial atual. Na área de estudo, essa unidade está representada pelos depósitos recentes do ribeirão Belchior, embora haja uma série de depósitos menores não representáveis devido à escala dos mapas.

Pertence a esta unidade tanto os terraços arenosos antigos, possivelmente pleistocênicos, como os depósitos de pé de encosta e os aluviões subatuais. São constituídos, geralmente, por uma alternância de níveis ou lentes arenosas e argilosas, mal selecionadas, com a presença freqüente de horizontes de seixos e calhaus, os quais tornam-se mais expressivos próximos às áreas fontes (IBGE, 2002b).

#### d) Lineamentos

Conforme Tomazzoli et al. (2012), os grandes lineamentos N30E recortam todo o Maciço do Baú no Norte do vale do Rio Itajaí Açu eles são particularmente nítidos nos vales do rio Belchior e Arraial de Ouro

formando grandes escarpas de linha de falha que foram afetadas por numerosos MGM.





## 2.4 TIPOS DE SOLOS (PEDOLOGIA)

Os solos conforme EMBRAPA (1999) consiste em “coleção de corpos naturais constituídos por parte sólida, líquida e gasosa, tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos, que ocupam a maior parte do manto superficial das extensões continentais. Contém matéria viva e podem ser vegetados”.

Assim, utilizando o material do Projeto Gerenciamento Costeiro de Santa Catarina, trabalho realizado pelo IBGE, através da Divisão de Geociências do Sul - DIGEO/SUL, constitui num instrumento de apoio à execução do Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro - PNGC. O mapeamento foi resultante de um contrato de prestação de serviços técnicos celebrado entre o IBGE e o Governo do Estado de Santa Catarina, através da Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico e Integração ao Mercosul - SDE e a Secretaria de Estado de Desenvolvimento Rural e da Agricultura - SDA.

A escala de mapeamento foi de 1:100 000, delimitando diferentes classes de solos da zona costeira.

Sendo assim as classes encontradas no referido mapeamento conta com solos Cambissolos, Gleissolos e Podzólicos.

Segue abaixo a descrição das classes de solos retirados do relatório da terceira fase do projeto, contemplando o mapeamento executado por BATISTA et al no projeto gerenciamento costeiro – GERCO (3ª FASE), Florianópolis, 2003.

### a) CAMBISSOLOS (C)

Os Cambissolos podem ser encontrados em condições climáticas variáveis, bem como tem origem a partir dos mais diversos tipos de materiais.

Conforme o IBGE (2003), devido a esta diversidade de materiais de origem, cambissolos podem ser álicos (Ca), distróficos (Cd) e eutróficos (Ce), de textura média até muito argilosa, com drenagem de acentuada a imperfeita, profundidade de solo variando de rasos a profundos, relevo plano até montanhoso, podendo ter atividade de argila muito baixa a alta.

Devido a esta grande diversidade dentro do mapeamento referido, foram identificados 104 subclasses de cambissolos.

O Manual Técnico de Pedologia (2015) complementa que horizonte A pode ser de tipo moderado, proeminente ou húmico, geralmente não é muito espesso, podendo ainda, em áreas de declives

acentuados devido à erosão estar ausente deste horizonte. A textura do solo varia pouco ao longo do perfil, variando de franco-arenosa a muito argilosa, sendo as texturas média e argilosa as mais frequentes. Os teores de silte em geral, são relativamente elevados.

O horizonte Bi apresenta normalmente estrutura em blocos fraca à moderadamente desenvolvida ou maciça. Normalmente não contém cerosidade e, quando presente, é fraca e pouca, restrita às paredes de canais e poros.

Quando derivados de rochas como gnaisses, apresentam teores de fragmentos de rocha primários facilmente intemperizáveis maiores que 4% (IBGE, 2003). Se provenientes de outros tipos de rochas que se decompõem rapidamente (básicas ou ultrabásicas), os minerais primários facilmente intemperizáveis podem não estar presentes no solo, entretanto, o horizonte Bi deve apresentar outras características que indiquem estágio pouco avançado de evolução, tais como, alta relação de silte/argila e/ou atividade de argila mais alta do que o requerido para distingui-los dos latossolos.

Os Cambissolos originados do Complexo Luís Alves apresentam saturação de bases variável, normalmente argila de atividade baixa e textura argilosa e muito argilosa (IBGE, 2003).

#### Subclasses de solo Cambissolo Álico (Ca)

Ca30 - Cambissolo álico Ta e Tb A moderado e proeminente textura argilosa e média ambos fase ligeiramente pedregosa e não pedregosa + Podzólico Vermelho-Amarelo álico Tb e Ta A moderado textura média/argilosa e argilosa/muito argilosa relevo montanhoso e forte ondulado. (Inclusão de Solos Litólicos álicos A moderado textura argilosa e média).

Ca62 - Cambissolo álico Tb A moderado textura argilosa e muito argilosa + Podzólico Vermelho-Amarelo Latossólico álico A moderado textura argilosa e muito argilosa relevo forte ondulado.

Ca63 - Cambissolo álico Tb A moderado textura argilosa e muito argilosa + Podzólico Vermelho-Amarelo álico Tb A moderado textura média/argilosa e média/muito argilosa relevo montanhoso e forte ondulado. (Inclusão de Solos Litólicos álicos A moderado 679 textura média e argilosa).

Ca102 - Cambissolo álico Tb A moderado e proeminente textura muito argilosa e argilosa + Podzólico Vermelho-Amarelo álico e distrófico Tb A moderado e proeminente textura média/argilosa e

média/muito argilosa + Solos Litólicos álicos A moderado e proeminente textura argilosa e média relevo montanhoso.

Ca104 - Cambissolo álico e distrófico Tb A moderado textura argilosa e muito argilosa + Cambissolo Latossólico álico Tb A moderado textura argilosa e muito argilosa + Solos Litólicos distróficos e eutróficos A moderado textura argilosa e média relevo montanhoso.

#### Subclasse de Cambissolo Distrófico

Cd4 - Cambissolo distrófico e álico Tb A moderado textura argilosa relevo plano e suave ondulado + Gleissolo distrófico e álico Tb A moderado textura argilosa relevo plano.

#### b) GLEISSOLOS (G)

São solos característicos de áreas alagadas ou sujeitas a alagamento (margens de rios, ilhas, grandes planícies, etc.), apresentam cores acinzentadas, azuladas ou esverdeadas, dentro de 50cm da superfície (MANUAL TÉCNICO DE PEDOLOGIA, 2015). Estes solos podem ser de alta ou baixa fertilidade natural e, devido ao tipo de drenagem, ser de mal a muito mal drenados e possuem características resultantes da influência do excesso de umidade permanente ou temporário, dada a presença do lençol freático próximo à superfície, durante um determinado período do ano.

Ocupam principalmente as planícies de inundação de rios e córregos, ocorrendo, portanto, em praticamente todas as regiões brasileiras.

Os Gleissolos são solos minerais, hidromórficos, normalmente ocorrendo algum acúmulo de matéria orgânica, porém, como mencionado anteriormente, com o horizonte glei iniciando dentro de 50 cm da superfície.

Apresentam um horizonte subsuperficial de coloração acinzentada, cinzenta, com mosqueados amarelados ou avermelhados, oriundos da oxidação do ferro na matriz do solo, em consequência dos fenômenos de oxi-redução. São solos bastante diversificados em suas características físicas, químicas e morfológicas, devido às circunstâncias em que são formados, de aporte de sedimentos e sob condição hidromórfica (IBGE, 2003).

Podem ser eutróficos, distróficos, com argilas de atividade alta ou baixa, acidez moderada a forte. De um modo geral, apresentam seqüência de horizontes A ou Ag, Cg; A, Big, Cg; A, Btg, Cg; H (menor

que 40 cm), Cg. O horizonte A comumente é do tipo moderado ou proeminente (Santos et al, 2015).

Possuem textura variável, mas com predomínio das frações argila e silte sobre a fração areia no horizonte subsuperficial. A estrutura do horizonte A é normalmente granular e no horizonte Cg em geral maciça, sem desenvolvimento estrutural (IBGE,2003).

De acordo com o Manual Técnico de Pedologia (2015), são solos desenvolvidos em várzeas de relevo praticamente plano, margeando rios, ou em locais de depressão e planícies aluvionais sujeitas a inundações.

Devido ao fato de possuírem origem em situações de aporte de colúviação ou de aluvionamento e também devido ao microrrelevo dos terrenos, esses solos não apresentam um padrão de distribuição das características morfológicas e analíticas ao longo do perfil.

#### Subclasse de Gleissolo Distrófico

Gd2 - Gleissolo distrófico e álico Tb A moderado e proeminente textura argilosa + Cambissolo distrófico e álico Tb A moderado e proeminente textura argilosa relevo plano.

#### PODZÓLICO (ARGISSOLO)

Argissolos são solos minerais, não hidromórficos e a principal característica desta classe de solos é o aumento de argila do horizonte superficial A para o subsuperficial B que é do tipo textural (Bt), as cores do horizonte Bt variam de acinzentadas a avermelhadas e as do horizonte A, são sempre mais escurecidas (IBGE, 2003).

Estes solos são compostos por horizontes A, B e C, com horizonte A do tipo moderado ou proeminente, de textura argilosa e muito argilosa.

Conforme dados do IBGE (2015), mostra que a profundidade dos solos é variável, mas geralmente não são profundos e ocorrem em áreas onde a altitude é relativamente baixa, variando entre 15 e 100 metros, em relevo predominantemente ondulado seguido de forte ondulado.

Ocorrem na unidade geomorfológica Serras do Leste Catarinense e a litologia refere-se às rochas metamórficas do Complexo Luís Alves do Pré-Cambriano Inferior e são juntamente com os Latossolos, os solos mais expressivos do Brasil.

Apresentam relação silte/argila normalmente baixa, em torno de 0,17 a 0,5 e a argila com alto grau de flocculação, ocorrem na unidade

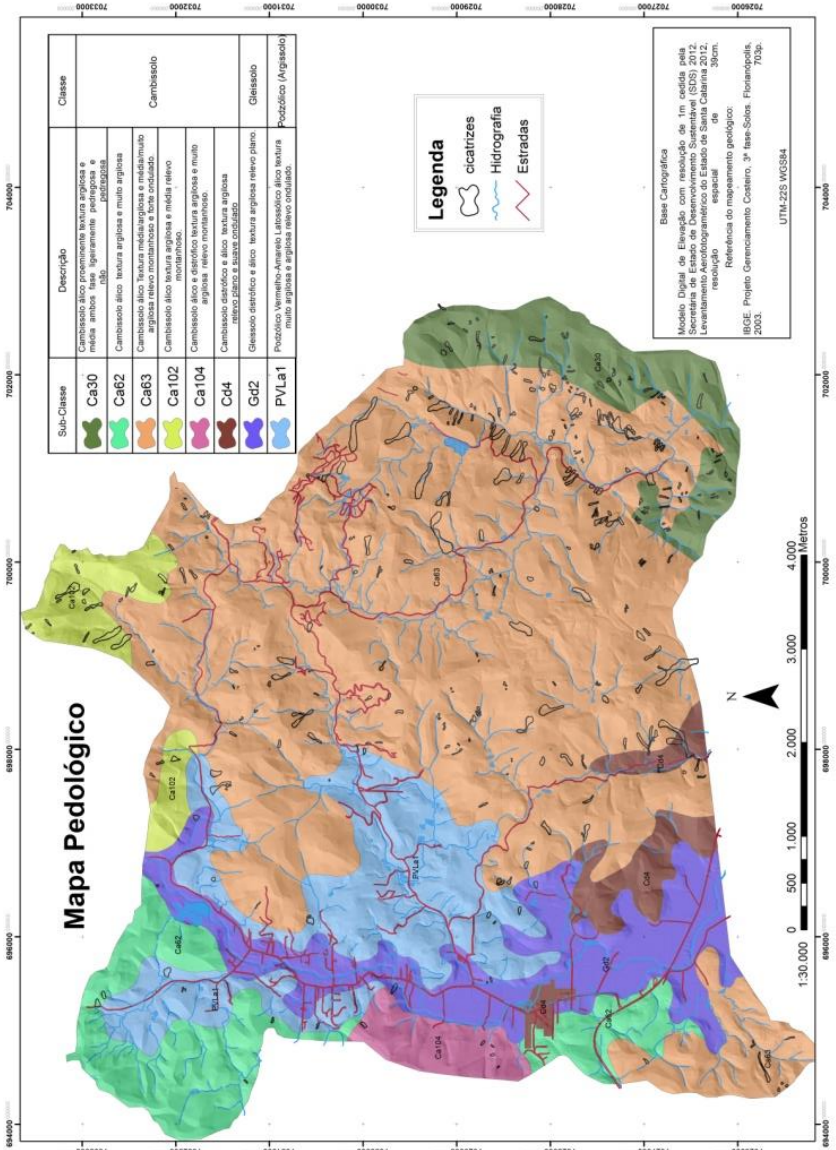
‘geomorfológica Serras do Leste Catarinense e a litologia refere-se às rochas metamórficas do Complexo Luís Alves do Pré-Cambriano Inferior (IBGE, 2003).

Subclasse de Podzólico Vermelho Amarelo Latossólico álico (PVL<sub>a</sub>)

PVL<sub>a</sub>1 - Podzólico Vermelho-Amarelo Latossólico álico A moderado textura muito argilosa e argilosa relevo ondulado. (Inclusão de Cambissolo álico Tb A moderada textura argilosa e muito argilosa).

Segue abaixo o mapa pedológico da área de estudo ( Mapa 3).

Mapa 3- Mapa pedológico da área de estudo.



Fonte: Ribeiro, 2016.

## 2.5 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

O município de Gaspar está localizado em uma zona de clima subtropical úmido (Cwa). Esta zona, segundo Pandolfo et al. (2002) é caracterizada por verões úmidos e quentes, intensas chuvas durante todas as estações do ano. As médias térmicas no verão são de aproximadamente 24°C e invernos com mínimas abaixo dos 16°C.

De acordo com Monteiro (2001), Santa Catarina, por sua localização geográfica, é um dos estados da federação que apresenta melhor distribuição de precipitação pluviométrica durante o ano. Os principais sistemas meteorológicos responsáveis pelas chuvas no estado são as frentes frias, os vórtices ciclônicos, os cavados de níveis médios, a convecção tropical, a ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul) e a circulação marítima.

A distribuição espacial pluviométrica é bastante diferenciada entre as regiões do estado, e está diretamente relacionada com o relevo do mesmo, as áreas próximas às encostas situadas no barlavento recebem maiores contribuições pluviométricas, devido à condensação do ar úmido e quente, formando nuvens cumuliformes, contendo alto gradiente de precipitação.

Dentre os fatores estáticos que envolvem o clima regional em Santa Catarina, a área de planalto compreendida entre 300 e 900 m, decresce (56,22%) em favor do acréscimo das áreas serranas (Nimer, 1971) situadas acima de 900 m (20,45%) e das áreas baixas de altitudes inferiores a 300 m (23,33%).

Sobre os fatores dinâmicos de circulação atmosférica do sul do País, a região é atingida pelos principais centros de ação, Dias et al., (2009) categorizam que as frentes frias, ciclones locais e extratropicais e Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCMs) são os principais fatores, sejam os corpos atmosféricos de baixas latitudes quanto as latitudes elevadas.

Dentro do complexo do trópico de Capricórnio existem dois centros de alta pressão sob os oceanos, tangenciando o continente, estas altas são conhecidas de acordo com Nimer (1971) como anticiclones permanentes e semi-fixos oceânicos. São centros de origem dinâmica inseridos na zona de altas pressões subtropicais do hemisfério austral, devido a posição latitudinal da região Sul, a sazonalidade térmica anual está presente, fazendo com que estes anticiclones, ora se afastem para o oceano, ora invadem parcialmente o continente.

Dias et al. (2009) acordam que anticiclones oscilam em latitude e pressão, em relação a esta última, em janeiro (mês representativo do solstício de verão do hemisfério sul) o núcleo central destes anticiclones possui cerca de 1.018 mb, em média, enquanto que em julho (mês representativo do solstício de inverno do hemisfério sul) seu núcleo possui em média cerca de 1.024mb; quanto à posição latitudinal média, estes anticiclones apresentam ligeira diferença, uma vez que, em janeiro a alta do Pacífico possui posição média em torno de 32° lat. e em julho em média de 26° lat., enquanto que a alta do Atlântico situa-se em torno de 28° lat. em janeiro e 23° lat. em julho.

Como se observa, a posição média da alta do Atlântico é ligeiramente inferior a sua correspondente do Pacífico. Estes dois centros de divergência atmosférica constituem as fontes das principais massas de ar tropicais marítimas. Ambas possuem estrutura e propriedades semelhantes e intervêm de modo importante no quadro da circulação atmosférica do Sul do Brasil.

Conforme Monteiro (2001), a primavera apresenta tempo mais instável. Essa instabilidade é ocasionada principalmente pelos Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), estes complexos apresentam cobertura de nuvens com temperaturas no infravermelho menores que -32°C e com área de pelo menos 100.000km<sup>2</sup>. Estes sistemas em zonas tropicais e latitudes médias são responsáveis pela maior parte da precipitação durante a estação quente. Os sistemas convectivos atuam por todo o verão, desenvolvendo nuvens do tipo cumulonimbus que resultam em pancadas de chuvas, principalmente no período da tarde.

É normal que as passagens de frentes frias durante o verão intensifiquem a convecção tropical, resultando em fortes tempestades sujeitas a vendavais e granizo.

Outro padrão atmosférico identificado durante a estação quente em Santa Catarina é a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), áreas de instabilidades com plano de orientação Noroeste (NO) para Sudeste (SE), a escala de atuação desta zona abrange grande parte do território brasileiro cortado pela direção de seu plano de orientação, indo do Sul do Amazonas, passando pela porção central do Brasil sentido NO-SE, chegando até o norte do Estado de Santa Catarina.

O regime de chuvas de um determinado local é fator dominante na definição do clima local (Pandolfo, 2002), porém os



regimes pluviais são o resultado final de uma série de eventos com escalas de tempo e espaço bastante diversas, de forma que as causas de uma determinada chuva pode ser uma mistura de fatores locais e remotos.

### **2.5.1 Condições meteorológicas do desastre de 2008**

Conforme Barbieri et al (2009), os desastres naturais que ocorrem no Brasil são na sua maioria, de origem atmosférica. A precipitação, seja em excesso ou em escassez, é o elemento atmosférico que mais contribui para a ocorrência de desastres na região Sul do Brasil.

As condições meteorológicas que desencadearam o desastre de 2008 foi estudada por diversos cientistas ( Minuzzi e Rodrigues, 2009; Frank e Sevegnani, 2009; Bauzys, 2010; Schadeck et al. 2012; Lima, 2013), além de diversos e extensivos dados levantados pela EPAGRI.

O montante de chuvas acumulado, que segundo relatório do AVADAN do município de Gaspar, por um longo período ininterrupto de chuvas e entre os dias 21 e 24 de novembro registrou-se 514,9 mm, desencadeando milhares de MGM , além de inundações em diversos municípios no médio e baixo vale do Itajaí..

O fator atmosférico principal para a ocorrência do desastre foi, conforme Lima (2013), a intensa chuva ocasionada pelo estabelecimento de um bloqueio atmosférico no oceano atlântico associado a um intenso anticiclone sobre o oceano. Este fenômeno favoreceu a intensificação dos ventos do quadrante leste e nordeste sobre a costa leste de Santa Catarina e Paraná. Formou-se também um sistema de baixa pressão (vórtice ciclônico em altos níveis) de altitude entre 4.000 e 5.000 m, localizando-se entre o leste de Santa Catarina e o Leste do Paraná. A combinação destes dois fatores, o vórtice ciclônico em altos níveis e o intenso anticiclone em superfície favoreceram a intensificação das chuvas. A persistência desta situação meteorológica de acordo com o CPTEC, (2008) fez com que o fenômeno tenha sido ainda mais significativo.

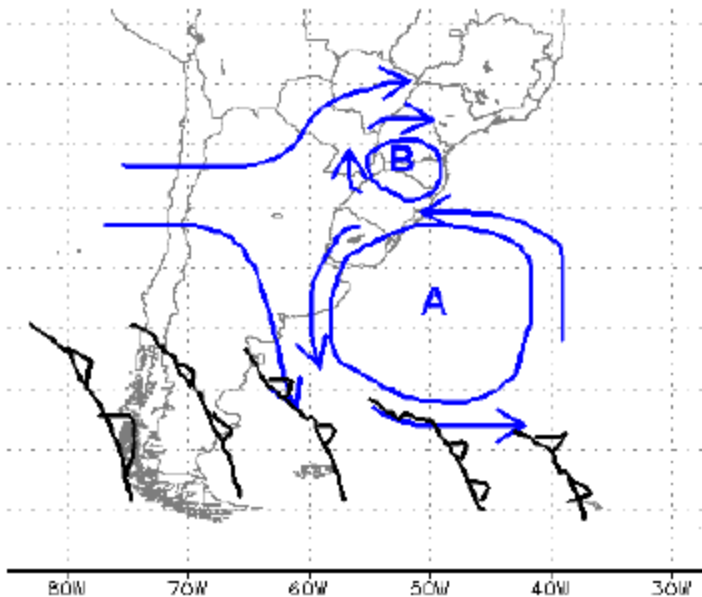
O vórtice ciclônico em altos níveis (VCAN) é definido segundo Monteiro (2007), como um sistema fechado de baixa pressão, de escala sinótica, que se forma na alta troposfera. O fenômeno se propaga desde o Oceano Pacífico, cruza os Andes e frequentemente causa ciclogênese dando origem a ciclones em superfície, geralmente próximos à costa da Região. Monteiro (2007), explica que quando o VCAN penetra no

continente ocorre, normalmente, instabilidade e precipitação intensa nos setores leste e nordeste do vórtice, em um período de 1 ou 2 dias

Conforme CPTEC (2008) em condições atmosféricas de bloqueio, os sistemas de alta e baixa pressão em superfície, respectivamente, refletem também em níveis superiores, como por exemplo, entre 4000 e 6000 metros de altitude. O sistema de baixa pressão localizado em altitude também se pode denominar vórtice ciclônico.

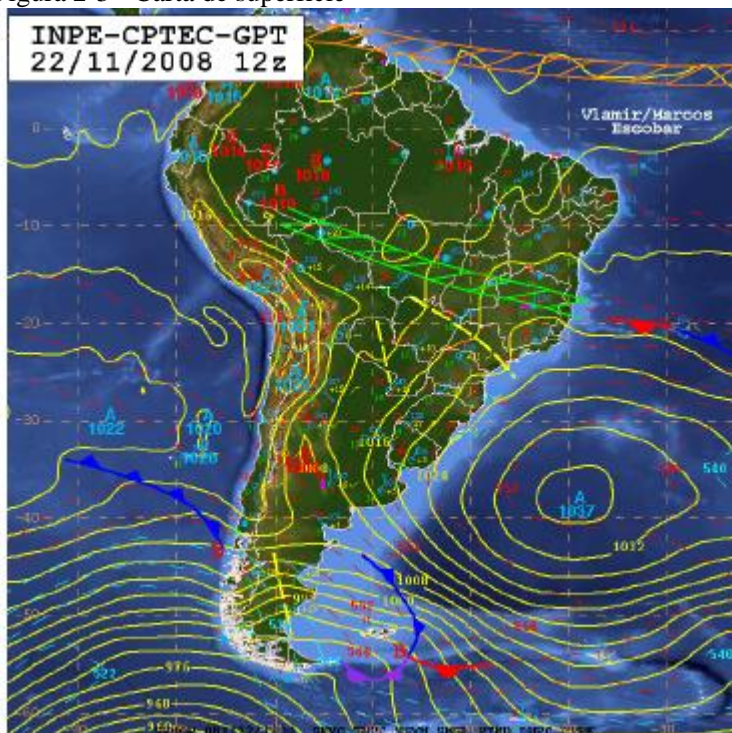
A Figura 2-2 mostra um esquema do funcionamento de um bloqueio atmosférico. As linhas em azul representam a direção e sentido dos ventos na troposfera média, aproximadamente entre 4000 e 6000 metros de altitude. Nota-se a presença de um dipolo atmosférico, representado pela presença de do anticiclone (A) e ciclone ou vórtice (B), respectivamente. Mais ao sul nota-se o deslocamento das frentes frias (em preto), sendo desviadas para o sul devido à presença do Bloqueio.

Figura 2-2 - Esquema do Bloqueio atmosférico configurado durante o evento



Abaixo (Figura 2-3) apresenta-se a carta sinótica de superfície correspondente as condições meteorológicas do dia 22 de novembro de 2008.

Figura 2-3 - Carta de superfície



Fonte: CPTEC 2008.

Em superfície de acordo com a avaliação sinótica do CPTEC (2008) pode-se observar um intenso anticiclone de bloqueio de 1037 hPa centrado aproximadamente em 38S,40W, gerando um significativo gradiente de pressão na faixa leste de Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

Desta forma, os ventos constantes de quadrante leste e nordeste afetavam diretamente a costa leste de Santa Catarina. Durante esse dia (sábado 22), os ventos de leste / nordeste sobre a costa de Santa Catarina se intensificaram atingindo valores constantes que oscilaram entre 25 e 35 Km/h, com rajadas próximas aos 50 km/h. Desta maneira, a convergência de ar úmido vinda do mar se intensificava, acelerando-se

ainda mais no momento de atingir a costa. A forte convergência de ar úmido resultante sobre superfície favorecia em consequência a intensificação do levantamento sobre o leste de Santa Catarina.

## 2.6 QUADRO SÓCIO-ESPACIAL

A área total do município é de 369,80 km<sup>2</sup>, sendo que 49,61km<sup>2</sup> pertencem ao perímetro urbano e 320,19km<sup>2</sup> pertencem à área rural.

Conforme divisão do IBGE, o município está situado na décima segunda microrregião de Santa Catarina, a microrregião de Blumenau e na mesorregião do Vale do Itajaí, que, por sua vez, está inserida dentro da bacia hidrográfica de mesmo nome.

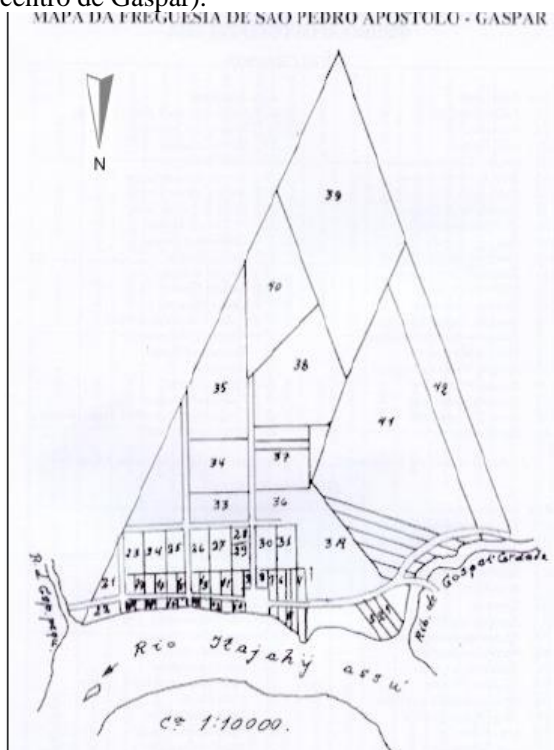
As vias rodoviárias federais e estaduais de acesso para o município são as BR-101, BR-470, SC-411 e SC-470.

As coordenadas geográficas do município são: Latitude: 26°55'53 Sul e Longitude 48°57'32 Oeste.

### 2.6.1 Histórico de ocupação do município de Gaspar

Conforme Peluso (1987), Gaspar não teve fundadores, seu processo de colonização começou ao acaso, graças simplesmente, à fertilidade de seu solo e à suavidade de seu clima, que atraíram e retiveram povos das mais diversas origens. Baptista (1992) escreve que em 5 de maio de 1835, Feliciano Nunes Pires, presidente da província catarinense, sancionou a Lei n° 11, de autoria de Agostinho Alves Ramos, que mandou estabelecer duas colônias, uma no Rio Itajaí Mirim e outra no Itajaí-Açu (Arraial Belchior e Arraial Pocinho), ambas com dois arraiais. Agostinho concedeu terras para os posseiros já estabelecidos, juntamente com os alemães oriundos da colônia de São Pedro de Alcântara, que se estabeleceram, em sua maioria, no Arraial do Belchior, o de maior desenvolvimento. Em 1837 habitavam nos dois arraiais 47 famílias brasileiras e 17 estrangeiras, totalizando 141 pessoas.

Figura 2-4 - Mapa Urbano da Freguesia de São Pedro Apóstolo (atual centro de Gaspar).



Fonte: Burghardt 2006.

De acordo com Burghardt (2006), em 1875 a imigração italiana chegou à Santa Catarina, estabelecendo-se próxima ao Rio Benedito Novo e ao Rio dos Cedros. No início do século XX algumas famílias italianas se transferiram para os terrenos acidentados ao sul de Gaspar, introduzindo no município o cultivo do arroz irrigado.

A configuração das malhas urbanas no município de Gaspar começou a se formar a partir do século XIX com o início da colonização da região, sem qualquer planejamento territorial. Os municípios teuto-brasileiros, especialmente as do Vale do Itajaí, diferem das cidades luso-brasileiras, que são mais comuns em nosso país, quanto à gênese de sua malha urbana. Os municípios de origem portuguesa desenvolveram de forma concêntrica a partir da praça cívica onde se localiza a igreja e o paço municipal, enquanto as cidades teuto-brasileiras do Vale do Itajaí apresentam crescimento linear e radial ao longo dos eixos paralelos aos

cursos d'água, antigos caminhos que hoje estruturam o sistema viário. Este também é o caso de Gaspar, cujo território fez parte da Colônia Itajaí Grande e, posteriormente, do município de Blumenau.

Conforme o portal digital da Prefeitura Municipal de Gaspar, que na década de 1930 as lideranças locais mobilizaram-se, encontrando apoio nas esferas Federal e Estadual e conquistaram a emancipação política. O município de Gaspar foi instalado em 18 de março de 1934, tendo Leopoldo Schramm como primeiro prefeito.

Conforme consta no Plano Diretor Físico Territorial de Gaspar (2001), o município se desenvolveu ao longo de quatro fases de ocupação e territorialização, influenciada diretamente pela sua economia.

Primeiramente, até a metade do século XIX a economia foi baseada na ocupação aleatória e exploração desordenada da terra., restringindo-se às margens do rio Itajaí-Açu, que era utilizado como meio de navegação e circulação. A colônia de Blumenau exercia forte papel de pouso e trocas em Gaspar (Arraial Belchior e Arraial Pocinho) ainda, naquela época, já que Gaspar ficava a um dia de navegação até a referida colônia. A agricultura aparecia como modo de subsistência.

Na segunda fase (meados do século XIX ao início do XX), iniciou-se uma ocupação ordenada, principalmente com a colonização europeia. A agricultura passou a ser a principal fonte de renda, com a introdução do arroz irrigado nas áreas baixas e planas do município por parte dos italianos e a indústria existente (voltada ao setor primário, como agropecuária e extrativismo), começa a atender uma área mais abrangente e a diversificar seu parque industrial, exportando produtos para outras regiões.

A terceira fase (entre 1960/70 a 1990), Gaspar deixa de ter sua economia baseada na agricultura e projeta sua economia para o setor industrial. Neste período Gaspar também desponta como cidade dormitório, devido ao grande número de ofertas de trabalho nas empresas têxteis de Blumenau, aumentando assim a ocupação no centro da área urbana, causando diversos problemas como congestionamento do trânsito nas vias centrais, depredação da paisagem urbana e aparecimento de poluição sonora, visual e ambiental.

Na quarta fase (após 1990), o setor secundário é consolidado no município. Com a crise das empresas têxteis de Blumenau e a demissão de funcionários, a cidade perde a característica de cidade-dormitório. O uso industrial distribui-se por toda a cidade e o uso residencial é caracterizado pela predominância de unidades unifamiliares e pela subutilização do solo, resultado de um crescimento urbano sem controle,

onde fatores como a especulação imobiliária e as características topográficas agem como elementos de dispersão da ocupação urbana. Esta situação ainda pode ser observada nos dias de hoje.

## 2.6.2 Características gerais do município de Gaspar

Gaspar possuía uma população de 46.377 habitantes em 2000 (Figura 2-5) sendo que 63,80% em área urbana e 36,20% corresponde à população rural. A taxa de crescimento entre 1996 e 2000 foi de 3,39% ao ano, que foi a média entre 1996 e 2000. A população atual de Gaspar, de acordo com o censo do IBGE realizado em 2010 é de 57.958 pessoas, sendo 28.675 homens, 29.283 mulheres, destes 47.107 residem em áreas urbanas e 10.851 habitando zonas rurais.

Figura 2-5 - Evolução da população do município de Gaspar 1991-2010

Ano	Gaspar	Santa Catarina	Brasil
1991	35.614	4.541.994	146.825.475
1996	40.485	4.844.212	156.032.944
2000	46.414	5.356.360	169.799.170
2007	52.428	5.866.252	183.987.291
2010	57.981	6.248.436	190.755.799

Fonte: IBGE: Censo Demográfico 1991, Contagem Populacional 1996, Censo Demográfico 2000, Contagem Populacional 2007 e Censo Demográfico 2010.

A densidade demográfica de Gaspar é de aproximadamente 125 hab/ km<sup>2</sup> considerando a área total do município.

O plano diretor de Gaspar atualizado em 2006, divide o município em 8 regiões (Tabela 1 - Unidades de Planejamento de Gaspar - SC.), conforme a tabela abaixo. A Bacia do ribeirão Belchior e Arraial do Ouro engloba os bairros de Belchior Alto, Belchior Central e Belchior Baixo, que estão localizados nas unidades de planejamento 01 e 02.

Tabela 1 - Unidades de Planejamento de Gaspar - SC.

<b>Região 01</b>	<b>Belchior Alto, Belchior Central, Belchior Baixo;</b>
<b>Região 02</b>	<b>Arraial, Margem Esquerda, Lagoa;</b>
<b>Região 03</b>	<b>Bela Vista, Figueira, Coloninha;</b>
<b>Região 04</b>	<b>Centro, Sete de Setembro, Santa Teresinha;</b>
<b>Região 05</b>	<b>Gaspar Mirim, Gasparinho e Gasparinho Quadro, Alto Gasparinho;</b>
<b>Região 06</b>	<b>Rua Itajaí, Poço Grande, Macucos;</b>
<b>Região 07</b>	<b>Óleo Grande, Barracão e Bateias;</b>
<b>Região 08</b>	<b>Gaspar Grande, Gaspar Alto e Gaspar Alto Central.</b>

Fonte: Prefeitura Municipal de Gaspar.

Nos setores econômicos, Peluso (1987) afirma que a agricultura foi a atividade econômica de importância fundamental na evolução demográfica do município de Gaspar. A distribuição dos estabelecimentos agropecuários, divididos no município em minifúndios (menos de 10 ha), propriedades médias (10 a menos de 100 ha) e latifúndios (mais de 100 ha), mostram que de 1940 a 1980, predominavam no município os estabelecimentos de dimensões médias, conforme se observa na Figura 2-6.



Figura 2-6 - Grupo de estabelecimentos agropecuários, por dimensão fundiária.

ANO	MINIFÚNDIOS %	MÉDIOS %	LATIFÚNDIOS %
1940	24,59	71,96	3,45
1950	24,07	74,33	1,60
1960	24,98	73,91	1,11
1970	39,53	59,82	0,65
1980	31,38	66,03	2,59

Fonte: Peluso, 1987.

No setor primário, o município destaca-se na produção de arroz irrigado, sendo o maior produtor do Vale do Itajaí.

Conforme Burghardt (2006) a estrutura fundiária está quase saturada. A distribuição dos estabelecimentos agropecuários, hoje, revela o predomínio de minifúndios que não permitem mais a expansão do atual nível de produção e a absorção da força de trabalho nascida no meio rural. Destaca-se na agricultura a produção de arroz irrigado, que representa 79% do valor bruto da produção do município e ocupa uma área total de 3.400 ha, colocando o município na condição de maior produtor do Vale do Itajaí.

No setor secundário, as áreas com concentração industrial representam ao município, importante fonte de emprego. As atividades industriais são expressivas com um setor bem diversificado. A maioria das atividades está localizada ao longo dos três eixos viários principais, (SC-470, SC-411 e BR-470) e nas principais vias de penetração dos bairros. Existe um Distrito Industrial localizado na Rua São Bento, incentivando a instalação de novas indústrias na região.

Atualmente no cenário industrial de Gaspar destacam-se algumas empresas, tais como a Bunge alimentos, a Indústria de Linhas Leopoldo Schmalz e a Plasvale, além de pequenas malharias, empresas de beneficiamento de madeira, indústria de plásticos, metalúrgicas, produtos alimentares, gráficas, entre outras.

O desenvolvimento do setor comercial de Gaspar está intimamente ligado ao crescimento industrial, aumentando a oferta de empregos e, conseqüentemente a geração de renda da comunidade Burghardt (2006). Conforme dados da prefeitura de Gaspar, o município em 2012, possuía 1.040 estabelecimentos comerciais e 630 de prestação de serviços.



### **3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA DOS MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA (MGM) E AGENTES CONDICONANTES**

#### **3.1 MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA (MGM)**

MGM são focalizadores de estudos acadêmicos há pelo menos um século, dentre a extensa bibliografia científica que compõe o cenário dos fundamentos teóricos, Varnes (1958) foi um dos primeiros pesquisadores a ter suas terminologias consagradas no meio científico, sendo largamente utilizadas em pesquisas posteriores, com diversos eixos acadêmicos que relacionam o objeto de estudo.

Varnes (1958) apresenta em seus trabalhos uma classificação pouco detalhada, porém muito clara em suas definições, identificando 9 atributos que classificam os MGM, sendo eles: a) taxa de movimentação; b) tipo de material; c) geometria da área de ruptura e do depósito resultante; d) idade; e) causa; f) grau de ruptura da massa deslocada; g) relação ou não da geometria do deslizamento com as estruturas geológicas; e h) grau de atividade.

Em 1978, Varnes em seu trabalho intitulado de “Slope Movement Type and Process”, consagra uma tabela (Figura 3-1) contendo de modo simplificado, os tipos básicos de MGM, os critérios tipo de material e tipo de movimento são determinantes para a classificação.


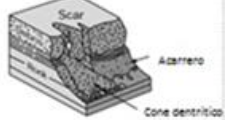
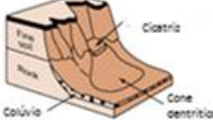




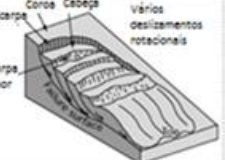
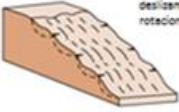



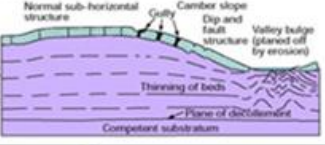
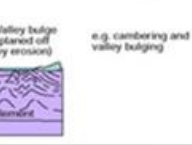

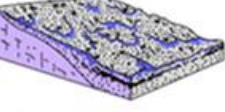




A Figura 3-2 busca um detalhamento da classificação de Varnes (1978) adaptada por Cruden e Varnes (1996).

Figura 3-1 - Tipos básicos de movimentos de massa.

TYPE OF MOVEMENT		TYPE OF MATERIAL		
		BEDROCK	ENGINEERING SOILS	
			Predominantly coarse	Predominantly fine
FALLS		Rock fall	Debris fall	Earth fall
TOPPLES		Rock topple	Debris topple	Earth topple
SLIDES	ROTATIONAL	Rock slide	Debris slide	Earth slide
	TRANSLATIONAL			
LATERAL SPREADS		Rock spread	Debris spread	Earth spread
FLOWS		Rock flow (deep creep)	Debris flow (soil creep)	Earth flow
COMPLEX		Combination of two or more principal types of movement		

Fonte: Varnes, 1978.

Figura 3-2 - Tipos básicos de movimentos de massa.

Material	Rocha	Detritos	Terra
Tipo de movimento			
Quedas			
Tombamentos			
Escorregamento	Rotacional 	Coroa, Cabeça, Escorpe maior, Escorpe menor, Vários deslizamentos rotacionais 	Sucessivos deslizamentos rotacionais 
	Translacional 		
Dispersão (Spreads)	Normal sub-horizontal structure, Cap rock, Clay shale, Thinning of beds, Competent substratum 	Comber slope, Gully, Dip and fault structure, Valley bulge (planed off by erosion), e.g. combering and valley bulging 	Earth spread 
Fluxos			
Complexos		e.g. Slump-earthflow with rockfall debris 	

Fonte: Traduzido por British Geological Survey (2012), adaptado de Varnes (1978) e Cruden e Varnes (1996).

Conforme a classificação proposta pelo Centro Geológico Britânico, as classes são separadas de acordo com o tipo de movimento e o tipo de material deslizado, agrupados em quedas, tombamentos, escorregamentos, espalhamentos (dispersão) e escoamentos (fluxos), bem como a ocorrência de dois ou mais tipos de deslizamentos com movimentação diferenciada (complexos).

No Brasil, no mesmo ano em que Varnes (1958) publicou a proposta de classificação dos movimentos, Bigarella (1978), também definia conceitos sobre os processos destes fenômenos, reconhecendo como os mais importantes processos geomorfológicos modeladores da superfície terrestre.

A convenção mais utilizada no país veio a partir de Christofolletti (1979) trazendo a partir do livro intitulado “*Geomorfologia*”, uma classificação dos movimentos de regolitos, definindo como todos os movimentos que fazem transportes de volumes de solo, rochas e detritos (ou o conjunto desses), pela ação gravitacional, vertente abaixo, definindo as classes a partir do: a) rastejamento; b) solifluxão e fluxos de lama, definindo o primeiro como movimentos coletivos do regolito quando saturado de água enquanto o segundo de mesma característica física porém de dimensões maiores; c) avalanche, considerado como o fluxo coletivo do regolito mais rápido que se conhece; d) deslizamentos e desmoronamentos.

As propostas de classificação das tipologias dos movimentos são variáveis, e possivelmente relacionados com as características gerais da região ou continente onde se desenvolveu determinado estudo, no Brasil MGM assumem diversidades distintas devido as condicionantes de intemperismo regional “endêmicas”.

No livro intitulado “*Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios*” (Carvalho et al., 2007), a proposta metodológica de classificação dos MGM adotada é a de Augusto Filho (1994), descrevendo suas características a partir de quatro tipologias distintas (Figura 3-3), a contar pelo rastejo, queda de blocos, escorregamentos rotacionais e translacionais e corridas de lama e/ou detritos.

Figura 3-3 - Tipologias de movimentos de massa.

PROCESSO	CARACTERÍSTICAS DOS MOVIMENTOS DE MASSA/MATERIAL/GEOMETRIA
<b>Rastejos</b> ( <i>creep</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>-vários planos de deslocamento (internos)</li> <li>-velocidades muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes com a profundidade</li> <li>-movimentos constantes, sazonais e intermitentes</li> <li>-solo, depósitos, rocha alterada, fraturada</li> <li>-geometria definida</li> </ul>
<b>Escorregamentos</b> ( <i>slides</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>-poucos planos de deslocamento (externos)</li> <li>-velocidades médias (m/h) a altas (m/s)</li> <li>-pequenos a grandes volumes de material</li> <li>-geometria e materiais variáveis:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Planares ou translacionais: solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza</li> <li>- Circulares ou rotacionais: solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas</li> <li>- Em cunha: solos e rochas com dois planos de fraqueza</li> </ul> </li> </ul>
<b>Quedas</b> ( <i>Falls</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>-sem planos de deslocamento</li> <li>-movimentos tipo queda livre ou em plano inclinado</li> <li>-velocidades muito altas (vários m/s)</li> <li>-material rochoso</li> <li>-pequenos e médios volumes</li> <li>-geometria variável: lascas, placas, blocos, etc.</li> <li>- Rolamento de matacão</li> <li>-Tombamento</li> </ul>
<b>Corridas</b> ( <i>Flows</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>-muitas superfícies de deslocamentos (internas e externas à massa de movimentação)</li> <li>-movimento semelhante ao de um líquido viscoso</li> <li>-desenvolvimento ao longo das drenagens</li> <li>-velocidades médias a altas</li> <li>-mobilização de solo, rocha, detritos e água</li> <li>-grandes volumes de material</li> <li>-extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas.</li> </ul>

Fonte: Carvalho et al. (2007).

Outras propostas metodológicas podem ser elaboradas para a classificação dos MGM utilizando como elemento classificatório a velocidade distinguida pelas características físicas de cada tipologia, conforme a proposta de Heidman (2011) demonstrada na Figura 3-4 abaixo:

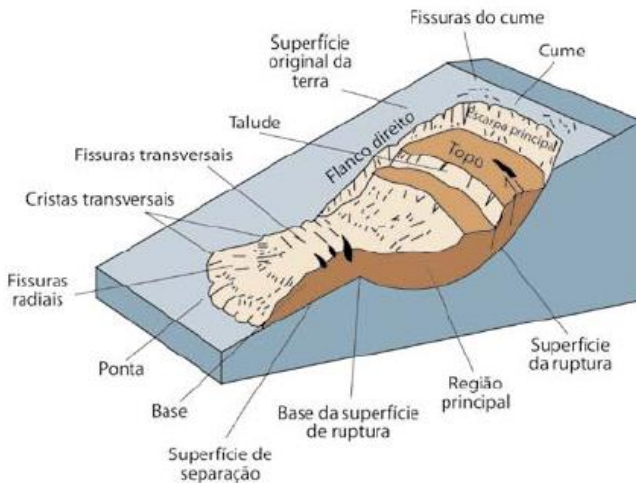
Figura 3-4 - Movimentos de Massa, conforme características físicas.

<b>Descrição do movimento</b>			
<b>Velocidade</b>	<b>Teor de umidade</b>	<b>Material</b>	<b>Tipo</b>
Extremamente rápido	Seco	Rocha	Queda
Muito rápido	Úmido	Solo	Tombamento
Rápido	Encharcado	Terra	Deslizamento
Moderado	Muito encharcado	Detritos	Escoamento
Lento			Fluxo/corrida
Muito lento			
Extremamente lento			

Fonte: Heidemann (2011).

As classificações de diferentes tipos de deslizamentos são associadas a mecanismos específicos de falhas em taludes e às propriedades e características desses tipos de falhas geológicas. Um movimento de massa padrão conta com uma série de seguimentos para compreender melhor a totalidade do mesmo (Highland e Bobrowsky 2008), Para melhor compreensão de sua dinâmica, a Figura 3-5 ilustra estes conceitos e logo abaixo o glossário com a descrição de cada característica.

Figura 3-5 - Modelo básico das características de um deslizamento



Fonte: Highland e Bobrowsky (2008).



## 3.2 TIPOLOGIAS DE MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA

Pretende-se nesta sessão esclarecer as tipologias dos MGM a partir da proposta classificatória de Carvalho et al (2007), com diferentes olhares para cada tipologia, sendo estes apresentados conforme a velocidade do movimento em ordem decrescente.

### 3.2.1 Quedas e tombamentos

Nos movimentos gravitacionais por quedas de blocos, as rochas desprendem-se de encostas extremamente íngremes (próximo a  $90^\circ$ ), num movimento tipo queda livre de alta velocidade (Kobiyama et al., 2006). Neste fenômeno a maior preocupação é com a trajetória dos blocos, ou seja, durante a queda e o rolamento até que um platô ou obstáculo vença a quantidade de movimento contida no bloco.

Segundo Carvalho et al (2007) define os blocos como material rochoso e volumes variados, geometria variável em formas de lascas, placas, blocos, podendo ocorrer rolamento de matacão ou tombamento (Foto 1 - Quedas de blocos em diversas partes do mundo.).

Foto 1 - Quedas de blocos em diversas partes do mundo.



Fonte: Ogura (2010) curso para multiplicadores IPT.

Ahrendt (2005), define as classificações vigentes para quedas podendo ser subdivididas em duas categorias:

- a) Quedas de rocha ou solo envolvendo destacamento de material intacto da rocha-mãe, sendo o processo de separação progressivo.
- b) Quedas de rocha ou matacões que se encontram destacados da rocha-mãe.

No caso *a* o mecanismo que propicia a sua ocorrência é a pressão gerada pela penetração da água em fraturas ou descontinuidades existentes dentro do maciço rochoso as quais encontram-se em geral, abertas e sem preenchimento.

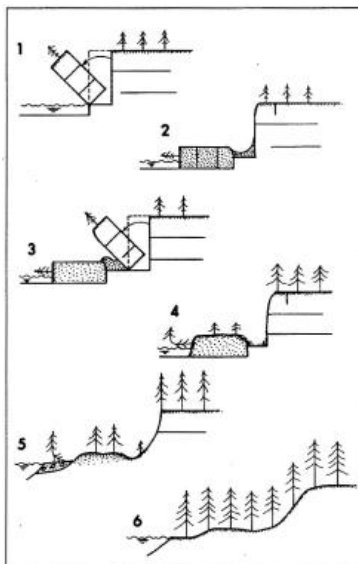
No caso *b* onde o bloco já se encontra destacado do maciço, a queda ocorre em geral pelo enfraquecimento do material de sustentação do bloco.

Tombamento consiste na rotação para fora ou abaixo do centro de gravidade, em geral da base do bloco afetado. Estas forças são oriundas da gravidade ou exercidas por unidades adjacentes ou fluidos das descontinuidades.

A Figura 3-6 demonstra um tombamento proposto por Varnes (1978) em diferentes estágios de atividade, onde

- (1) Ativo - a erosão na ponta da inclinação provoca a queda do bloco
- (2) Suspenso - rachaduras locais na coroa;
- (3) Reativado - outro bloco derruba;
- (4) Dormente- massa deslocada começa a recuperar a sua cobertura de árvores e escarpas são modificadas pelo intemperismo;
- (5) Estabilizou- deposição fluvial estabiliza pés de inclinação, que começa a recuperar a sua cobertura florestal; e
- (6) Relíquia- cobertura arbórea uniforme ao longo do declive.

Figura 3-6 - Secções de tombamento em diferentes estágios de atividade.



Fonte: Varnes (1978).

### 3.2.2 Escorregamentos

Um escorregamento é um movimento de massa descendente de um solo ou rocha que ocorre, predominantemente, em superfícies de ruptura ou em zonas relativamente finas de tensão de cisalhamento intenso (Cruden e Varnes, 1996).

O volume de material aumenta, deslocando a partir de uma área ou local falha, muitas vezes, os primeiros sinais deste tipo do movimento são rachaduras na superfície original do terreno ao longo do qual a principal escarpa do escorregamento formará (Carvalho et al., 2007).

Os escorregamentos são caracterizados como movimentos rápidos, de curta duração, com plano de ruptura bem definido, que permitem a distinção entre o material transportado e o não transportado.

### Escorregamentos translacionais

São escorregamentos onde o material em movimento apresenta grande deformação, e abrange várias unidades semi-independentes (Foto 2Esq.), sendo que a massa se rompe por cisalhamento e progride sobre uma superfície plana (Foto 2Dir.).

Foto 2 - Esquerda: Escorregamento planar raso. Direita: Escorregamentos translacionais generalizados com posterior fluxo de detritos, deflagrando a explosão do gasoduto em Gaspar.



Fonte: Bauzys (2010).

Por este motivo são também conhecidos como escorregamentos planares (Figura 3-7), é comumente controlado por estruturas como superfícies de fraquezas geradas por falhas, juntas, planos de acamamento com variação de resistência ao cisalhamento entre camadas ou ainda pelo contato entre o substrato rochoso e a camada superficial do solo, residual ou transportado (Cruden e Varnes,1996).

Esses movimentos deixam cicatrizes alongadas e rasas, onde o plano de ruptura encontra-se, geralmente, em profundidades rasas que variam entre 0,5 m e 5,0m (Taoli et al., 2000). Além disso, as rupturas tendem a ocorrer rapidamente devido ao aumento do poro-pressão positiva durante os eventos pluviométricos.

Figura 3-7 - Escorregamento translacional padrão



Fonte: Taoli et al. (2000).

O principal mecanismo de ruptura pela ocorrência deste tipo de escorregamento está relacionado com a infiltração da água.

### 3.2.2.2 Escorregamentos rotacionais

Cruden e Varnes (1996) afirmam que escorregamentos rotacionais se movem ao longo de uma superfície de ruptura que é curva e côncava. Se a superfície de ruptura for circular ou cicloidal em perfil, a cinemática prediz que a massa deslocada pode mover ao longo da superfície interna, com pouca deformação.

A cabeceira do material deslocado pode mover quase verticalmente para baixo, enquanto que a superfície superior do material deslocado inclina para trás em direção à escarpa. Se o escorregamento prolonga-se para uma distância considerável ao longo da encosta perpendicular para o sentido de movimento, a superfície de ruptura pode ser mais ou menos cilíndrica (Carvalho et al., 2007), geralmente apresentando uma relação de profundidade da superfície de ruptura ao comprimento da superfície de ruptura.

Escorregamento rotacional (Foto 3) é um tipo de movimento em que a superfície da ruptura é curvada no sentido superior (em forma de colher) e o movimento da queda de barreira é mais ou menos rotatório em torno de um eixo paralelo ao contorno do talude (Bauzys, 2010).

Foto 3 - Esquerda: Escorregamento rotacional provocado por corte do talude da estrada de Luiz Alves. Direita: Visada panorâmica dos deslizamentos rotacionais com clara influência antrópica



Foto: Bauzys (2010).

### 3.2.2 FLUXOS

Este é um movimento espacial contínuo, em que as superfícies de corte são de curta duração, espaçadas de perto, e, geralmente, não preservada. A distribuição de velocidades na massa que se assemelha ao deslocar de um líquido viscoso (Cruden e Varnes, 1996).

O limite inferior da massa deslocada pode ser uma superfície ao longo da qual o movimento diferencial apreciável tenha ocorrido ou de uma zona de cisalhamento de espessura distribuída (Kobiyama et al., 2006). Assim, há uma gradação de escorregamentos para os fluxos, dependendo do teor de água, mobilidade e evolução do movimento. Escorregamentos de detritos podem tornar-se fluxos extremamente rápidos ou avalanches de detritos quando o material deslocado perde coesão, ganha água, ou encontra encostas mais íngremes (Carvalho et al., 2007).

Apesar de serem mais raras de ocorrer, as corridas produzem estragos maiores que os escorregamentos translacionais (Marcelino, 2007), no entanto, a distinção entre os dois nem sempre é fácil, pois, em alguns casos, as corridas iniciam-se sob a forma de um escorregamento e, ao atingir um curso d'água, o material deslocado ganha velocidade e fluidez, passando a se comportar como uma corrida (Foto 4).

Foto 4 - Esquerda: Ribeirão Belchior após corrida de detritos. Foto: Fernanda Bauzys (2009). Direita: Direção que seguiu a corrida de detritos do escorregamento 3, ao longo do ribeirão Belchior.



Foto: Joel Pellerin (2009) APUD Bauzys (2011).

Fluxo de detritos é um fluxo de uma mistura de sedimentos e água que se comporta como um fluido de fluxo contínuo impulsionado pela gravidade. Goerl et al (2009), definem os fluxos de detritos como sendo um rápido fluxo saturado de detritos em um canal, com alto gradiente de declividade, consistindo numa mistura de água e sedimentos pobremente selecionados, além de outros tipos de detritos, fluindo por um canal de forma abrupta, com velocidades em torno de 10m/s, apresentando cerca de 70% do seu volume de partículas sólidas. O mesmo autor ainda comenta que como consequências negativas, os fluxos de detritos podem denudar encostas, causar danos estruturais, alterar drasticamente canais e colocar em risco a vida humana.

Kobiyama (2006) define três mecanismos são considerados na iniciação dos fluxos de detritos:

1. Erosão fluvial em canais de drenagem: atua sob vazões críticas instabilizadoras, causadas pelo efeito cisalhante da água corrente no depósito abaixo do canal advindas de chuvas intensas, derretimento de neve ou ruptura de barragens;

2. Aumento de poro-pressão pela infiltração: súbito acréscimo de poro-pressão devido à recarga da zona saturada durante chuvas muito intensas;

3. Aumento de poro-pressão causado por carregamento muito rápido: se dá pelo impacto causado a partir de movimentos de massa ocorrido a montante sobre depósitos em fundos de vale.



### 3.2.3 Rastejos

De acordo com o Carvalho et al (2007), rastejo é o nome dado ao fluxo lento de terra e consiste de um movimento vagaroso, imperceptível e contínuo, para baixo do solo que forma o talude. Esse tipo de deslocamento é causado por tensão de cisalhamento interna, suficiente para causar deformação, mas insuficiente para causar rupturas (Foto 5).

Foto 5 - Esquerda: Processo de rastejo em pasto condicionado por pisoteamento de gado e possível estrutura pedológica. Direita: Trincas em estruturas rijas, indícios indiretos de rastejo.



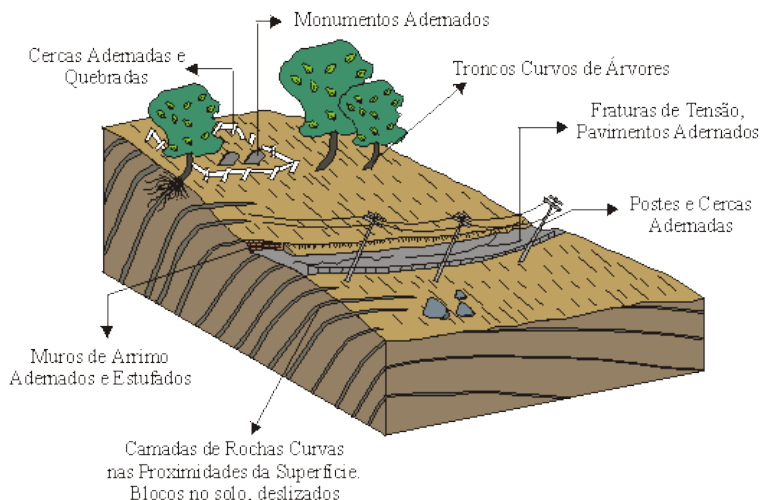
Fonte: Ogura (2010), curso para multiplicadores IPT.

Geralmente, existem três tipos de rastejo, o *Sazonal*, no qual o movimento ocorre no interior e no fundo do solo afetado por alterações sazonais, em sua mistura e temperatura; o *Contínuo*, no qual a tensão de cisalhamento contínua excede a resistência do material; e o *Progressivo*, no qual os taludes atingem o ponto de ruptura gerando outros tipos de movimentação do terreno.

As principais características de áreas com processos lentos de fluxo de massa são árvores, cercas e postes tortos, fissuras estrias no solo, além de fraturas de tensão no pavimento e construções em geral (Figura 3-8)



Figura 3-8 Indicadores de rastejo



Fonte: <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/riscos/risco11b.html>, acesso 01/10/2012.

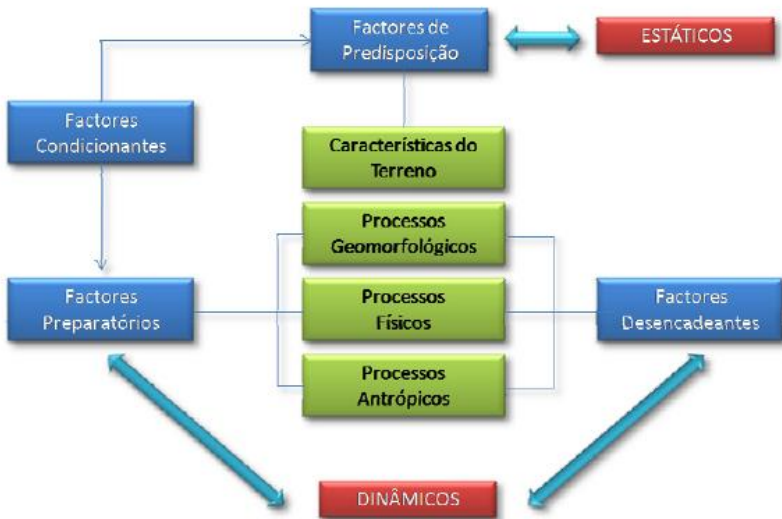
### 3.3 FATORES PREPARATÓRIOS E CONDICIONANTES: OS FATORES DE PREDISPOSIÇÃO

Movimentos Gravitacionais de Massa (MGM), são fenômenos pertencentes a lógica natural do meio ambiente, paisagens são remodeladas num curto espaço de tempo e o meio social inserido neste ambiente, se torna frágil frente a energia avassaladora destes eventos. As causas destes processos devem ser entendidas, a fim de os evitar, quando possível, e controlar movimentos similares.

Quando um MGM acontece, significa que houve naquele sítio os fatores de predisposição favoráveis ao evento, que pode ter ocorrido ou não, fatores preparatórios necessários para ação dos fatores condicionantes.

Zêrere (2012) apresenta um esquema (Figura 3-9) mostrando esquematicamente a relação entre os fatores preparatórios e condicionantes dos MGM.

Figura 3-9 Esquema geral dos fatores que envolvem os MGM.



Fonte: Zêrere (2012).

A partir deste esquema percebemos duas vertentes de processos, os fatores desencadeantes (dinâmicos) e os condicionantes (estáticos e dinâmicos), sendo o primeiro relacionado principalmente aos agentes atmosféricos que colapsam o sistema (fatores desencadeantes), bem como a dinâmica antrópica que catalisa o processo de colapso (fatores preparatórios).

Os fatores estáticos estão associados à natureza do terreno a ser observada (fatores de predisposição), que incluem, nesta perspectiva, fatores geomorfológicos, geológicos, cobertura vegetal, a pedologia, o declive, dentre outros fatores que podem estar diretamente ligado a susceptibilidade do terreno.

Mesmo aumentando a probabilidade de ocorrência de um MGM, estes condicionantes não o geram, por si só, eles agem como catalisadores a partir da inclusão de um elemento dinâmico desencadeante.

Os fatores preparatórios são dinâmicos, pois incluem nesta categoria ações que diminuem a estabilidade da vertente, sem que deflagrem o movimento, estes processos podem ser antrópicos, como: um corte de talude; abertura de estradas; canalização pluvial; lançamento e concentração de águas pluviais e/ou servidas; vazamento

na rede de água e esgoto; presença de fossas; execução deficiente de aterros (compactação, geometria, fundação); execução de patamares (“aterros lançados”) com o próprio material de escavação dos cortes, o qual é simplesmente lançado sobre o terreno natural; lançamento de lixo nas encostas/taludes (Carvalho et al, 2007); e processos geomorfológicos catalisados ou não por processos antrópicos (erosão, desertificação, degelo, tectônica).

Uma proposta semelhante de classificação proposta por Cruden e Varnes (1996) indica que os fatores que influenciam na ocorrência dos movimentos podem ser divididos em condicionantes e desencadeadores.

Os condicionantes naturais podem ser separados por agentes predisponentes (condicionantes) e o dos agentes efetivos (desencadeadores). O primeiro faz referência ao conjunto das características intrínsecas do meio físico natural, podendo ser diferenciados em complexo geológico-geomorfológico (comportamento das rochas, perfil e espessura do solo em função da maior ou menor resistência da rocha ao intemperismo) e complexo hidrológico-climático (relacionado ao intemperismo físico-químico e químico).

Os agentes efetivos são elementos diretamente responsáveis pelo desencadeamento dos movimentos, sendo estes diferenciados em preparatórios (pluviosidade, erosão pela água e vento, congelamento e degelo, variação de temperatura e umidade, dissolução química, ação de fontes e mananciais, oscilação do nível de lagos e mares e do lençol freático, ação de animais e humana, inclusive desflorestamento) e imediatos (chuva intensa, vibrações, fusão do gelo e neves, erosão, terremotos, ondas, vento, ação do homem, etc.).

Ahrendt (2005), afirma que trabalhos relacionados à estabilidade de encostas têm sido realizados por pesquisadores de diferentes áreas nos últimos 30 anos e as causas básicas da instabilidade de encostas são bem conhecidas a partir de uma série de estudos de caso específicos. Em uma determinada área, a maioria dos fatores que influenciam na estabilidade das encostas pode ser reconhecida e os seus efeitos ranqueados ou pesados. Em alguns locais, tais fatores podem ser mapeados e correlacionados uns com os outros e com rupturas já ocorridas.

Cruden e Varnes (1996) apresentam uma subdivisão dos principais fatores que influenciam na ocorrência dos MGM, diferenciados em quatro grandes grupos de “agentes” de ação (Figura 3-10).

Figura 3-10 - Principais grupos de fatores de predisposição de ocorrência de movimentos gravitacionais de massa no mundo.

<b>Agentes Geológicos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Materiais alterados, enfraquecidos ou intemperizados</li> <li>- Materiais cisalhados, fissurados ou fraturados (descontinuidades)</li> <li>- Contrastes na permeabilidade</li> <li>- Contrastes na espessura (material espesso e denso sobreposto a materiais plásticos)</li> </ul>
<b>Agentes Morfológicos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tectonismo ou vulcanismo</li> <li>- Qualquer tipo de erosão</li> <li>- Deposição no topo ou na base da encosta</li> <li>- Remoção da vegetação</li> </ul>
<b>Agentes Físicos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Chuva intensa ou excepcionalmente prolongada</li> <li>- Degelo repentino</li> <li>- Intemperismo por congelamento e degelo</li> <li>- Abalo sísmico</li> <li>- Erupção vulcânica</li> <li>- Intemperismo de material expansivo</li> </ul>
<b>Agentes Antrópicos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Escavação da encosta ou da sua base (remoção do suporte)-Urbanização</li> <li>- Sobrecarga no topo ou na encosta</li> <li>- Diminuição do nível dos reservatórios</li> <li>- Desmatamento</li> <li>- Irrigação</li> <li>- Mineração</li> <li>- Vibração artificial</li> <li>- Vazamentos</li> </ul>

Fonte: Cruden e Varnes, 1996 apud Ahrendt, 2005.

Conforme Bauzys (2010) os condicionamentos geológico-geomorfológicos têm fundamental importância no estudo de MGM. Os principais condicionantes geológicos são os tipos de rochas, seus contatos e os mantos de intemperismo, além dos condicionantes estruturais como as falhas, fraturas e foliações.

Os tipos de rocha podem condicionar as formas de relevo da área, permeabilidade do terreno e, portanto, o tipo de drenagem e textura e também resistência ao intemperismo. As características mineralógicas e texturais do substrato geológico também influenciam considerando os aspectos geomorfológicos e pedológicos de uma área.

As condicionantes geomorfológicas incluem as formas de vertentes e as variáveis morfométricas, como a dissecação, declividade, aspecto e amplitude de relevo. A drenagem também exerce papel fundamental sobre o modelamento do relevo quanto as formas de vertentes e vales (Bauzys, 2010).

‘Por fim, a magnitude, abrangência espacial e tempo de exposição dos fatores desencadeantes é que vão iniciar o processo de MGM que podem ser desde um único deslizamento até centenas de milhares.

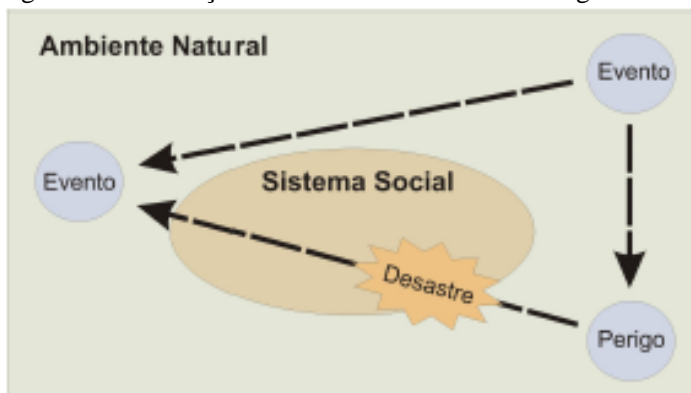
### 3.4 EVENTO, DESASTRE, SUSCEPTIBILIDADE, PERIGOSIDADE, VULNERABILIDADE E RISCO

Na natureza ocorrem diversos tipos de fenômenos que fazem parte da geodinâmica terrestre, responsáveis pela estruturação da paisagem. Porém, se estes fenômenos convergirem para um sistema social, gerando impacto, só será considerado como desastre quando os danos e prejuízos foram extensivos e de difícil superação pelas comunidades afetadas (Marcelino, 2007). Se não gerar danos ou seguir sua trajetória por áreas não ocupadas, o fenômeno volta a ser considerado como um evento natural (Figura 3-11).

Desastres podem ser naturais ou humanos, Tobin e Montz (1997) afirmam que desastres naturais são conceituados como o resultado de eventos adversos que causam grandes impactos na sociedade, sendo distinguidos principalmente em função de sua origem, isto é, da natureza do fenômeno que o desencadeia.

Castro (2003) classifica os desastres humanos como sendo aqueles gerados pelas ações ou omissões humanas, como acidentes de trânsito, incêndios industriais, contaminação de rios, entre outros.

Figura 3-11 - Relação entre evento e desastre de origem natural



Fonte: Marcelino, 2007.

As atuais medidas preventivas referentes a desastre naturais são os estudos dos danos causados na sociedade pelo perigo vigente a partir de uma área susceptível, este estudo determina o risco potencial de uma determinada sociedade.

Conforme a metodologia proposta por Carvalho et al (2007), o risco é intersecção das esferas do perigo natural e seu grau de exposição com a susceptibilidade de um determinado perigo em uma área e a vulnerabilidade da comunidade afetada, como mostra a Figura 3-12.

Figura 3-12 Definição de risco



Fonte: Carvalho et al. (2007).

A *susceptibilidade* (Foto 6 ) indica a potencialidade de ocorrência de processos naturais e induzidos em uma dada área, expressando-se segundo classes de probabilidade de ocorrência, ou da propensão que uma unidade de terreno tem para gerar instabilidades (Guzzeti et al., 2006).

Foto 6 - Esquerda: Rodovia com aterro, funcionando como represa em casos de chuvas fortes e ou contínuas. Direita: Corte vertical do talude sem projetos de reestruturação taludial.



Fonte: Ogura (2010) curso para multiplicadores IPT.

*Vulnerabilidade* (Foto 7) é o grau de perda para um dado elemento ou grupo de elementos, dentro de uma determinada área passível de ser afetada por um MGM. A escala de grau de perda é medida entre 0 (nenhuma perda) a 1(perda total). Para propriedades, a perda será o valor de dano relativo ao valor da propriedade, enquanto para pessoas será a probabilidade de um indivíduo perder sua vida durante um MGM (Fell et al., 2008).

Foto 7 Esquerda: Casas de palafitas, altamente vulneráveis as quaisquer anormalidades naturais. Direita: Conjunto habitacional de baixa-média renda já com alvenarias, menos vulneráveis as anormalidades naturais.



Fonte: Ogura (2010) curso para multiplicadores IPT.

*Perigosidade* é uma condição com o potencial de causar uma indesejável consequência (Foto 8).

. De acordo com Fell et al. (2008), a descrição de perigo aos MGM deve incluir o local, o volume (ou área), a classificação e a

velocidade do potencial destrutivo e a probabilidade da sua ocorrência dentro de um determinado período de tempo.

Foto 8 Esquerda: Perigo de um gato ser atacado por uma matilha de cães. Direita: Casa em perigo por possível rolamento de bloco.



Fonte: Ogura 2009, curso para multiplicadores IPT.

### 3.4.1 Agentes que permeiam o risco

Existem diversas abordagens para a determinação conceitual do risco, são numerosos os autores que abordam conceitualmente estas noções (Castro (2003); Ferentinou e Sakellariou (2005); Fell et al (2008); Marcelino (2007); Carvalho et al (2007); Oliveira (2004)).

De acordo com Marques (2011), a proposta metodológica de Fell et al. (2008) se destaca como importante contribuinte a nível internacional, no que se refere à identificação de áreas com vulnerabilidade, perigo e risco de MGM.

*Risco* é definido como a medida da probabilidade e severidade de um efeito adverso à saúde, propriedade ou meio ambiente. O risco é frequentemente estimado pelo produto da probabilidade de um fenômeno de uma dada magnitude, multiplicado por suas consequências (Fell et al. 2008). No entanto, uma interpretação mais geral de risco envolve uma comparação da probabilidade e consequências numa forma que não calcule o produto. Para análise quantitativa de risco são separados em análise distintas os riscos de perda de vida e para perda de propriedade, sendo:

(a) Para perda de vida, a probabilidade anual que pessoas em risco irão perder suas vidas levando em conta o perigo de escorregamento e a probabilidade espaço-temporal e vulnerabilidade da pessoa



(b) Para perda de propriedade, a probabilidade anual de um dado nível de perda ou da perda por ano levando em conta os elementos em risco, sua probabilidade e vulnerabilidade espaço-temporal.

Conforme a metodologia proposta por Fell et al. (2008), a determinação do zoneamento de risco a MGM considera os resultados de mapeamento de perigo e analisa os danos em potencial a pessoas e fatores do meio ambiente para elementos de risco. Entendendo por zoneamento a divisão do solo entre áreas homogêneas ou domínios e sua classificação de acordo com graus de susceptibilidade de escorregamentos reais ou em potencial, perigo ou risco ou aplicabilidade de certas regulamentações ligadas ao perigo.

Assim, conforme o objetivo a que se propõe um determinado estudo de prevenção a desastres, o nível e a escala do zoneamento irão variar (Tabela 2).

Os zoneamentos de susceptibilidade e perigo geralmente são utilizados em estágios preliminares de desenvolvimento, enquanto que o zoneamento de risco é utilizado em estágios mais avançados, onde há necessidade de maior detalhamento e precisão que irão interferir na tomada de decisão no que refere à gestão de áreas de risco. Estas áreas envolvem uma série de elementos que de uma forma ou de outra acabarão sendo afetados pelo perigo envolvido, estes elementos são: a população, prédios e construções, atividades econômicas, serviços públicos, outros tipos de infraestrutura e valores do meio ambiente na área que é potencialmente afetada pelo perigo do escorregamento.

Tabela 2 Níveis de mapeamento e suas aplicações

Representação escalar	Alcance indicativo da escala	Exemplos de aplicações do zoneamento	Área de zoneamento
<b>Regional</b>	< <b>1:100.000</b>	Inventários de deslizamentos e suscetibilidade para informar tomadores de decisões e público em geral	> <b>10.000k</b> <b>m<sup>2</sup></b>
<b>Intermediária</b>	1:100.000 a <b>1:25.000</b>	Inventário de deslizamento e zoneamento de suscetibilidade para construções regionais, ou projetos de engenharia de grande porte. Mapeamento de perigo de nível preliminar para áreas locais.	1.000 a 10.000 km <sup>2</sup>
<b>Detalhe</b>	1:25.000 a <b>1:5000</b>	Inventário de deslizamentos, zoneamento de perigo e suscetibilidade para áreas locais, zoneamento de perigo de nível intermediário a avançado para obras de desenvolvimento regional. Zoneamento de risco de nível preliminar a intermediário para áreas locais e estágios avançados de planejamento de projetos de engenharia de grande porte, como estradas e ferrovias.	10 a 1000 km <sup>2</sup>
<b>Local</b>	> <b>5.000</b>	Zoneamento de perigo e risco de nível intermediário e avançado para áreas locais e sítios específicos e para a fase de design da construção de estruturas de grande porte, estradas e ferrovias.	Muitos hectares até dezenas de km <sup>2</sup>

Fonte: Modificado de Fell et al. 2008.

## **4 Metodologia e procedimentos para Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e base de dados**

A revolução tecnológica de nosso presente momento, propaga-se para dentro de diversos ramos científicos, e particularmente, o aparecimento no mercado de softwares baseados em SIG, cada vez mais poderosos em termos de diversidade e capacidade de processamento de dados, mas também de utilização mais amigável (caso do programa Arc View), é responsável por um acréscimo significativo da popularidade destas ferramentas entre geógrafos e outros investigadores que trabalham sobre o espaço e o território (CUNHA e DIMMUCIO, 2002).

Com base em ferramentas de softwares de SIG, está sendo possível desenvolver modelos de avaliação da susceptibilidade cada vez mais poderosos em termos de capacidades preditivas, baseados em métodos quantitativos (Reis et al., 2003), permitindo o cruzamento de grandes temas cartográficos e a análise estatística da relação entre os movimentos conhecidos e as variáveis independentes espacializadas.

Outro contribuinte fundamental do ambiente SIG são as possibilidades em manter atualizada a cartografia das áreas afetadas por acidentes e catástrofes naturais, interligando estes dados em nuvem na internet, possibilitando o cruzamento de dados entre diversas fontes produtoras em tempo real e permanentemente registrados.

Na realização de mapeamentos de susceptibilidade, perigosidade, vulnerabilidade e risco assumem, a priori, a relação entre qualidade de mapeamento com a coerência e robustez dos dados tratados. Diferentes fontes de dados são necessárias para a realização de uma pesquisa como esta, pois exige a aquisição de dados com escalas, datums e precisões distintas, a relação temporal entre uma fonte e outra de dados também é um fator expressivo, esta é uma tarefa árdua no processo de mapeamento.

Este capítulo, portanto, tem por finalidade o esclarecimento dos principais processos envolvidos em captura e tratamento de dados, para o uso de uma base cartográfica digital que permita seu uso coerente e integrado utilizando um SIG.

### **4.1 FONTES DA BASE DE DADOS E INTEGRAÇÃO EM SIG**

A integração das diferentes fontes em um ambiente digital de sistemas de informações geográficas é um trabalho complexo e obrigatório neste tipo de análise de terreno.

Abaixo segue uma tabela (Tabela 3 Bases e fontes de informações para modelagem em ambiente SIG. com as bases e fontes de informações para modelagem em ambiente SIG.

**Tabela 3 Bases e fontes de informações para modelagem em ambiente SIG.**

Tipologia	Formato\Datum	Escala	Fonte
Carta Geológica	Digital (Raster)  PDF \ Sem georreferência	1:50.000	Análise e Mapeamento das Áreas de Risco a Movimentos de Massa e Inundações nos Municípios de Gaspar, Ilhota e Luiz Alves (Complexo do Morro do Baú), SC – FAPESC – Convênio N°16319/2010-8 – FAPEU – Projeto N° 209/2009
Carta Geológica	Digital (Raster) PDF \ Sem georreferência	1:100.000	<b>IBGE 2002b</b>
Carta de Solos	Digital (Raster)  PDF \ Sem georreferência	1:100.000	<b>IBGE 2003</b>
Carta de Geomorfologia	Digital (Raster)	1:50.000	Análise e Mapeamento das Áreas de Risco a Movimentos de Massa e Inundações nos Municípios de Gaspar, Ilhota e Luiz Alves (Complexo do Morro do Baú), SC – FAPESC – Convênio N°16319/2010-8 – FAPEU – Projeto N° 209/2009
Carta de	Digital (Vetor)		

Geomorfologia	.CAD \ Sem georreferência	1:100.000	<b>IBGE 2002a</b>
Imagens aéreas	Digital (Raster) RGB + Infravermelho WGS 84 (perdido)* .TIFF	1:25.000  Resolução Espacial 39cm	<b>SDS 2012.</b>
Modelo Digital de Terreno (MDT)	Digital (Raster) WGS 84	1:10.000	<b>SDS 2012.</b>
Carta Topográfica	Digital (Vetor) SAD-69	1:10.000	<b>Prefeitura Municipal de Gaspar.</b>
Carta Topográfica	Digital (Vetor) SAD-69	1:50.000	<b>Mapoteca Digital de Santa Catarina. EPAGRI\IBGE</b>
Rede Viária	Digital (Vetor) SAD-69	1:50.000	<b>Mapoteca Digital de Santa Catarina. EPAGRI\IBGE</b>
Rede Hidrográfica	Digital (Vetor) SAD-69	1:50.000	<b>Mapoteca Digital de Santa Catarina. EPAGRI\IBGE</b>

Fonte: Ribeiro, 2016.

Para que exista possibilidade de integração dos dados digitais, é sempre necessário seguir uma série de etapas já consagradas no geoprocessamento, com esta sistematização das etapas se reduz erros e distorções resultantes da manipulação de dados. As sequencias gerais vão desde aquisição de dados até validação dos mesmos, podem ser resumidas nas seguintes etapas:

- I) Organização digital de dados.
- II) Conversão de dados em formatos compatíveis e integrados.
- III) Georreferenciamento.
- IV) Conversão dos DATUMS para um único modelo.
- V) Extração de dados brutos matriciais para vetores.
- VI) Classificação.
- VII) Criação e preenchimento da base de dados alfanuméricos.
- VIII) Conversão para estrutura matricial comum.
- IX) Extração de dados matriciais.

### *I) Organização Digital de dados*

Este processo é fundamental para que todos os demais possam ser executados de forma coerente e acessível.

Ao fim desta dissertação, com o geoprocessamento obteve-se uma soma 6.724 arquivos, distribuídos em 630 pastas, gerando 32GB de espaço físico, a organização dos dados gerados é uma tarefa muito complexa quando não existe um padrão bem definido de organização de dados.

Para cada plataforma de SIG usada, teremos diferentes formatos (extensões) de dados que são aceitos (input) e salvos (output).

No presente trabalho foram utilizadas duas plataformas de base para tratamento dos dados em SIG, sendo o ArcGis 10.2 a principal delas, seguida pelo GlobalMapper 12, uma poderosa plataforma na conversão de dados bem como seu processamento.

A organização dos dados adquiridos e processados devem ser dispostos de forma que se tornem de fácil visualização, acessando rapidamente o elemento analisado sempre que necessário.

Os dados espaciais para modelagem da susceptibilidade e derivados, podem chegar a atingir terabytes em memórias armazenadas, a organização destes dados, portanto, é fundamental para que não ocorram perdas de dados em meio à possível confusão gerada, no caso de armazenamento incorreto. O processamento destes dados são pesados exigindo computadores modernos e robustos para cumprirem as tarefas dadas. Por outro lado, quando se organiza os dados de forma coerente, diminuem substancialmente o tempo de processamento.

A língua nativa do ArcGis cria para cada arquivo vetorial gerado no ArcCatalog, 7 arquivos distintos com seus respectivos formatos de saída, portanto o armazenamento vetores em uma única pasta é completamente desaconselhável.

Estabelecer um modelo mental em forma de raízes e suas ramificações é uma boa solução para se aplicar em um projeto organizacional.

No caso deste trabalho a pasta de Geoprocessamento foi dividida primeiramente em duas partes, dados matriciais e dados vetoriais.

Desta forma a função e escala de cada elemento tratado foi alocado numa ramificação de uma função maior \ escala menor.

## II) *Conversão de dados em formatos compatíveis e integrados*

As diferentes fontes de dados captadas para o desenvolvimento da pesquisa entram em substancial conflito com as plataformas utilizadas pelo analista, o que impediria o processamento dos dados se não houvesse possibilidades de mudar o formato original de quando foram adquiridos.

A plataforma Arcgis trabalha com formatos específicos de dados, reduzindo muito as chances de manipulação dos mesmos, portanto, foi necessária a conversão de todos os dados para a língua nativa deste software.

Os dados vetoriais são trabalhados com extensões do tipo .shp (Shape file), enquanto os dados matriciais são manipulados a partir de extensões do tipo .geotiff e .rst.

Grande parte dos dados matriciais adquiridos estavam em formato PDF, que foram convertidos para .tiff através do software GlobalMapper 12, utilizando a ferramenta Export > Raster\Image format > Geotiff..

Os dados vetoriais fora do padrão exigido pela linguagem do Arcgis, também foram todos convertidos pelo mesmo software, através do comando Export > Export Vector Format > ShapeFile (ArcGis).

## III) *Georreferenciamento*

Esta etapa é, indiscutivelmente, a mais crítica para um mapeamento de qualidade. A consequência de um mapeamento com erros em georreferenciamento significa a perda de todo o trabalho, pois a ferramenta gerada é inútil.

O georreferenciamento das imagens áreas culmina na vetorização do mapa de inventários, contendo todos os deslizamentos pretéritos, realizar o processamento de susceptibilidade das unidades de terreno e seus respectivos *layers* sem que haja uma precisão boa precisão deste mapeamento é comprometer todo o trabalho posterior.

Para tanto foi utilizado como base de georreferência a fonte de dados mais recente e de maior escala, no caso, o arquivo modelo para georreferenciamento foi o Modelo Digital de Terreno com resolução espacial de 1m, gerado em 2012 pela Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável (SDS), atualmente a melhor e mais recente base cartográfica do Estado.

#### *IV) Conversão dos DATUMS para um único modelo.*

Cada fonte de dados contém seu próprio sistema de coordenadas e projeções, para que os arquivos se tornem inteligíveis automaticamente e sem erros de georreferenciamento, todos os arquivos foram reprojados para a projeção Universal Transverse Mercator (UTM) e o datum WGS -84 (World Geodetic System) Folha 22-S.

#### *V) Extração de dados brutos matriciais para vetores*

Arquivos matriciais brutos são de difícil manipulação, os mapas geológico, pedológico e geomorfológico foram adquiridos no formato PDF, para interação na plataforma do Arcgis, primeiramente é necessária a conversão para GEOTIFF, utilizando o software GlobalMapper e posteriormente georreferenciado no ArcGis, através das fotografias áreas de alta resolução da SDS.

Os dados matriciais, uma vez georreferenciados, têm de, inicialmente, serem vetorizados para extração das classes que interessam ao mapeamento. Primeiramente é necessário a extração vetorizada de todos os elementos relevantes (elementos de predisposição), nesta etapa do trabalho a atenção para a organização dos dados gerados tem que ser redobrada, incluindo ao fim desta etapa, uma revisão integral de todos os elementos pré e pós-processamento, relacionado a datum e projeção cartográfica.

Alguns erros graves foram encontrados no arquivo MDE cedido pela SDS dentro da área de estudo, a resolução do problema foi estabelecer curvas de níveis a partir do MDE, retificar as curvas anômalas e executar o procedimento inverso ao anterior, usando as curvas de nível para gerar um MDE.

#### *VI) Classificação*

Uma vez que os dados adquiridos e gerados estão todos normalizados de acordo com a escala e função da pesquisa e plataforma



digital utilizada, o próximo passo foi classificar os dados. Novamente é necessário ter uma boa organização no momento de classificar e reclassificar os vetores e as matrizes para que se tornem facilmente acessíveis para posteriores processamentos destes dados já trabalhados.

## VII) Criação e preenchimento da base de dados alfanuméricos

Na pós-classificação foram preenchidos os atributos relevantes a cada classe dos fatores de predisposição, para o mapeamento geológico, geomorfológico e pedológico. Os atributos gerados foram extraídos a partir das leituras das bases de referência (Tabela 3), atribuindo valores que além do código de comunicação aritmética (Id) e seus valores (Value), foram também inseridos:

- a) Geologia: os litotipos, as unidades geológicas e as idades;
- b) geomorfologia: as feições geomorfológicas, os domínios morfoestruturais e o tipo de modelado;
- c) pedologia: Foram inseridos valores referentes as classes e sub-classes;
- d) inventário: no caso do mapeamento de inventário, registrou sempre que possível, os seguintes atributos a cada cicatriz mapeada: Id, Tipo de MGM, Diâmetro da cabeceira, Comprimento da Cicatriz, Danos Causados, Registro em campo e Registro de Fotos de Campo.

## VIII) Conversão para estrutura matricial comum

Para os cálculos de modelagem da susceptibilidade em ambiente SIG é essencial a conversão dos dados, para um banco matricial de padrão comum “Unidade de Terreno” (Cap. 4.3) e, conseqüentemente, o trabalho de classificação binária das classes geradas, para a realização das extrações de dados necessárias.

## IX) Extração de dados matriciais

O mapeamento da susceptibilidade consiste na classificação das UT favoráveis à geração de determinado tipo de MGM. As funções logarítmicas e estatísticas podem ser calculadas a partir de uma sólida padronização e extração dos dados matriciais.

Os dados extraídos para os cálculos de Valor Informativo e Área Abaixo da Curva são provenientes de duas bases, uma delas contendo a soma das UT de cada classe dos fatores de predisposição e a somatória

das UT da área de estudo, a segunda base é de origem binária, contendo informações objetivas quanto ao número de UT, afetadas numa determinada classe, a partir do fator determinante (inventário).

## 4.2 CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA

Carta geotécnica trata-se de um documento cartográfico representativo de características do meio físico de uma determinada área ou região geográfica, produzido a partir de potenciais ou reais interferências humanas. A carta geotécnica contempla o resultado de aquisição e interpretação de dados e informações de: ocorrência e distribuição espacial de aspectos e parâmetros de geologia; mecânica dos solos e mecânica das rochas; e podendo ainda incluir dados adicionais, como geomorfologia e pedologia (Dias, 1995). Visa, sobretudo, subsidiar as ações de planejamento e gestão de uso do solo.

Zuquette (1987) classifica o termo carta geotécnica como correspondente à representação dos resultados da interpretação dos atributos apresentados em determinado mapa. O conhecimento prévio dos parâmetros geotécnicos de uma região é pré-requisito básico e de importância fundamental para as atividades de uso e ocupação racional do solo.

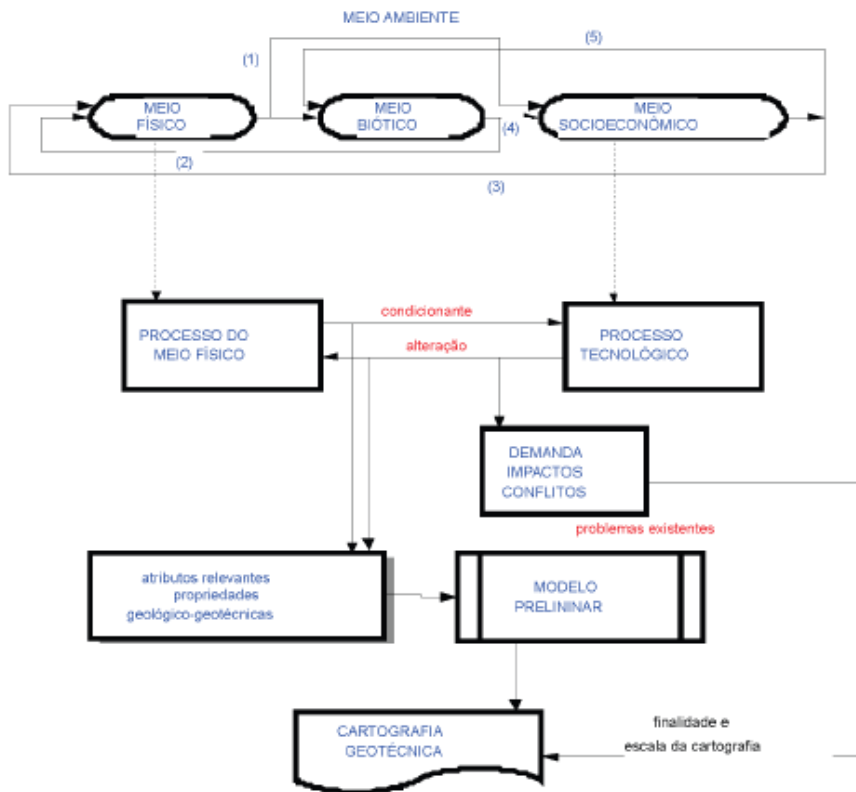
A existência dessas informações sobre o comportamento dos horizontes mais superficiais dos solos e do material do substrato, integradas aos demais dados do meio físico, tal como: o tipo de relevo e declividades (Valente, 1999), além de contribuir no estabelecimento para a elaboração de diretrizes de planejamento, aplica-se também à implantação de obras civis e a orientações de atividades extrativas, além do que contribui na preservação ambiental.

Segundo Diniz (1998), a carta geotécnica constitui ferramenta básica essencial na prevenção e correção de situações relacionadas a desastres naturais e tecnológicos e pode ser considerada, genericamente, como a técnica de integração, síntese e representação de informações temáticas da área de geologia de engenharia voltada a obras e para o planejamento e gestão ambiental urbana e territorial. Permite ainda a formulação de modelos de previsibilidade do comportamento dos terrenos e o estudo de soluções para problemas decorrentes da intervenção antrópica sobre o meio físico.

Nessa perspectiva, a delimitação de unidades do terreno deve considerar as diferenças de atributos ou parâmetros do meio ambiente (físico, biótico e antrópico), os quais induzem ou condicionam o

desenvolvimento de processos e fenômenos responsáveis pela dinâmica da crosta terrestre (Figura 4-1).

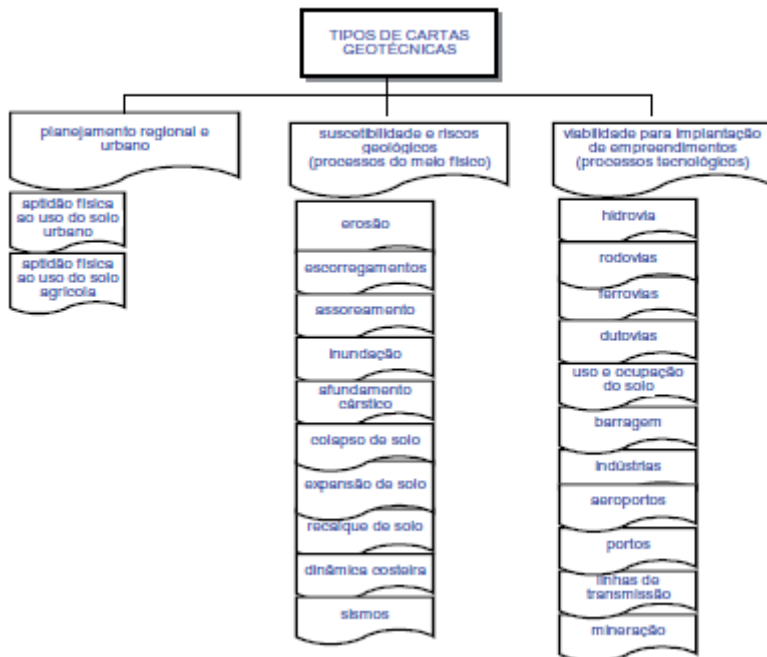
Figura 4-1 Modelagem da Cartografia Geotécnica a partir da dinâmica do meio ambiente e o papel do meio físico, e sua relação com a cartografia geotécnica.



Fonte: Diniz, 2012.

A denominação de cada tipo de carta geotécnica muda de acordo com sua aplicação ou mesmo com a formação técnica do grupo responsável pela sua elaboração. Diniz (1998) classifica os tipos de cartas geotécnicas (Figura 4-2) em aplicadas a planejamento urbano e territorial, onde estariam as cartas de viabilidade à implantação de empreendimentos (processos tecnológicos) e de suscetibilidade e riscos geológicos (processos do meio físico).

Figura 4-2 Tipos de Cartas Geotécnicas.



Fonte: DINIZ 2012.

#### 4.3 SISTEMAS DE TERRENO \ UNIDADE DE TERRENO

A metodologia de classificação de terrenos baseia-se na obtenção de atributos das formas de terrenos (geofomas), que caracterizam unidades de mapeamento de terrenos (UMTs), ou simplesmente Unidades de Terreno (UTs), conforme proposto por Meijerink (1988). Essas unidades que compõem uma associação natural em termos de geologia, geomorfologia e distribuição de solos, são definidas a partir de: mapas específicos existentes; fotointerpretação; e trabalho de campo. Como estratégia metodológica de cartografia geotécnica, neste trabalho definiu-se considerar a compartimentação por Unidades de Terreno (UT) e caracterização por perfis típicos de alteração.

Segundo Meijerink (1988), existem diversas classificações de terrenos atendendo as mais variadas demandas, tais como: classificações de análise geomorfológica, usualmente baseada na gênese e com uma

estrutura hierárquica (sistemas e elementos de terreno); classificações paramétricas ou geomorfométricas, que contém algumas variáveis ou atributos como, amplitude de relevo, micro-relevo, declividade das encostas, classes de vertentes, ou seja, é a menor porção do terreno escala de análise, composta por características internas homogêneas, independentemente das UT's ao redor.

Não foi possível utilizar uma UT neste trabalho em forma morfo-hidrográfica dadas as dificuldades operacionais em modelar a susceptibilidade, mesmo que esta UT tenda a compreender de forma mais significativa os parâmetros morfológicos e hidrológicos.

Entre as possíveis formas de UT, será adotado neste trabalho a UT em células por exigência da plataforma de modelação da susceptibilidade para a realização das operações estatísticas. Desta forma, além de possibilitar as operações estatísticas matriciais, também facilita as operações de sobreposições matriciais..

Outros parâmetros que levaram à escolha da UT em forma de matrizes, foram: as séries de dados coletados e amostrados em sua grande maioria também em dados matriciais; e a existência de uma extensa revisão bibliográfica de apoio metodológico para processamento da modelagem em SIG.

A adoção da escala espacial do presente trabalho foi de 5 metros, esta escolha foi definida de acordo com: (i) o objetivo do trabalho; (ii) a qualidade escalar dos elementos de predisposição; (iii) a capacidade de processamento dos dados; (iv) a composição das cicatrizes MGM contendo um mínimo de 4 pixels para análise de susceptibilidade; e (v) o comprometimento entre precisão e exatidão do mapeamento.



## 5 MAPEAMENTO DE INVENTÁRIO E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DOS ELEMENTOS DE PREDISPOSIÇÃO A MGM NA ÁREA DE ESTUDO

Conhecidamente as análises cartográficas de superfície e subsuperfície consistem na principal fonte de dados para a compreensão da dinâmica dos processos naturais em ambiente SIG.

Estas bases encontram-se em fontes publicadas e adaptadas ao presente trabalho. Sendo que a qualidade dos dados adquiridos e a realização de procedimentos de refinamento vão influenciar substancialmente no resultado de um modelo de susceptibilidade.

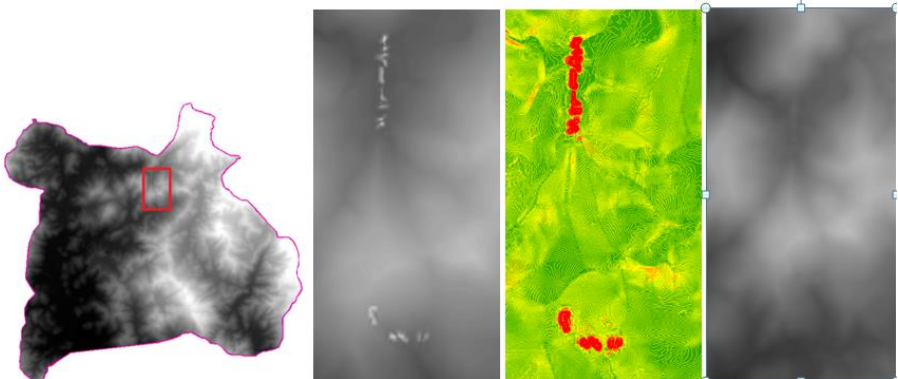
O Modelo Digital Elevação (MDE) é a principal base cartográfica para geração dos elementos de predisposição, o modelo no formato raster identifica o valor Z (altitude) para cada célula da matriz, com resolução espacial de 5m.

Entende-se que o MDE é o principal objeto da modelagem de susceptibilidade, e como principal elemento, é aquele que deve ser minuciosamente estudado, sendo que ruídos e distorções podem prejudicar drasticamente o treinamento matricial da susceptibilidade.

Todos os processos de ajustes de compatibilidade, classificação e retificação, causam danos à qualidade final do produto, consistindo portanto em uma fonte de incerteza.

Abaixo segue um exemplo de um processo essencial de tratamento do MDE (Figura 5-1).

Figura 5-1 Da esquerda para direita: (a) Área da área de estudo apresentando deformação espacial; (b) detalhe do MDE com anomalias; (c) Cotas de nível contendo valores anômalos; (d) MDE corrigido.



Fonte: Ribeiro, 2016.

As fontes de incertezas são múltiplas, pois contemplam tanto os erros de dados adquiridos, quantos erros e perdas da qualidade de dados manipulados, bem como as incertezas dos fatores de predisposição em predição dos modelos de susceptibilidade.

A escala do MDE é de 1:10.000, resultando numa resolução espacial de 1m, porém, conforme discutido no capítulo 4.3, a resolução espacial da UT concebida para análises dos fatores de predisposição é de 5m, resultando em uma área de 25m<sup>2</sup> por pixel, sendo portanto reclassificado para células de 5m.

O padrão espacial das UT adotado não foi tomado com exclusividade, pois existem certos fatores que não se obtém uma leitura real a partir de um pixel de 5m, é o caso das formas de encostas, onde o mais importante é a forma geral da vertente e não o pixel que se enquadra nela.

#### 5.1 Procedimentos metodológicos para mapeamento de inventário, os movimentos pretéritos.

O mapeamento das cicatrizes de MGM da área de estudo é parte vital do processo de análise e validação da susceptibilidade, seja por meio de metodologia heurística, estatística\probabilística ou ainda determinística.

Dependendo do objetivo da análise e a escala de mapeamento obtida, os métodos de coleta e processamento de dados requerem ser minuciosamente elaborados.

A qualidade do mapeamento é definida através de algumas condições a priori (Guzzetti et al., 2005). A primeira condição é a resolução das fotografias\imagens aéreas utilizadas e a escala dos mapas de base.

O levantamento aerofotogramétrico do Estado de Santa Catarina, executado através da Secretária de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável (SDS), possui formato digital, com fotografias coloridas (RGB) e infravermelho, a resolução espacial (tamanho do pixel) é de 39cm e os produtos gerados encontram-se na escala 1:5000. A empresa contratada para a execução do serviço foi a Sensormap, utilizando a tecnologia SAAPI, que foi desenvolvida em parceria com o Departamento de Cartografia da UNESP. Consiste em um sistema integrado de câmeras digitais de alta resolução especialmente adaptadas para aplicações métricas.



Os produtos gerados pelo levantamento aerofotogramétrico constituem nos seguintes itens:

I) Fotografias Aérea – Coloridas e Infravermelho

II) Altimetria – Modelos Digitais

III) Fotografias ortogonais – Mosaicos

IV) Sistema Hidrográfico detalhado: Bacias hidrográficas e sub-bacias; principais nascentes; infraestrutura hídrica (Barragens); cachoeiras, cascatas e quedas.

A Complexidade geomorfológica da região em estudo; o tipo e intensidade do uso do solo e as suas alterações ao longo do tempo e a experiência do técnico que efetua os levantamentos colaboram expressivamente para a qualidade final no mapeamento de inventário.

Outros fatores como: a idade da cicatriz e a velocidade de recuperação da cobertura vegetal influenciam expressivamente na quantidade e qualidade de MGM mapeados; e o clima da região favorece para o crescimento quase imediato da floresta das áreas que perderam regolitos, apagando em pouco tempo as cicatrizes deixadas no relevo.

Subdivisões devem ser acrescidas ao inventário de MGM. Em primeiro lugar deve-se diferenciar as tipologias de MGM (capítulo 3.1), pois cada tipo de MGM tem suas causas próprias de instabilidades, tendo que ser analisado individualmente cada tipo de MGM em relação à sua susceptibilidade. Caso haja histórico temporal das cicatrizes mapeadas, deve-se incluí-los na tabela de atributos a idade do MGM, sendo que esta classificação é fundamental para modelos de validação onde os movimentos mais presentes (ou mais passados) servem de modelos de validação, ou seja, não são inseridos para os cálculos de susceptibilidade.

As cicatrizes de MGM “impressas” nas imagens aéreas utilizadas, foram mapeadas em forma vetorial tipo polígono e lhes foram atribuídos valores referentes à sua classe por meio do banco de dados interativo com as feições de vetores (o mesmo é possível com arquivo raster. Uma vez atribuído um atributo para cada pixel), as classes representam a tipologia dos movimentos ocorridos.

Os trabalhos de campo são fundamentais para a validação do mapeamento de MGM, pois somente em campo pode-se efetuar a validação de um inventário mensurado virtualmente por sensoriamento remoto e geoprocessamento. A finalidade é de identificar: os reais limites do MGM; retificar possíveis erros mapeados em laboratório (falsas cicatrizes); e coletar dados geológicos e geomorfológicos específicos.

No momento em que a cicatriz é confirmada em campo, características reais podem ser inseridas no vetor mapeado, como a sua localização de referência; a espessura do solo deslizado; plano de ruptura, e se o deslizamento afetou alguma estrutura e/ou indivíduo. Serão então introduzidos na tabela de atributos das cicatrizes (Figura 5-2), com o propósito de estabelecer um banco de dados pontuais de cada deslizamento.

Figura 5-2 - Tabela de atributos do shapefile inventário.

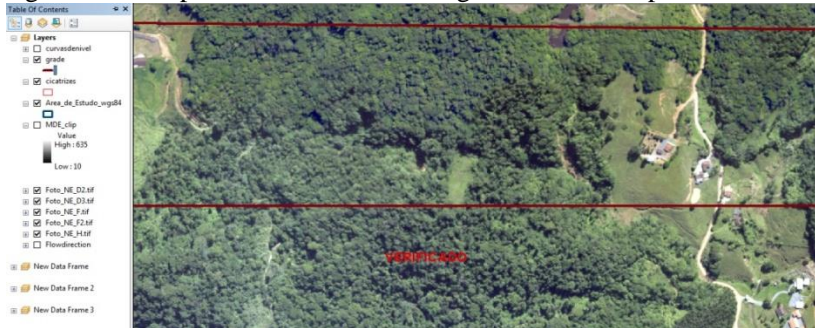


Id	Tipo de MG	tamanho de	Compriment	Danos	Registrado	Foto
92	Translacional	34	350	Não	Sim	01/08/2014 16-19
93	Translacional	8	70	Talvez	Sim	01/08/2014 21 - 25
94	Translacional	18	90	Sim	Sim	01/08/2014 26-29
95	Translacional	32	136	Sim	Não	
96	Rotacional	22	33		Não	
97	Trnslacional	51	320	Sim	Não	

Fonte: Ribeiro, 2016.

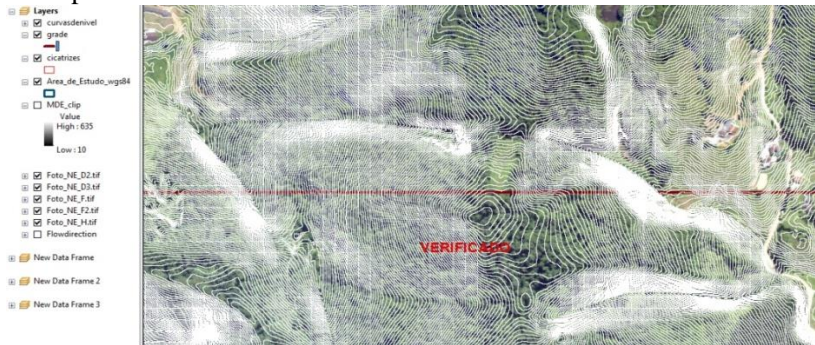
Para realizar o mapeamento das cicatrizes foi fundamental utilizar diferentes temas de camadas para evitar possíveis erros devido à vetorização de cicatrizes falsas, como por exemplo: a sobreposição do shapefile de “curva de nível” à imagem de satélite, Foi utilizado um mosaico de retângulos sobrepostos às imagens de referência, com a finalidade de mapear supervisionadamente 100% a área das fotografias aéreas disponíveis. Este foi um agente facilitador que contribuiu para uma melhor sistematização da vetorização das cicatrizes de movimentos, possibilitando fazer uma análise de imagem continua na escala 1:4000 sem deixar possíveis “buracos”, como mostram a **Error! Reference source not found.**, Figura 5-4e Figura 5-5.

Figura 5-3 - Mapeamento utilizando imagem aérea como plano de fundo



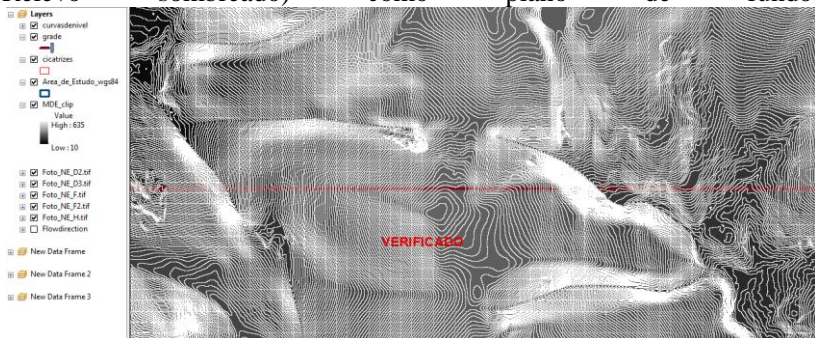
Fonte: Ribeiro, 2016.

Figura 5-4 - Mapeamento utilizando imagem aérea e curvas de nível como plano de fundo.



Fonte: Ribeiro, 2016.

Figura 5-5 - Mapeamento utilizando curvas de nível e Hillshade (Relevo sombreado) como plano de fundo.



Fonte: Ribeiro, 2016.

### 5.1.1 Particionamento do inventário

Após o mapeamento do inventário de todos os MGM presentes na área de estudo deve-se elaborar o particionamento das tipologias dos MGM, bem como os dados históricos distintos e/ou particionar um banco de dados para a avaliação da susceptibilidade e um outro para validação do mesmo.

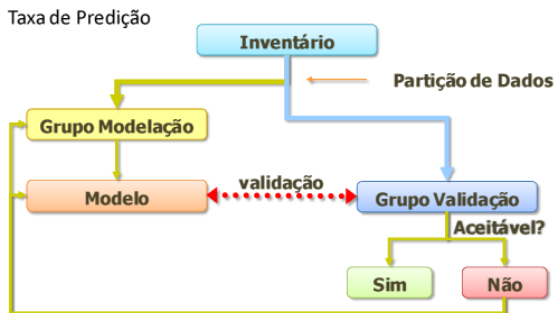
Diversos autores atentam para a necessidade de particionamento para diferentes tipos de MGM (Remondo et al, 2003b; Zêrere 2005; Chung e Fabbri 1999; Garcia, 2012), os agentes condicionantes que influenciam na instabilidade de cada tipologia de MGM podem variar substancialmente, portanto para se fazer uma análise de susceptibilidade de diversos tipos de MGM, deve-se utilizar análises isoladas.

Neste trabalho foram registrados dois tipos de MGM na área de estudo, do total de 391 MGM mapeados, 7% rotacionais e 93% deles do tipo translacional, ocorrendo diversos fluxos de lamas e detritos, porém foi assumido que os MGM do tipo fluxo iniciaram sua corrida a partir de um movimento translacional, acumulando mais água conforme sua corrida encaixada nos vales fluviais.

Os movimentos translacionais rasos e profundos não foram diferenciados entre si, assumindo esta ausência de detalhamento para a presente pesquisa, pois dentro da área de estudo observou-se um padrão médio entre rasos e profundos, optando portanto por compartimentar todos os translacionais num único banco de dados, totalizando 346 MGM desta tipologia.

O grupo de 346 MGM translacionais foi dividido em duas partes de 173 MGM cada, de modo aleatório entre pares e ímpares na sequência do ID de cada cicatriz mapeada, a fim de comporem zonas espacialmente semelhantes de forma não organizada. O primeiro particionamento é usado exclusivamente para a geração do mapeamento da susceptibilidade, utilizado como a variável dependente e de acordo com a metodologia proposta (capítulo 6), enquanto que a segunda partição de MGM destina-se exclusivamente para a validação do modelo (Figura 5-6).

Figura 5-6 - Procedimentos para a taxa de predição.



Fonte: Garcia (2012).

### 5.1.2 O que usar como base de relação entre MGM e fatores de predisposição: Polígonos ou pontos?

A escolha do formato de representação das instabilidades das UT é tão importante quanto o método utilizado, Oliveira et al (2009) concluíram que os resultados da susceptibilidade tendem a ser mais sensíveis ao tipo de representação dos MGM do que ao método estatístico utilizado.

Algumas considerações a serem feitas:

i) utilizar o mapeamento de todo o “corpo” das cicatrizes de MGM na modelagem de susceptibilidade, irá gerar um resultado com elevados índices de classes susceptíveis, devido a presença de grandes áreas afetadas no levantamento das UT com presença de MGM tipo translacional, abrangendo, portanto, praticamente todas as classes dos fatores de predisposição. Por outro lado, o material movimentado e suas propagações devem ser considerados e possivelmente chegam a ser mais relevantes do que a própria cabeceira para o grau de dano possível;

ii) utilizar uma “nuvem” de pontos para cada instabilidade traz a vantagem de normalizar os MGM, que ora podem atingir centenas de metros (contendo algumas centenas de pixel) e ora tem apenas alguns metros (dois a cinco pixel), facilitando a relação estatística entre o fator de predisposição e o plano de ruptura do MGM. Porém qual o nível de incerteza associado a plotagem do ponto e a verdadeira delimitação do plano de ruptura?;

iii) no caso do uso de pontos, qual é o melhor local para a inserção do ponto, no centroide? Alguns pontos na linha de fratura? Um ponto principal na linha de cabeceira? Possivelmente, uma única inserção de um ponto seja simplificar demais as complexidades naturais envolvidas; e no caso de uso de polígono qual a medida correta a se mapear? Utilizar a totalidade da cicatriz mapeada ou seccionar a zona de depleção?

Estas questões devem ser solucionadas antes das análises estatísticas. Uma vez definida a forma de representação, o método escolhido será o determinante para o resultado do mapeamento. Autores como Guzzeti et al. (2000), Schulz (2004), Eekhaut et al. (2006), Eekhaut et al. (2007) enfatizam a grande importância na tomada de decisão do tipo de representação a ser seguida, comprovando que as diferenças do tipo de representação são mais expressivas do que o próprio modelo escolhido.

Garcia (2012) afirma que, embora a delimitação em forma de polígonos não esteja isenta de erros devido a má delimitação ou fenômenos de instabilidade, fazendo uma comparação entre resultados da modelação de susceptibilidade utilizando pontos e polígonos, obtém-se quase sistematicamente os melhores resultados a partir de registros poligonais.

No mapeamento de uma poligonal, parte-se de duas possibilidades: a classificação do elemento dependente a partir de sua totalidade registrada; ou as zonas de depleção.

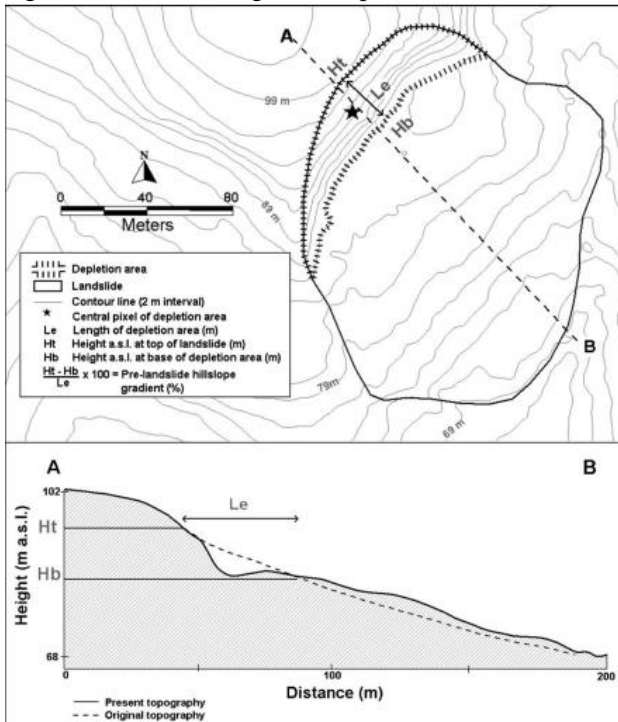
Infere-se algumas questões relevantes acerca deste tema, pois no caso de se optar pela totalidade da massa movimentada, a densidade média de UT com MGM irá aumentar, espalhando os elementos dependentes de forma generalizada, o que no caso do fator declive irá acarretar em densidades maiores de UT com MGM nos declives menos acentuados.

Como já mencionado, não se deve esquecer que o potencial de danos, da massa deslizada por um MGM é o fator representativo de perigo para as pessoas, habitar áreas planas que estão no caminho da massa deslizada pode ser mais perigoso que habitar áreas de inclinação acentuada. Mas, do mapeamento de susceptibilidade não tem como objetivo expor as áreas que podem ser recobertas pelas massas depositadas, mas onde elas podem se originar. A predição da magnitude e probabilidade é competência do mapeamento de perigo a MGM, sendo um exercício posterior a este.

Optou-se, assim seguir a metodologia de mapeamento das zonas de depleção (Figura 5-7), pela clareza no mapeamento, pela redução do

número de células registradas por MGM mapeado e por ser mais fiel as zonas de geração de MGM.

Figura 5-7 - Metodologia de mapeamento das zonas de depleção.



Fonte: Eeckhaut et al. (2007).

## 5.2 Fatores de predisposição, procedimentos metodológicos e resultados preliminares.

Os modelos que envolvem SIG utilizam seja qual for o modelo aplicado, as relações espaciais entre as instabilidades ( elementos dependentes) e os fatores que as condicionam ( fatores de predisposição).

Deve-se ter o maior cuidado possível na manipulação destes dados, processos de retificação e classificação envolvem perda de qualidade e fiabilidade de dados, o excesso de manipulação, a não opção pelo caminho mais curto e/ou mais simples, são fortes fontes de

incertezas, constituindo então numa redução da qualidade do trabalho envolvido.

A maioria dos fatores de predisposição é derivada exclusivamente do modelo digital de elevação (MDE) e a escolha da fonte deste elemento deve ser a prioridade de todo o trabalho, portanto, as obrigações público - políticas são, de certa forma, incondicionais para a viabilidade da análise de susceptibilidade da MGM, considerando que o custo gerador de um MDE de qualidade é elevado, necessitando de levantamento aerofotogramétrico ou imagens de satélite e processamento digital de altíssima resolução.

Os produtos derivados do MDE constituem em modelos chaves das operações “ARCTOOLS BOX”, sendo que os principais algorítmicos utilizados são provenientes do “3D Analyst Tools”, “Conversion Tools”, “Data Management Tools” e “Spatial Tools”.

Os fatores de predisposição derivados do MDE são a declividade, a formas de vertente (curvature) e as direções de encosta (aspect), além de contribuir para a validação do mapeamento das cicatrizes (inventário) a partir da geração do Hillshade (sombreamento) e Contour (cotas altimétricas). O MDE também contribuiu fortemente para as operações que envolveram modelagem hidrológica, como a área de contribuição, delimitação de bacia hidrográfica, modelagem de canais hídricos e direção de fluxos.

Abaixo seguem as sessões de cada um dos fatores de predisposição, utilizadas nas análises de susceptibilidade.

### **5.2.1 Declive**

Os Fatores de ordem Geomorfológica incluem o declive, desmembrado das análises geomorfológicas, pois se assume como fundamental para a ocorrência de MGM.

Bispo et al ( 2011) define a declividade correspondente ao ângulo de inclinação da superfície local, possuindo ação direta sobre o equilíbrio entre a infiltração de água no solo e escoamento superficial, além de controlar a intensidade dos fluxos de matéria e insolação.

Diversos autores que consagram o meio científico em estudos acerca dos MGM (VARNES, 1958; CRUDEN E VARNES, 1996; GUZZETTI, 2000; ZERÊRE, 2010), assinalam a declividade como o principal fator de análise quando se há material a ser transportando, contidos nos estudos de validação sobre a capacidade preditiva dos fatores de predisposição, independentemente do método utilizado, a declividade assume o primeiro lugar na cadeia hierárquica no modelo.



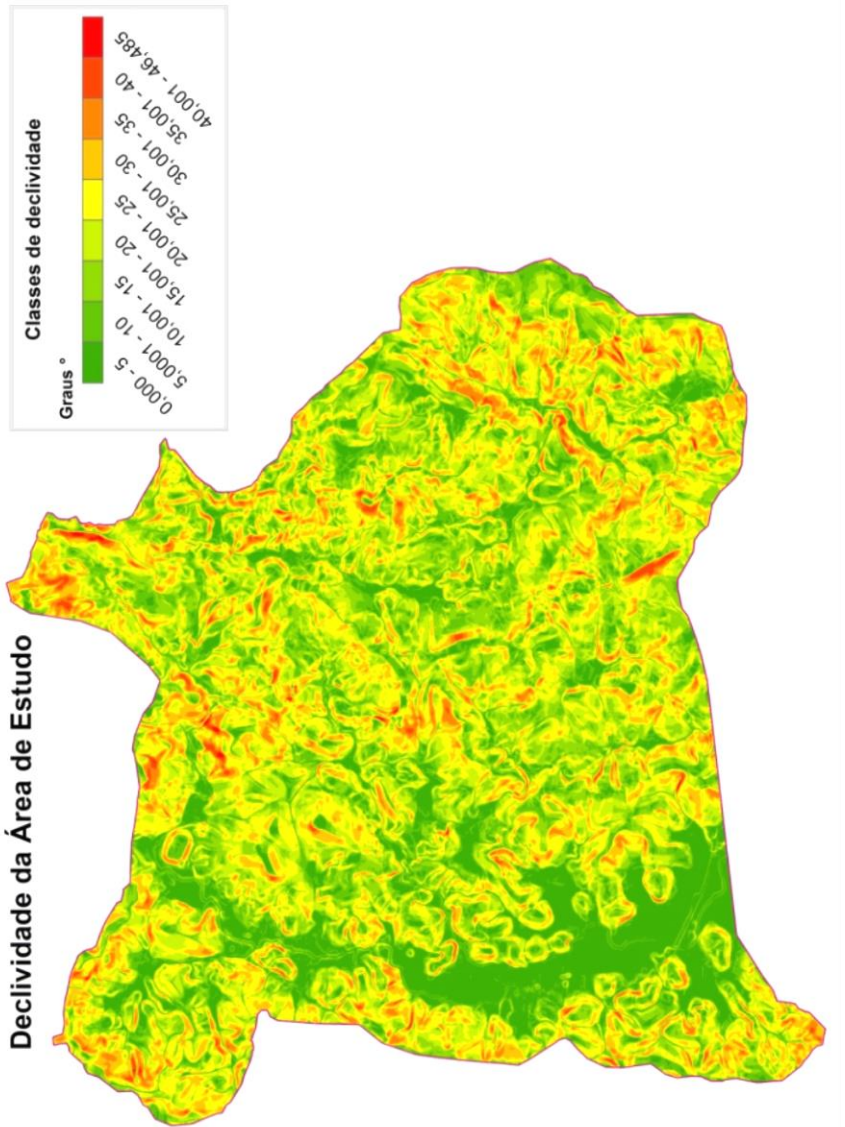
A área de estudo abrange 47,87 km<sup>2</sup>, contendo 1.914.926 UT de 25m<sup>2</sup> cada uma, os declives modelados surgiram com base nos pressupostos da Máxima Média, desenvolvido por Burrough (1998).

Para cada UT, o algorítmico Slope do ArcGis calcula a taxa máxima de mudança de valor a partir das UT vizinhas. A alteração máxima em elevação ao longo da distância entre a célula e os oitos vizinhos possíveis, identificam a queda mais acentuada dentre todas.

O Formato da declividade de saída da plataforma ArcGis pode ser calculada em dois tipos de unidades, em graus ou porcentagem. No presente trabalho a escolha em graus (°) foi tomada, pela praticidade na leitura e pela melhor convenção mundial entre diferentes pesquisadores do ramo que adotam a utilização de graus como padrão.

A classificação da declividade no presente trabalho foi dividido em intervalos de 5°, totalizando 9 classes. Esta escolha teve como pontos decisivos: (i) facilitar a interpretação de dados em relação as classificações com intervalos de 1°; (ii) esta classificação apresentou uma capacidade preditiva (0,682), sendo o melhor índice gerado em relação as classificações testadas com 5, 6, 7 e 8 classes. As classes foram classificadas equidistantes, com exceção da última, onde a classe agregou 6,5°, referentes as inclinações mais íngremes da área de estudo, 40°- 46,5° (Figura 5-8).

Figura 5-8 - Declividade da área de estudo.

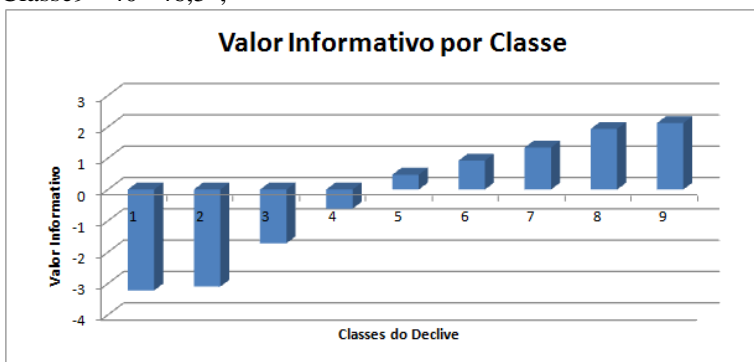


Fonte: Ribeiro, 2016.

O Valor Informativo (Capítulo 6.2) das classes de predisposição apontaram para correlações negativas para as primeiras quatro classes, enquanto que houveram pesos superestimados para as últimas duas classes, pois a classe 8 (35° - 40°) e a 9 (40°-46,5°) abrangem apenas 0,8 % e 0,06% do total da área de estudo respectivamente (Figura 5-9).

Por terem uma área reduzida, a probabilidade condicionada (probabilidade de uma classe apresentar MGM) para a classe 9 é de apenas 0,23% e apresentando 24 UT com presença de MGM, tornou o VI para esta classe a maior de todas as classes dos fatores de predisposição analisados.

Figura 5-9 - Valor Informativo por Classe de Declividade. Classe1= 0°-5°; Classe2= 5°-10 °; Classe3= 10°-15°; Classe4= 15°-20°; Classe5= 20-25°; Classe6= 25°-30°; Classe7= 30°-35°; Classe8= 35°-40°; Classe9= 40°-46,5°;



Fonte: Ribeiro, 2016.

## 5.2.2 Geomorfologia

Ross (1992), afirma que estudos geomorfológicos e ambientais, quer sejam eles detalhados ou no âmbito regional, atendem as necessidades político-administrativas e funcionam como instrumento de apoio técnico aos mais diversos interesses políticos e sociais, quanto aos MGM.

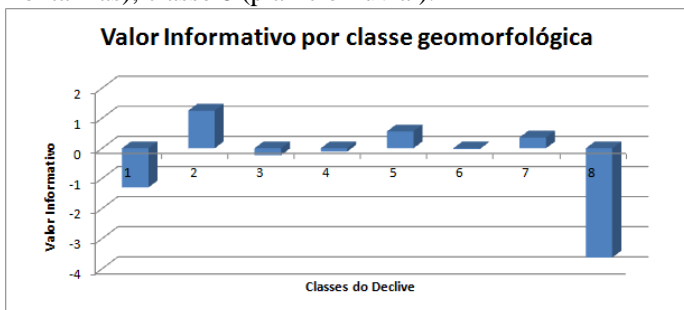
Incluem para análises geomorfológicas neste trabalho, as seguintes classes, (i) bacias suspensas; (ii) as linhas de escarpas erosivas e as escarpas em linha de falha; (iii) escarpas erosivas; (iv) modelado de colinas e morros em gnaisse; (v) modelado de colinas e morros em

arenito; (vi) modelado de colinas e morros em conglomerado; (vii) modelado em montanhas; e (viii) planície fluvial.

A classificação do fator de predisposição foi gerada a partir do mapeamento geomorfológico descrito no capítulo 2.2 (mapa geomorfológico, Fig. 6).

O VI gerado (Figura 5-10) mostrou indiferenças na predição das classes 3, 4 e 6, apontando maior susceptibilidade para as escarpas em linhas de falhas, surpreendendo pelo índice acima de 1, demonstrando forte capacidade preditiva para o evento, os modelados em arenitos mostraram-se ser mais susceptíveis que os demais tipos de feições. Os modelados em montanhas aparentaram uma capacidade preditiva ligeiramente positiva (0,36). As planícies fluviais obtiveram o menor índice de todas as classes de predisposição analisadas, tendo que ter seus dados modificados para realização das operações logarítmicas, pois como não houve nenhuma UT registrada com MGM, o VI tende ao infinito negativo, foram, portanto, acrescidas 10 UT com MGM na classe para a geração do valor mínimo do VI.

Figura 5-10 - Valor Informativo das unidade geomorfológicas. Classe 1 (escarpas erosivas); classe 2 (escarpas em linha de falha); classe 3 (bacias suspensas); classe 4 (modelado de colinas e morros em gnaisse); classe 5 (modelado de colinas e morros em arenito); classe 6 (modelado de colinas e morros em conglomerado); classe 7 (modelado em montanhas); classe 8 (planície fluvial).



Fonte: Ribeiro, 2016.

### 5.2.3 Direção de encostas

A direção de encosta é um fator de predisposição vista no presente trabalho como fator de alta relevância para predição de áreas susceptíveis a MGM. A inclinação do eixo da Terra em relação ao Sol

determina o ângulo da incidência da radiação solar na crosta terrestre, este ângulo de incidência irá variar, portanto, de acordo com a latitude do meio.

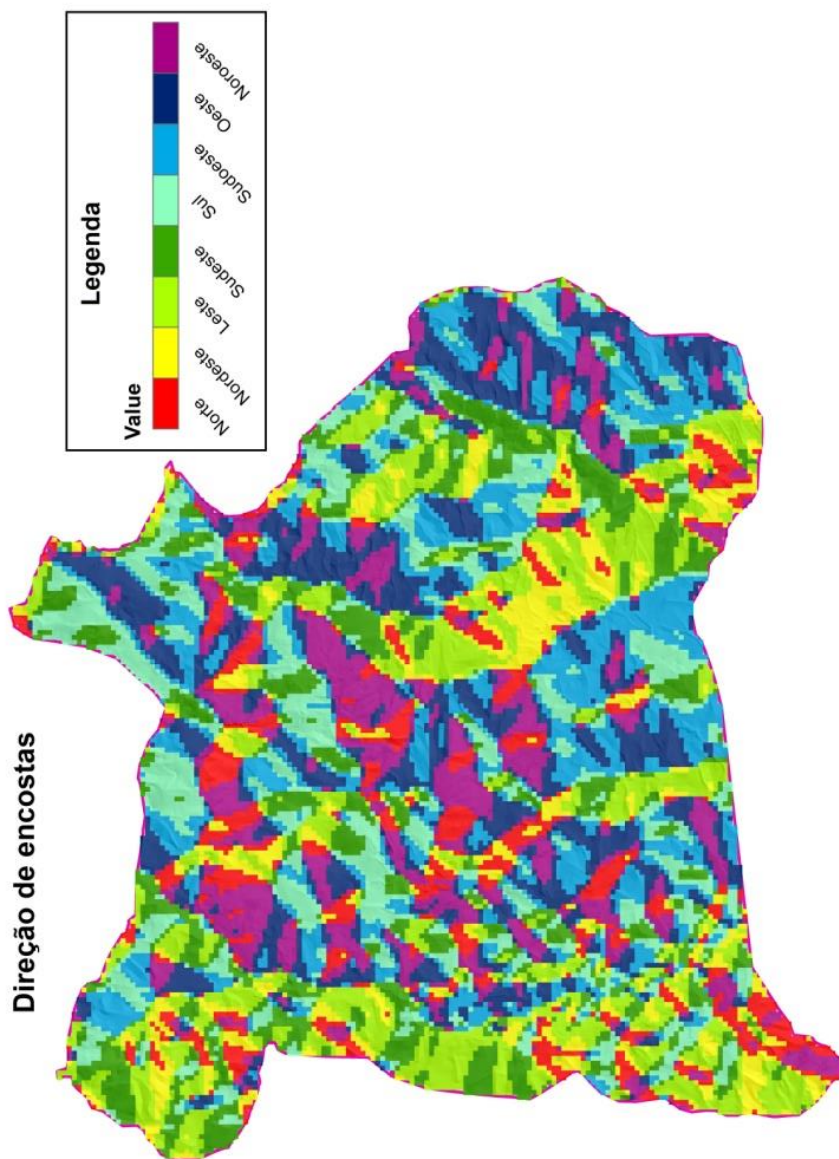
A área de estudo situa-se a sul do Trópico de Capricórnio, portanto os raios solares nunca incidem perpendicularmente ao solo; o sol descreve em sua rota durante todo o ano, um arco no céu voltado para o norte. Isso faz com que encostas com a orientação de vertente voltada para o norte recebam mais radiação solar ao longo do ano do que encostas com orientação voltadas para o sul.

Mello (2009) afirma que a vertente norte e sul diferem quanto à disponibilidade de recursos. Uma característica que diferencia as orientações de vertente é a disponibilidade hídrica, sendo que na vertente sul, encontra-se disponível mais água no substrato para as plantas.

A variação de umidade reflete nos diferentes índices de temperatura destes dois tipos de encosta, já que as encostas voltadas para o norte são significativamente mais quentes por causa da maior incidência de calor que as voltadas para o sul, as temperaturas mínimas também ocorrem, na maioria, nas encostas do lado norte o que deve ser atribuído à maior umidade relativa nas encostas do sul em razão do maior período de deposição de orvalho que atua como efeito “tampão”, reduzindo as temperaturas extremas (Bispo et al., 2011).

Os valores de orientação de encosta é uma medida do ângulo horizontal da direção esperada do escoamento superficial, geralmente expressa em azimute, onde o valor é de  $0^\circ$ , crescendo no sentido horário (Figura 5-11).

Figura 5-11 - Direções de encosta da área de estudo.

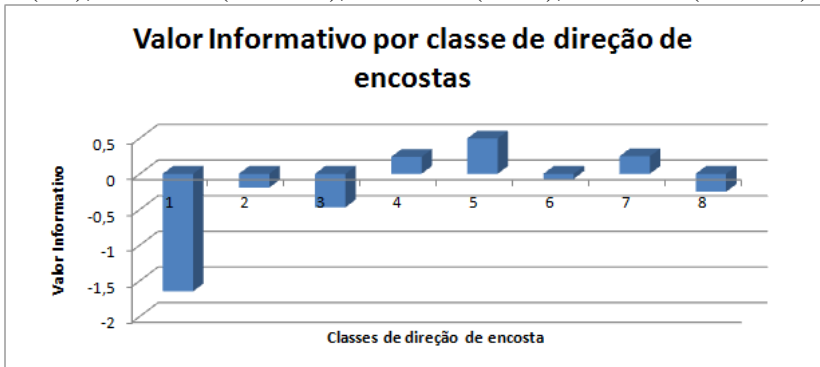


Fonte: Ribeiro, 2016.

Bispo et al (2011) define a correspondência de direção de encostas como à direção azimutal do vetor cujo módulo é a declividade. Em uma carta de curvas de nível, a orientação de vertentes é dada pela direção transversal da isolinha local, no sentido descendente, e define o que se chama de linhas de fluxo.

O VI deste fator ( Figura 5-12) mostra que as encostas voltadas para Norte tem forte taxa de predição negativa, o índice -1,6 surpreende quanto as demais classes de direção, a face Sul em contrapartida foi a que apresentou a maior taxa de predição ao apresentar MGM com índice de 0,5 na escala do VI. Apenas a classe número 6 (Sudoeste) se mostrou neutra nesta análise, a Figura 5-12 mostra a espacialização das direções de encostas na área de estudo.

Figura 5-12 - VI das classes de direções de encosta. Classe 1 (Norte); Classe 2 (Nordeste); classe 3 (Leste); classe 4 (Sudeste); classe 5 (Sul); classe 6 (Sudoeste); classe 7 (Oeste); classe 8 (Noroeste).



#### 5.2.4 Formas da vertente

Fernandes et al (2001), afirmam que diversos estudos de cunho geomorfológico têm chamado a atenção para o papel desempenhado pelas porções côncavas do relevo na convergência dos fluxos de água, tanto em superfície quanto em sub-superfície.

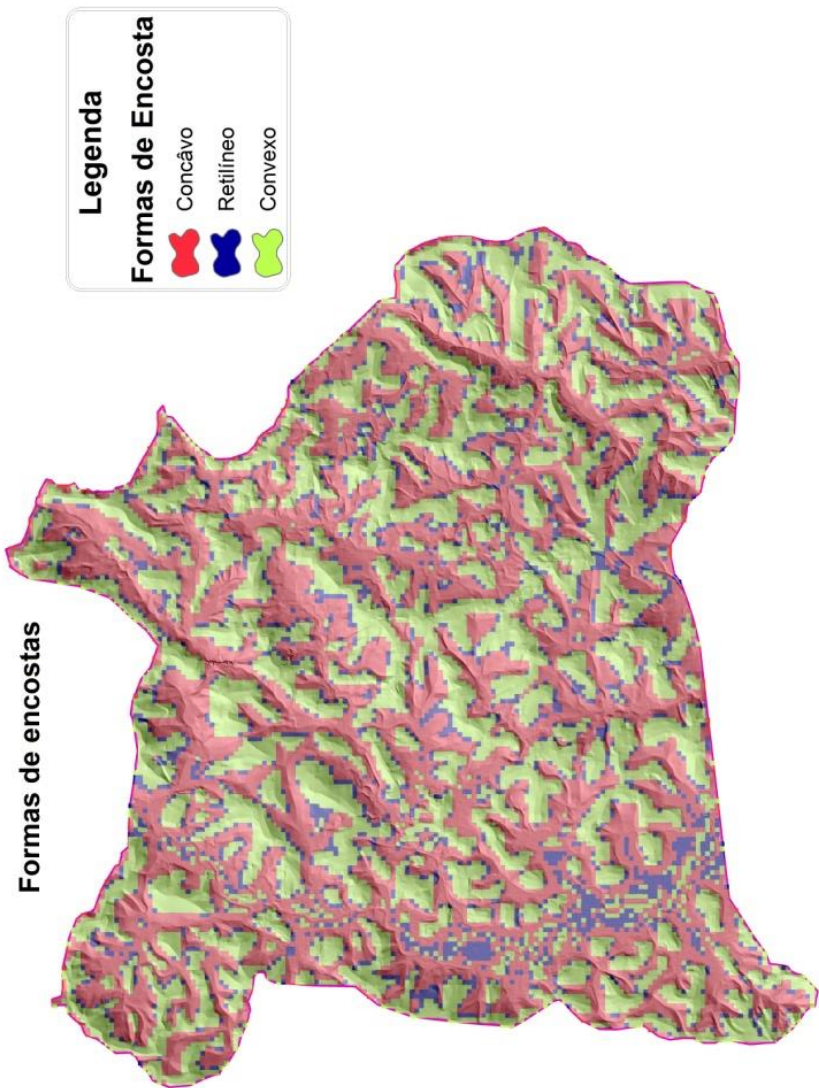
Florinsky e Kuryakova (1996) estudando as relações entre a cobertura florestal e variáveis geomorfométricas em quatro ambientes topográficos distintos. Observaram que o controle topográfico das propriedades da vegetação é realizado de formas diferentes em diferentes terrenos. Dentre as variáveis geomorfométricas, a elevação se relacionou diretamente com a distribuição altitudinal de solos e, por conseguinte, o tipo de vegetação. A declividade e a orientação de

vertentes controlaram respectivamente a intensidade e a direção de fluxos de matéria e de insolação, portanto, com efeitos locais sobre a ecofisiologia das plantas e animais.

O modelado das formas de encostas (Figura 5-13) é estabelecido a partir da união de dois modelados sobre a curvatura do terreno, denominados de curvatura vertical e a curvatura horizontal.



Figura 5-13 - Formas de encosta da área de estudo.



Fonte: Ribeiro, 2016.

A curvatura vertical refere-se ao caráter convexo/côncavo do terreno quando analisado em perfil, enquanto a curvatura horizontal refere-se ao caráter divergente/convergente das linhas de fluxos em projeção horizontal.

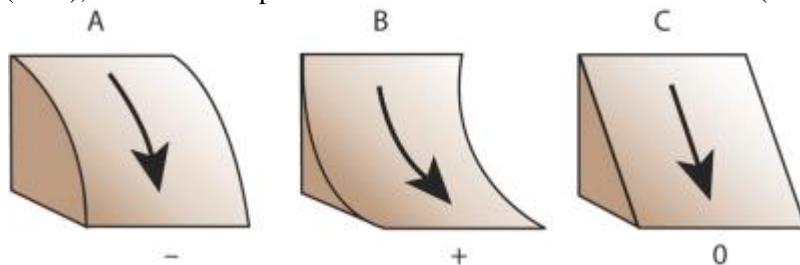
De acordo com Bispo et al (2011), as curvaturas vertical e horizontal influenciam os processos de migração e acúmulo de água, minerais e matéria orgânica no solo através da superfície, proporcionados pela gravidade. Estas duas variáveis combinadas representam uma caracterização das formas do terreno, às quais se associam diretamente propriedades hidrológicas e de transporte e indiretamente as propriedades pedológicas, ecológicas, além de uma série de outros aspectos.

Confere ao formato de saída da união dos modelados vertical e horizontal, as formas das encostas convexa, côncava ou retilínea, utilizando a ferramenta Curvature em 3D analyst tools.

Esta técnica, de acordo com Buckley, (2010), capta variações locais na curvatura e exibe-os com sombreamento. Isso é muito útil para a identificação de áreas de rápida mudança na inclinação ou aspecto.

Curvatura Perfil: Perfil curvatura é paralela à direção da inclinação máxima. Um valor negativo (Figura 5-14 A) indica que a superfície é convexa para cima nessa célula. Um perfil positivo (Figura 5-14 B) indica que a superfície é côncava para cima, em que a célula. Um valor de zero indica que a superfície é linear (Figura 5-14C.) Curvatura Perfil afeta a aceleração ou a desaceleração do fluxo ao longo da superfície. Note-se que este é o mesmo que o linear, convexa, côncava e pistas indicadas na figura abaixo.

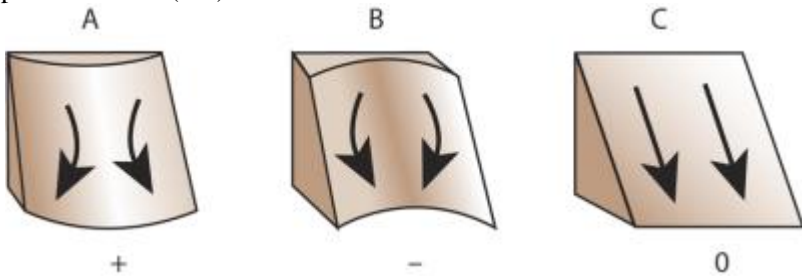
Figura 5-14 - Curvatura Perfil convexo (esq.), perfil concavo (meio); perfil retilíneo (dir.).



Fonte: Buckley (2010).

Curvatura forma plana ou plano de curvatura é perpendicular à direção da inclinação máxima. Um valor positivo ( Figura 5-15A ) indica a superfície convexa é lateralmente nessa célula . Um plano negativo Figura 5-15B) indica a superfície é côncava lateralmente nessa célula . Um valor de zero indica que a superfície é linear (Figura 5-15C)

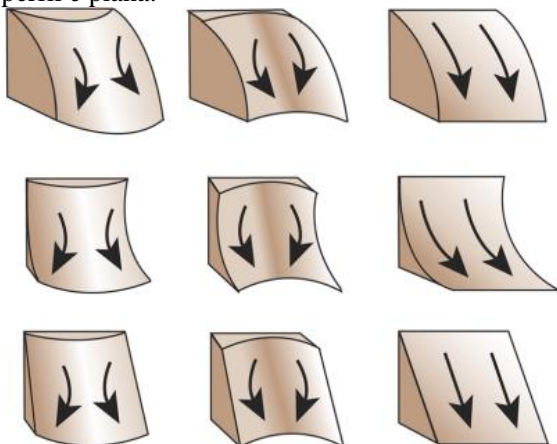
Figura 5-15 - Curvatura plana: convexo (esq.), perfil côncavo (meio); perfil retilíneo (dir.).



Fonte: Buckley (2010).

A fusão dos modelos anteriores, como já citado irá resultar no modelo de formas de encostas, o resultado são nove possibilidades (Figura 5-16), mas para classificação das formas, generaliza-se as formas para 3 padrões: as UT com valores negativos, classificam-se como convexas; de valores tendendo a zero, como retilínea; e valor positivos de côncavos. Kimerling et al (2011), sugere que para as formas retilíneas a classificação da matriz seja os valores entre - 0,04 até 0,04.

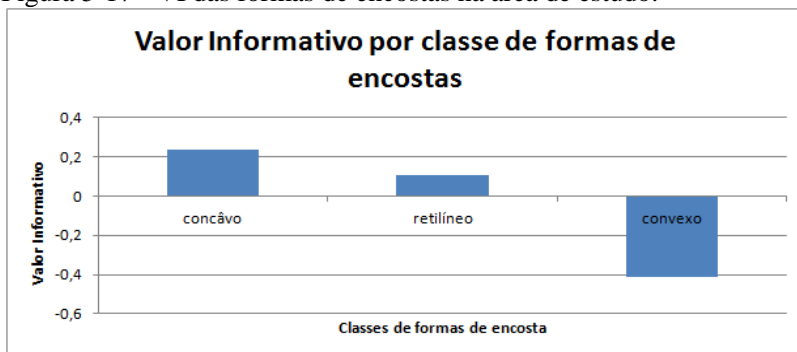
Figura 5-16 - Resultado da multiplicação das matrizes de formas em perfil e plana.



Fonte: Buckley (2010).

O VI deste fator de predisposição aponta para uma correlação positiva entre as concavidades das formas de encosta, apresentando um índice de 0,23, além das formas côncavas, as formas retilíneas se mostraram ligeiramente mais susceptíveis a MGM do que a média de densidade de MGM na área de estudo, indicando um índice de 0,1. As formas convexas obtiveram um valor de predição negativa, de -0,41, confirmando as teorias de muitos autores sobre a maior predisposição a MGM nas formas côncavas das encostas ( Figura 5-17).

Figura 5-17 - VI das formas de encostas na área de estudo.



Fonte: Ribeiro, 2016.

### 5.2.5 Lineamentos

. As unidades geológicas que compõem o cenário da área de estudo, o Complexo Granulítico Luiz Alves é em pequena fração, porém com numerosos MGM, o Grupo Itajaí, são recortados por numerosas zonas de cisalhamento e falhas, compondo o cenário atual do médio Vale do Itajaí.

Diversos estudos acerca dos lineamentos foram concluídos nos arredores da presente área de trabalho, (Tomazzoli, 2012; Egas, 2011; Bauzys, 2010; Schoroder, 2006), relacionando eventos MGM com as estruturas falhadas da Bacia do Itajaí. Egas (2011), cita que o relevo apresenta escalonamentos e o desenvolvimento de bacias suspensas e a distribuição espacial da cobertura sedimentar que reproduz a complexidade de feições observadas tanto no contexto local quanto no regional.

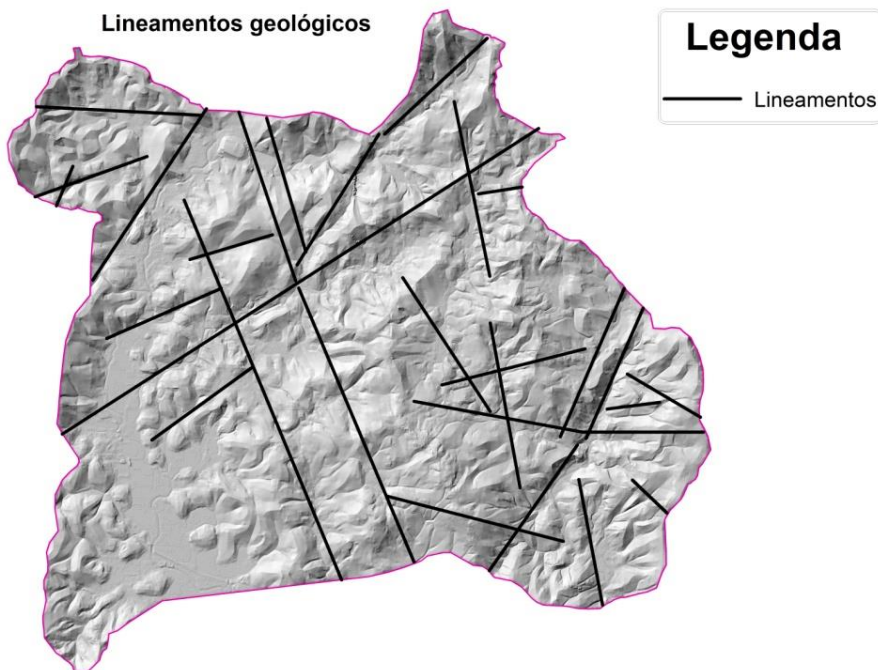
Em geral, conforme Schoroder (2006), os lineamentos variam de pouco mais de 1km a no máximo 8km de extensão, porem sistemas trends de lineamentos, os comprimentos podem superar facilmente 10km.

Estruturas de Grábens e Horts são observadas devido ao falhamento e reativações tectônicas da bacia, os processos de MGM representam relações diretas com áreas mais falhadas e com a quebra estrutural do relevo, que de acordo com Bauzys (2010), a ocorrência de escorregamentos no Belchior Alto (área limitante da área de estudo) também é controlada pelas grandes estruturas geológicas como falhas e zonas de cisalhamento.

Essas estruturas consolidam a atual rede de drenagem, que encaixadas nas zonas de cisalhamento, configuram um relevo em vales retilíneos, profundos com encostas íngremes, propensas a movimentos de massa.

Em um estudo correlacionando MGM com lineamentos, Bauzys (2010) afirma que as estruturas foram importantes canalizadores de fluxo de lama e detritos dos escorregamentos translacionais rasos, observando que a direção do fluxo de lama e detritos dos grandes deslizamentos translacionais rasos parece ter sido canalizada para pequenos vales nas encostas, com orientação coincidente a dos lineamentos N45°W. As principais direções de lineamentos são: N45°E, N45°W, E-W (Figura 5-18).

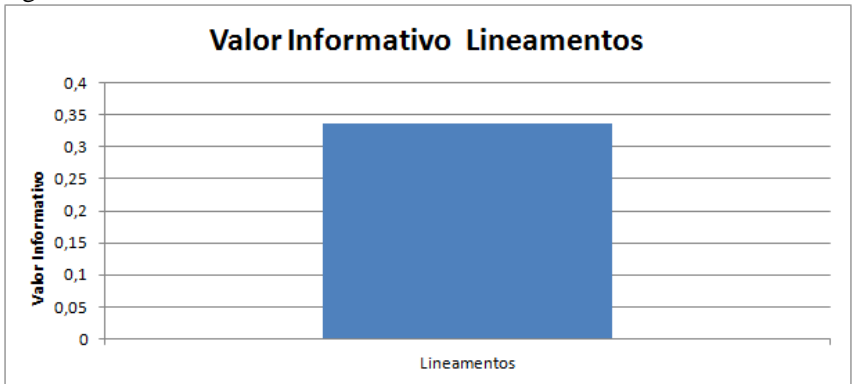
Figura 5-18- Lineamentos da área de estudo.



Fonte: Ribeiro, 2016.

O VI do fator de predisposição assinala para uma taxa de predição positiva, de 0,34 (Figura 5-19), que dentre todas as classes analisadas, os lineamentos ocupam a 13<sup>o</sup> posição em relação a taxa de predição positiva.

Figura 5-19 - VI dos lineamentos.



Fonte: Ribeiro, 2016.

### 5.2.6 Pedologia

Estudos referentes à correlação de mecânica de solos e MGM são amplamente difundidas, consagrando o sistema de modelagem determinista.

O objetivo do presente trabalho está focado em uma análise estatística, com base nos diferentes fatores de predisposição e seus potenciais preditivos, portanto não se justificou o processamento de dados referente aos pormenores de cada classe de solo, como a coesão, atrito interno e densidade do solo, valores obtidos por testes de cisalhamento direto, que são os fatores determinantes para o cálculo dos fatores de segurança, propostos em metodologias determinísticas (Ribeiro, 2012).

As bases metodológicas de análises determinísticas melhor se justificam numa escala local de mapeamento, onde um MGM é resultado de uma massa de solo inclinada, submetida a três campos de força distintos: forças devidas ao peso dos materiais, forças devidas ao escoamento da água e forças devidas à resistência ao cisalhamento. O estudo da estabilidade dos taludes deve, necessariamente, levar em conta o equilíbrio entre essas forças, uma vez que as duas primeiras se somam, e tendem a movimentar a massa de solo encosta abaixo, enquanto a última atua como um freio a essa movimentação (Veloso, 2002).

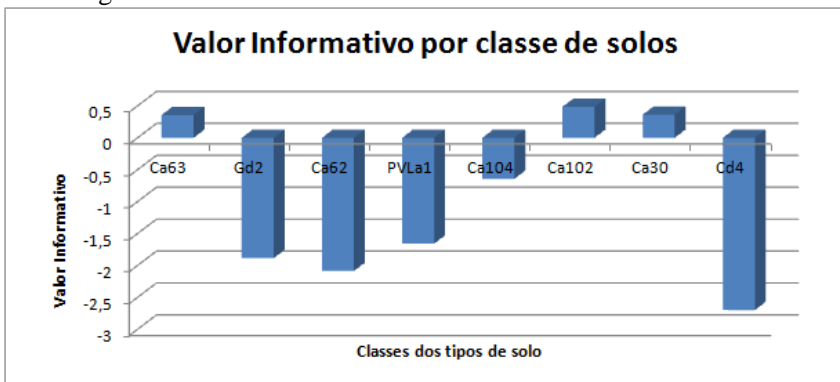
Conforme Reinert e Reichert (2006), água exerce forças dentro e sobre o solo, importantes nos processos de transporte, num solo saturado, onde os poros ou interstícios estão completamente preenchidos pela água, a qual exerce pressão tendendo a afastar uns dos outros os

grãos dos sedimentos, resulta na perda completa da coesão do solo, provocando seu movimento.

O objetivo, portanto, é analisar os diferentes tipos de solos na presente área de estudo, utilizando os resultados do VI como prova de predição de acordo com as classes propostas no capítulo 2.4.

O resultado dos cálculos indicou que os solos tipo Cambissolos Ca102 (pg. 37,38), obteve o melhor desempenho em relação a predição de MGM, com índice de 0,48 (Figura 5-20), seguido do solo tipo Ca63.

Figura 5-20 - VI das classes de solos na área de estudo.





## **6 FUNDAMENTOS TEÓRICOS DA ANÁLISE E VALIDAÇÃO DE MODELOS DE SUSCEPTIBILIDADE A MGM**

### **6.1 POSSIBILIDADES METODOLÓGICAS PARA AVALIAÇÃO DA SUSCEPTIBILIDADE**

Trabalhos relacionados à estabilidade de encostas têm sido realizados por pesquisadores de diferentes áreas nos últimos 30 anos, que vão de engenheiros de solos, geólogos, geomorfólogos, dentre outras áreas que permeiam as ciências naturais.

Diferentes técnicas ou ferramentas podem ser adotadas com várias abordagens para determinar áreas potencialmente instáveis (Fall et al, 2006), bem como a avaliação do perigo de MGM. Estas técnicas podem ser divididas em quatro grupos: geomorfológica (cartografia direta), modelo heurístico (avaliação de especialistas), métodos estatísticos e probabilístico (Valor Informativo; Bayesiano, Lógica Fuzzy, Máxima Semelhança) e abordagem determinística ( fator de segurança, mecânica de solos).

A avaliação por especialistas pode incluir mapeamento de inventário de MGM e / ou abordagens heurísticas . Mapas de inventário podem ser utilizados como uma forma elementar de mapeamento da susceptibilidade, pois eles enfatizam a posição e dimensão de MGM registrados ( Dai et al., 2001 ) .

Nos métodos heurísticos, a opinião é utilizada para estimar e / ou classificar a susceptibilidade (Martini et al, 2006).

Métodos estatísticos foram desenvolvidos para superar o nível relativamente elevado de subjetividade relacionada ao método anterior, envolvendo a determinação estatística das combinações de variáveis que causaram os anteriores processos de instabilidade.

Estimativas quantitativas ou semi - quantitativas são então realizadas para áreas não afetadas por MGM , mas onde as mesmas condições existem. Diversas obras (Yin e Yan, 1988; Carrara et al., 1991; Carrara e Guzzetti, 1995) têm aplicado, ao mesmo tempo, métodos estatísticos simples e multivariada para avaliar a susceptibilidade com sucesso.

Abordagens mecânicas permitem a avaliação e análise do estado de estabilidade do talude utilizando métodos deterministas ( Fernandes et al, 2001).

Modelos de estabilidade do declive determinísticos têm sido utilizados com sucesso durante muitos anos para avaliar os perigos de movimentos a partir do fator de segurança (Fernandes e Amaral, 2003).

Todos os métodos apresentam vantagens e desvantagens quanto a fatores diversos, tais como: ausência histórica de dados sobre os eventos de MGM; viabilidade financeira para projetos detalhados; o tempo de projeto acerca da grande coleta de dados para suprir os modelados; a escala de pesquisa e objetivo da mesma; e dentre outros fatores que condicionam a metodologia necessária para a prevenção de MGM.

As metodologias de avaliação por especialistas (heurísticas), sofrem pela subjetividade na classificação dos fatores de predisposição (Martini et al, 2006), pois os critérios de pesagem das classes não podem ser replicados de forma sistêmica, o que não afirma, por sua vez, ausência de qualidade nos resultados obtidos.

Modelos determinísticos sustentam as bases de modelagens em leis físicas, envolvendo as propriedades físicas do solo num plano inclinado, gerando, em princípio, um grau elevado de confiabilidade, se não fosse pela complexidade de extrapolação espacial para escalas regionais.

A heterogeneidade do ambiente natural em escala regional e a grande variabilidade das propriedades geotécnicas presentes na área de estudo, demandaria grandes quantidades de dados a partir da coleta e investigação de solos para alimentar os modelos determinísticos. Seriam, necessárias para isso caracterizações geológico-geotécnicas mais detalhadas (Arhendt, 2005), as quais demandariam grande consumo de gastos e tempo, principalmente em função das investigações de campo necessárias para suprir a quantidade de dados exigida. Isso tornaria os métodos mecânicos inviáveis para uma escala regional de pesquisa.

Métodos estatísticos/probabilísticos tem sido uma fonte de pesquisas acadêmicas na prevenção aos desastres (Carrara, 1993; Zêrere, 2002; Guzzetti, 2005; Zêrere 2008; Garcia , 2012). O crescente acesso e disponibilidade de dados de qualidade e espacialmente georreferenciados; as possibilidades de manipulação de dados em ambiente virtual; o estabelecimento de pesagem classificatória por métodos quantitativos; e a validação do modelo por meio de avaliação da sua capacidade preditiva, consistem numa sólida avaliação da susceptibilidade.

Este trabalho centra na análise e validação da susceptibilidade através de métodos estatísticos/probabilísticos, promovidos pela cartografia indireta, buscando relações estatísticas entre os fatores de predisposição e a distribuição dos movimentos de massa (Garcia, 2012), possibilitando uma estimativa numérica da probabilidade de ocorrência dos eventos de MGM.

A escolha pelo método estatístico/probabilístico segue etapas similares independente do logaritmo aplicado ao modelo, primeiramente o levantamento cartográfico de eventos passados tem de ser particionada para validação, no caso de ausência na temporalidade do banco de dados de MGM, o particionamento aleatório tem de ser efetuado para garantir a possibilidade de validação do modelo (Fabri et al 2002; Chung e Fabbri, 2005).

Posteriormente deve ser feito o levantamento de dados dos fatores de predisposição, como identificação geológico-geomorfológica para efetuar a pesagem de contribuição para cada classe de cada fator, a avaliação da susceptibilidade é sustentada pelo método do Valor Informativo (Yin e Yan, 1988; Zêre et al, 2008). Finalmente, após a classificação do mapa de susceptibilidade em zonas de alta à baixa estabilidade é feita a validação do modelo através do cálculo da Área Abaixo da Curva (AAC) proposto por (Zêre et al., 2008; Garcia, 2012).

## 6.2 VALOR INFORMATIVO

Este é um método de origem estatística, consistindo numa simplificação a probabilidade bayesiana (Garcia, 2012), o método bayesiano é uma função logarítmica natural, combinando a distribuição espacial dos MGM (variável dependente), com cada uma das classes de cada fator de predisposição (variável independente), ponderando a importância com base na densidade média das instabilidades.

São duas etapas para se chegar à estimativa da susceptibilidade através do Valor Informativo (VI):

- i) Cálculo do peso de cada variável do fator de predisposição;
- ii) Estimar o VI para cada Unidade de Terreno (UT) do mapeamento da susceptibilidade, gerado pelo somatório dos VI de cada fator de predisposição.

A primeira etapa parte do cálculo da razão entre a probabilidade condicionada pela classe de um fator de predisposição  $X_i$  e a probabilidade em princípio, ou seja, a razão entre o número de pixels com MGM e o número de UT da área total amostrada.

Desta forma teremos:

$$I_i = \ln \frac{(S_i/N_i)}{(S/N)}$$

Onde:

$I_i$  - Valor Informativo da variável ( classe x fator de predisposição)

$S_i$  - n° de UT com deslizamentos do tipo  $B_i$  da classe do fator de predisposição  $X_i$ .

$N_i$  - n° de UT da área da variável  $X_i$

$S$  - n° de UT com MGM  $B_i$  na área amostrada

$N$  - n° de UT da área total amostrada

Este cálculo permite portanto, a avaliação entre a densidade média de MGM da área de estudo e a densidade de MGM existentes na classe selecionada, gerando assim uma interpretação quantitativa do posicionamento da variável em relação a densidade média.

A segunda etapa consiste na estimativa da susceptibilidade a partir da somatória dos VI para cada UT levando em conta os fatores de predisposição analisado, resultando na seguinte formula:

$$I_j = \sum_{i=1}^n X_{ji} \times I_i$$

Onde:

$I_j$  – Valor Informativo (VI) da Unidade de Terreno(UT);

$n$  – numero de variáveis;

$X_{ji}$  – ausência (0) ou presença (1) da variável na UT;

$I_i$  – VI da variável.

Desta forma os valores positivos do VI quantificam a capacidade de predição a MGM entre a classe analisada e a instabilidade, quanto maior a pontuação gerada, mais susceptível ela será à ocorrência de MGM.

Valores que tendem ao zero, indicam que a classe não tem relação alguma com as zonas de instabilidades, pois as densidades médias de MGM por UT são semelhantes as densidades da classe em questão.

Valores negativos de VI indicam zonas de segurança, ou estabilidades do terreno, quanto mais negativo o VI, menor a susceptibilidade da classe.

### 6.3 MODELO DE PREDIÇÃO

Os modelos de validação são hoje, uma etapa fundamental no mapeamento que envolva os riscos naturais, a validação permite estabelecer o grau de confiança do modelo construído (Beguiría, 2006).

A validação da susceptibilidade é a última etapa antes do layout final do mapeamento, considerado, atualmente um processo por muitos pesquisadores, como obrigatório para creditar rigor científico ao trabalho (Chung e Fabbri, 2003)

Considerando o objetivo central sobre a modelagem da natureza em ambiente computacional, onde o objetivo não é a simulação perfeita da natureza, mas sim de se obter um modelo razoável, conhecendo e mensurando as deficiências e limites preditivos do modelo.

Conforme Fabbri (2002), para gerar modelos de predição são assumidos que: (1) os dados espaciais estão disponíveis ou podem ser construídos para proverem informações suficientes que caracterizem as condições típicas de cada tipologia de MGM; e (2) que as condições que promoveram os eventos relacionados a cada tipologia de MGM do passado, serão os mesmos ou muito semelhantes aos condicionantes que irão promover os futuros MGM.

Na realidade, o único método 100% seguro e confiável para validação é o clássico “wait and see”, onde o próximo evento irá definir a qualidade do mapeamento. Como esta solução está distante longe de ser uma situação plausível de validação de modelos, o segredo da validação está no particionamento do Banco de Dados (BD) dos inventários de MGM (capítulo 5.1.1).

Para tanto é necessário separar uma parte do inventário para compor o modelo de validação, a partir dos movimentos que não foram incluídos na modelagem da susceptibilidade. Esta partição, conforme Gonçalves (2014), pode ser efetuada utilizando 3 distintos critérios de separação: (1) particionamento espacial – separando igualmente áreas que apresentem o mesmo contexto geomorfológico e de fatores de predisposição; (2) particionamento temporal – esta é a forma mais adequada de se validar um modelo, exigindo registro de dados de distintas temporalidades de cicatrizes dos movimentos pretéritos, sendo um gargalo no Brasil, onde os BD de antigos MGM estão completamente fragmentados em estudos e projetos individuais e/ou independentes, não existindo um órgão ou BD oficial em rede aberta para input de dados fabricados, dificultando assim esta possibilidade; e (3) particionamento aleatória – garantindo a separação dos movimentos de forma heterogênea e não organizada, que pode ser feito utilizando o Excel ou no próprio GIS.

No presente trabalho optou-se pela separação aleatória do inventário, separando em pares e ímpares de acordo com ID da cicatriz mapeada no próprio ArcMap, utilizando a seleção de atributos ID e posteriormente invertendo padrões e extraindo os dados selecionados para um novo shapefile.

Para avaliar a capacidade preditiva do modelo de susceptibilidade, optou-se por seguir a metodologia proposta por Chung e Fabbri (1999) e implantada por diversos autores ( Remondo et al., 2003b; Guzzetti et al., 2006; Berguería, 2006; Zêrere et al., 2008; Garcia, 2012), propondo relacionar a porcentagem da área de estudo, representada por ordem decrescente de susceptibilidade e a porcentagem de MGM justificada pela referida porcentagem de área. Este modelo permite, assim, identificar qual o tamanho da área de estudo necessária para ter como contribuinte x% dos MGM.

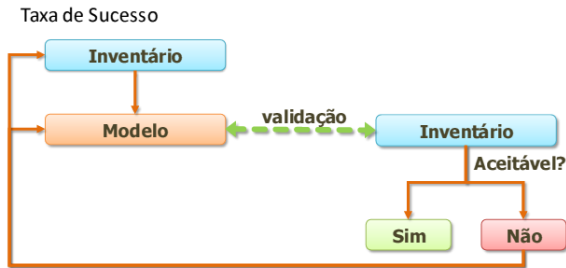
São elaborados dois tipos de interpretações a partir das diferentes partições de inventários: a taxa de sucesso que é uma curva resultante do cruzamento da susceptibilidade decrescente com a distribuição espacial dos MGM usados na produção do modelo susceptibilidade; e a taxa de predição que resulta do cruzamento do modelo de susceptibilidade decrescente com a distribuição espacial dos MGM não utilizados para a elaboração do modelo.

Quanto maior a declividade do início da curva melhor será a taxa de predição do modelo, pois representa de modo aproximado exponencial, a susceptibilidade decrescente da área de estudo.

A taxa de sucesso é utilizada para dimensionar a forma como o modelo se adaptou nas relações entre a variável dependente (MGM) e as distintas variáveis independentes (fatores de predisposição), não tendo qualquer relação preditiva, uma vez que todos os dados utilizados para validação já foram usados na modelação, representando, portanto, padrões viciados de validação (Figura 6-1).

A taxa de sucesso não foi empregada neste trabalho de dissertação .

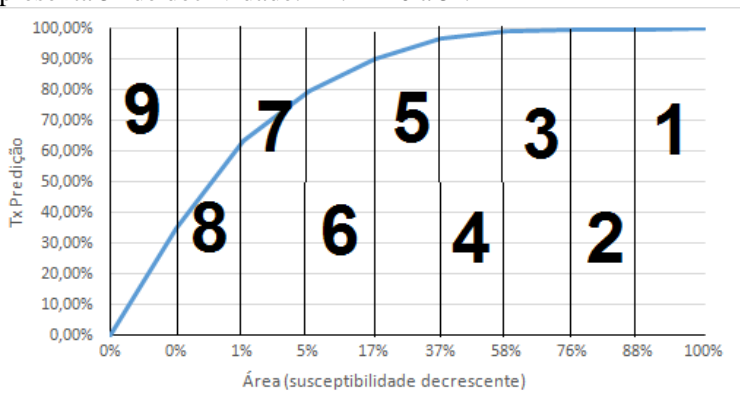
Figura 6-1 - Taxa de sucesso.



Fonte: Garcia 2012, p.196.

No caso do exemplo abaixo (Figura 6-2), trata-se da taxa de predição do fator de predisposição declividade da área de estudo (capítulo 5.2.1), onde o eixo x mostra a área total de estudo por ordem decrescente de susceptibilidade, e o eixo y a partição dos MGM separados do inventário geral MGM translacionais, representados pela porcentagem do total de MGM mapeados nesta partição (173 MGM no total). Sendo assim bastam 5% da área de estudo (classes 9,8 e 7) para justificarem 80% dos MGM translacionais, sendo, portanto, um fator de predisposição de excelente capacidade preditiva ao modelo.

Figura 6-2 - Taxa e curva de predição da declividade, cada classe representa 5° de declividade. Ex: 1 = 0 a 5°.



Fonte: Ribeiro, 2016.

O uso da taxa de predição é um recurso vital para a validação da susceptibilidade, bem como para qualquer mapeamento relativo ao gerenciamento do risco.

O procedimento matemático necessário para gerar as taxas de sucesso e predição é feita com recurso ao cálculo da Área Abaixo da Curva (AAC), criado por Swets (1988) e desenvolvido para os trabalhos de gerenciamento do risco por diversos pesquisadores ( Eeckhaut et al., 2006; Berguería, 2006; Garcia, 2007; Zêrere et al., 2008; Piedade et al., 2010,2011; Garcia, 2012; Gonçalves, 2014).

De acordo com Guzzetti et al., (2005), valores de AAC entre 0,75 - 0,80 indicam para um modelo aceitável, de AAC entre 0,80 e 0,90 definem como um modelo de susceptibilidade muito bom e valores de AAC > 0,90 representam modelos excelentes. A AAC varia numa escala de valores entre 0 e 1, portanto quanto mais próximo de 1 for o valor da AAC maior será a capacidade preditiva do modelo.

A equação do cálculo da AAC é dada pela seguinte formula:

$$AAC = \sum_{i=1}^n \left[ (LS_i - li_i) \times \frac{(a_i + b_i)}{2} \right]$$

Onde:

$LS_i$  - O Valor superior do intervalo ( Abscissas);

$li_i$  - O Valor inferior do intervalo ( Abscissas);

$a_i$  - O Valor da ordenada correspondente a  $li_i$ ;

$b_i$  - O Valor da ordenada correspondente a  $LS_i$ ;

$i$  - Número de intervalo de valor ou número da classe.

O Cálculo da Área Abaixo da Curva permite avaliar além da capacidade preditiva do modelo, uma avaliação hierarquizada dos fatores de predisposição (Garcia, 2012), quando aplicado individualmente em cada uma das variáveis independentes.

Como os valores do índice AAC apresentam uma amplitude de 0 a 1, a representação ideal dos extremos são, onde o 0 corresponde a incapacidade absoluta do modelo e 1 seria o modelo perfeito, predizendo 100% a realidade natural modelada.

Existem variações acordadas entre o padrão de qualidade dos modelos testados a partir do índice AAC, Garcia (2012) elaborou uma



tabela de índices de qualidade de AAC de acordo com as metodologias existentes (Figura 6-3)

Figura 6-3 - Classificação do índice AAC conforme a qualidade do modelo.

Classificação	AAC		
	Swets (1988)	Guzzetti (2005b)	Thiiler (2009)
Excelente ou extremamente satisfatório	> 0,9	> 0,9	> 0,9
Boa		0,8 - 0,9	0,8 - 0,9
Aceitável ou razoável	0,7 - 0,9	0,75 - 0,8	0,7 - 0,8
Fraca	0,5 - 0,7		0,6 - 0,7
Muito fraca			0,5 - 0,6



## 7 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E RESULTADOS OBTIDOS

Este capítulo foi designado para determinar a susceptibilidade de MGM do tipo translacional (Capítulo 5.1) e validar o modelo de predição.

Inicialmente foram selecionadas as variáveis com base nos seguintes argumentos:

(1) Escolha do método – O método escolhido constitui numa peneira de dados a serem coletados e construídos, diferentes métodos exigem diferentes dados e ferramentas de manipulação, a escolha do método estatístico em ambiente SIG provocou a busca pelos fatores de predisposição do presente trabalho.

(2) Literatura dos desastres – A partir da pesquisa na literatura existente sobre instabilidades de encosta e técnicas de prevenção, como por exemplo, no caso em que todos os estudos concluem o papel da inclinação da vertente como fundamental, o índice AAC deste trabalho também comprova o poder preditivo desta variável (Capítulo 5.2.1), adquirindo a primeira posição no lugar no ranking de predição. Outros índices foram também inseridos neste trabalho devido as diversas fontes de literaturas sobre susceptibilidade de MGM na região o Vale do Itajaí, alertando sobre a importância dos lineamentos geológicos e as formas de encostas como geradores de instabilidades dos movimentos.

(3) Compatibilidade e integração – Por fim, a escolha dos fatores de predisposição foram selecionados de acordo com a compatibilidade e poder de integração de dados no ambiente SIG do ArcGis.

Com a escolha do método e os fatores de predisposição a serem analisados, o primeiro processo computacional é a produção de uma análise sensitiva dos fatores de predisposição, a partir da padronização de todos os temas em um valor espacial semelhante, definindo a mesma Unidade de Terreno (5m ou 25m<sup>2</sup>). Análise que é aplicada a todos os layout finais do cruzamento entre variável dependente x variável independente, resultando em 1.917.893 de UTs para cobrir a totalidade da área de estudo.

Após os cálculos dos VI, cria-se uma hierarquia intra e extra fatores de predisposição gerada pelos valores do VI para cada classe dos fatores de predisposição (37 no total), bem como uma hierarquia entre os fatores de predisposição (6 no total) gerados através do índice AAC (Área Abaixo da Curva).

Para validação do modelo foi usado o sistema de particionamento aleatório dos MGM translacionais, ou seja, de um total de 352 cicatrizes de MGM foram escolhidas aleatoriamente 176 cicatrizes separadas em 2 partições, sendo uma delas utilizada exclusivamente para a construção do o modelo de suscetibilidade. Com as cicatrizes restantes foi elaborada a curva de validação para o modelo, mantendo 176 MGM translacionais para validação do produto final.

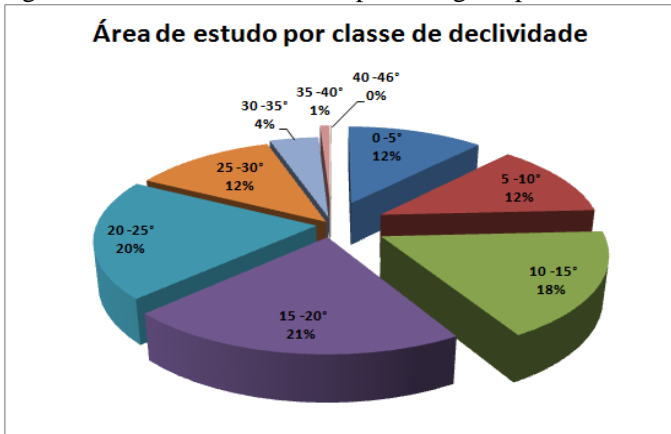
## 7.1 ANÁLISE DOS FATORES DE PREDISPOSIÇÃO PARA MAPEAMENTO DA SUSCEPTIBILIDADE

A análise dos fatores de predisposição para o mapeamento da suscetibilidade foi construída a partir do cruzamento da variável dependente com cada variável independente (classe isolada de cada fatores de predisposição). Foram cruzados, portanto, 37 arquivos matriciais correspondendo as classes dos fatores de predisposição com metade dos MGM translacionais mapeados. A extração da variável dependente foi efetuado a partir mapeamento das zonas de depleção (Capítulo 5.1.2) e posterior conversão para matriz.

### 7.1.1 Fator de predisposição declividade

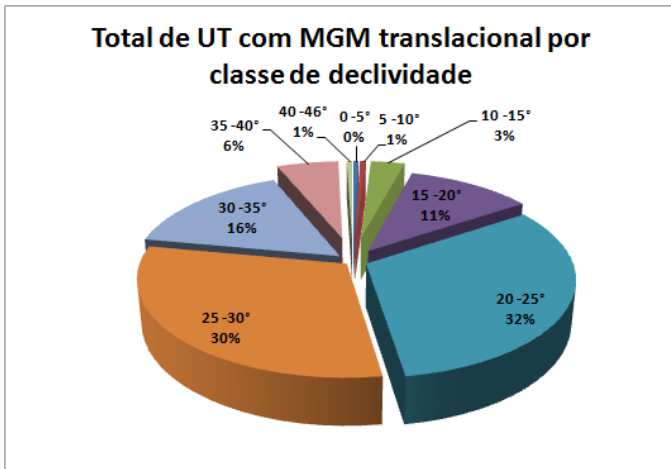
Para a análise sensitiva do VI da declividade, a mesma foi dividida em 9 classes (capítulo 5.2.1), áreas planas e suavemente onduladas correspondem a 24% do total da área de estudo (Figura 7-1) e apenas 1% do total de MGM translacionais correlacionados (Figura 7-2), enquanto que os terrenos montanhosos e fortemente montanhosos (<25°) correspondem a 17% da área de estudo, concentrando 53% dos MGM cruzados.

Figura 7-1 - Área de estudo em porcentagem, por classe de declividade.



Fonte: Ribeiro, 2016.

Figura 7-2 - Total de UT com MGM translacional em porcentagem, por classe de declividade.



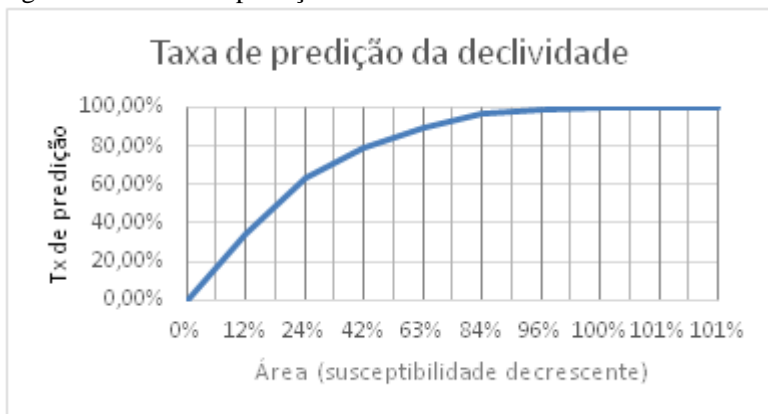
Fonte: Ribeiro, 2016.

A espacialização do relevo montanhoso é mais evidente na parte leste da área de estudo, os vales bem encaixados em zonas de cisalhamentos conferem formas escarpadas de alta declividade, concentrando também nestes lugares, as maiores densidades de movimentos translacionais mapeados.

Os terrenos planos e levemente ondulados estão espacializados no sentido Norte-Sul na faixa ocidental da área de estudo, esta área não está sujeita a susceptibilidade de MGM, porém a região em questão é fortemente susceptível a alagamentos em épocas de chuvas anômalas.

O índice AAC da declividade é de 0,682 (Figura 7-3), conferindo o maior índice dos fatores de predisposição, possuindo a primeira posição na hierarquia dos fatores de predisposição.

Figura 7-3 - Taxa de predição da declividade



Fonte: Ribeiro, 2016.

### 7.1.2 Fator de predisposição pedologia

Na análise dos solos, o índice AAC foi bastante satisfatório, posicionando o referido fator de predisposição em segundo lugar na hierarquia do mapeamento da susceptibilidade.

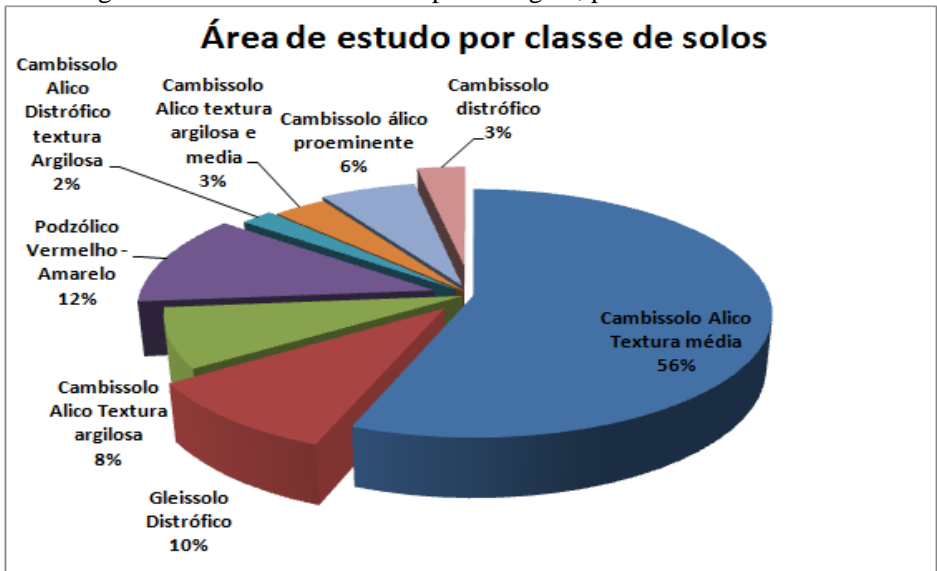
A taxa de predição confirmou a partir do grupo aleatório dos movimentos translacionais. Que as classes mais susceptíveis do modelado de susceptibilidade foram as mesmas da validação, resultando num índice relativamente alto para um fator de predisposição isolado.

Em relação a análise sensitiva, a classe que apresentou maior taxa de VI (0,48) na susceptibilidade foi do tipo cambissolo Ca102 na validação do fator de predisposição solos. Esta classe continuou em primeiro lugar no ranking dos VI, apresentando um índice do VI de 0,75.

O solo do tipo Ca63 ( Cambissolo álico Tb A moderado textura argilosa e muito argilosa + Podzólico Vermelho-Amarelo álico Tb A

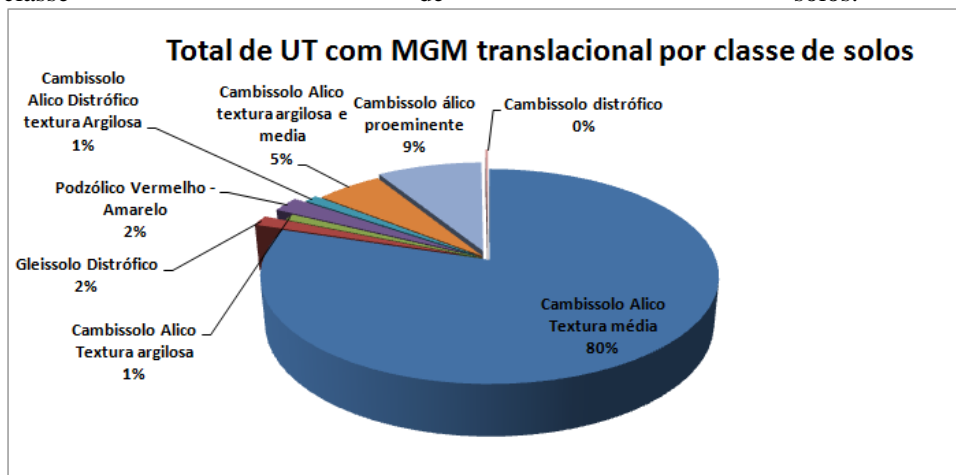
moderado textura média/argilosa e média/muito argilosa relevo montanhoso e forte ondulado) é o de maior predominância em área e que mais apresentou instabilidades de MGM na análise de susceptibilidade. Sua classe representa um total de 56% da área de estudo (Figura 7-4), concentrando 80% (Figura 7-5) dos movimentos translacionais, o VI desta classe para a susceptibilidade foi de 0,35, mantendo o exato número do VI para a validação do fator, indicando um forte poder preditivo para MGM translacionais.

Figura 7-4 - Área de estudo em porcentagem, por classe de solos.



Fonte: Ribeiro, 2016.

Figura 7-5 - Total de UT com MGM translacional em porcentagem, por classe de solos.

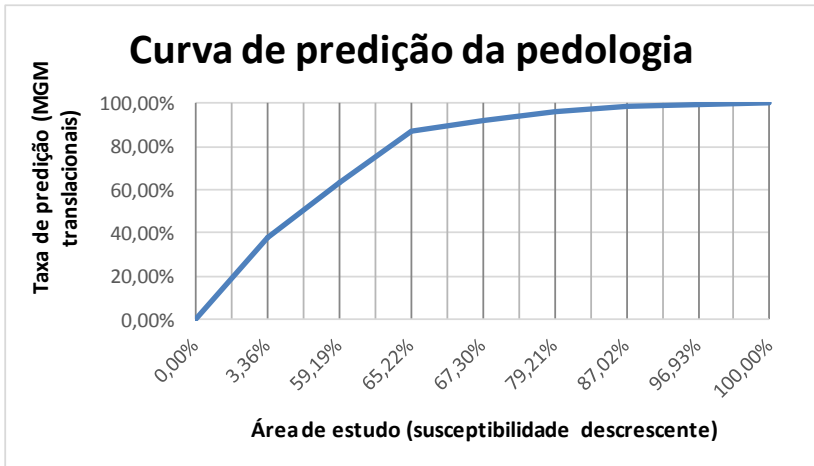


Fonte: Ribeiro, 2016.

A curva de predição (Figura 7-6) gerada para o fator de predisposição pedologia assinala boa previsão a movimentos translacionais, justificando 40% dos MGM translacionais em apenas 3,36% da área de estudo e 80% dos movimentos com aproximadamente 62% da área de estudo.



Figura 7-6 - Curva de predição da pedologia.



Fonte: Ribeiro, 2016.

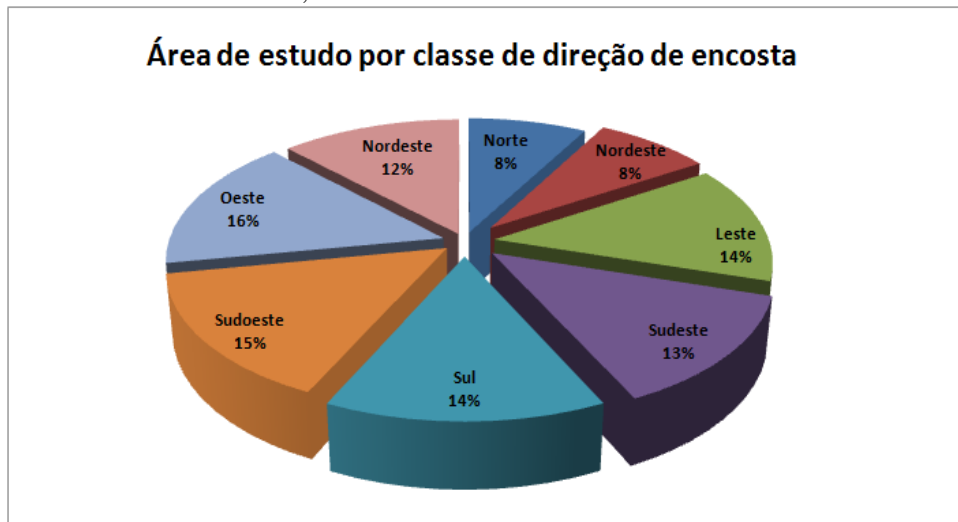
### 7.1.3 Fator de predisposição direção de encostas

Os resultados da análise do fator de predisposição direção de encostas permitiram avaliar uma diferença expressiva entre duas zonas, as encostas voltadas para o quadrante leste (Noroeste, Leste Sudoeste e Sul) apresentaram valores positivos na análise sensitiva de susceptibilidade, portanto com densidades de MGM translacionais superiores à média da área de estudo.

A face norte apresenta uma densidade em relação a face sul 7x menos movimentos translacionais, o que indica certamente uma maior propensão às instabilidades, sendo uma das possíveis causas, o de incidência solar, aumentando as instabilidades nas áreas de menor incidência solar e maior concentração de água e, por consequência, o intemperismo das orientações colaboram, possivelmente para formação mais robusta de solo.

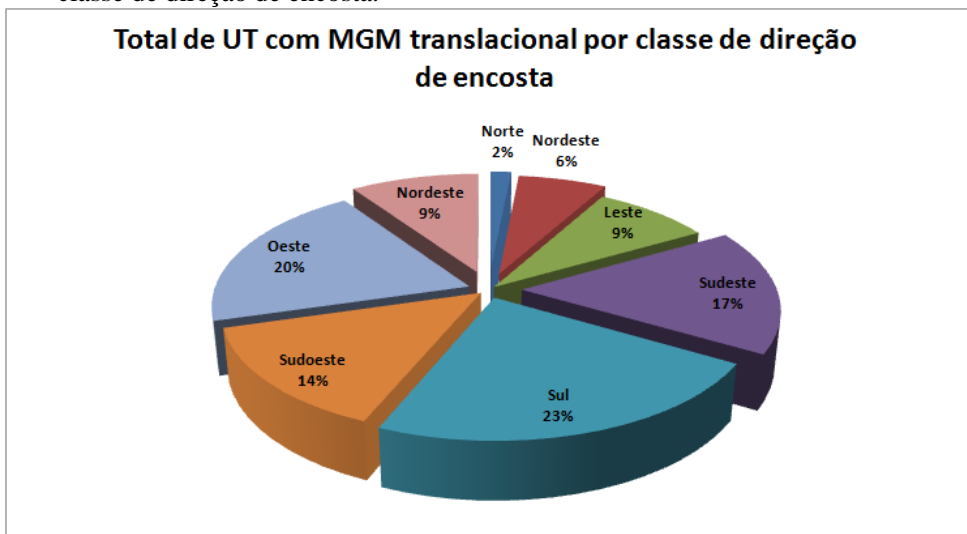
Na análise sensitiva da susceptibilidade, as proporções em termos de área são bastante igualitárias (Figura 7-7), o quadrante ocidental apresenta 51% do total, enquanto o quadrante leste 49%, no total de MGM translacionais (Figura 7-8) o quadrante Oeste apresentou 45% dos movimentos translacionais contra 55% do quadrante oriental.

Figura 7-7 - Área de estudo em porcentagem por classe de direção de encosta. Fonte: Ribeiro, 2016.



Fonte: Ribeiro, 2016.

Figura 7-8 - Total de UT com MGM translacional em porcentagem por classe de direção de encosta.

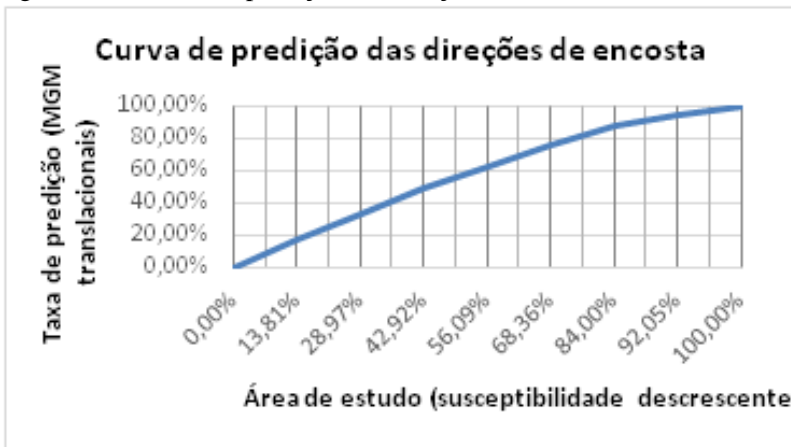


Fonte: Ribeiro, 2016.

Esta diferença não foi registrada no índice da AAC, mostrando indiferença preditiva para este fator de predisposição, acusando o meio do caminho da escala AAC (0–1), o índice de 0,505 indica que este fator de predisposição isoladamente não tem capacidade preditiva alguma.

Na curva de predição (Figura 7-9) o gráfico mostra que são necessários 75% da área de estudo para justificar 80% dos MGM translacionais.

Figura 7-9 - Curva de predição das direções de encosta



Fonte: Ribeiro, 2016.

#### 7.1.4 Fator de predisposição geomorfologia

O cruzamento do fator de predisposição Geomorfologia com a variável dependente (partição de MGM para susceptibilidade) mostrou índices interessantes de validação, ficando em apenas quarto lugar na hierarquização entre fatores de predisposição, atingindo um índice ACC de 0,494 pontos.

O baixo índice pode ser explicado pela incoerência preditiva dos dados analisados, entre BD análise de susceptibilidade e BD análise validação.

Na análise sensitiva da susceptibilidade, a classe linhas de falhas estavam em primeiro lugar na classificação hierárquica por meio dos VI, apresentando surpreendentemente um índice de 1,25, que foi na validação reduzido para -0,31, isso porque o número reduzido de UT desta classe ( 5091) continham na análise da susceptibilidade 45 UT

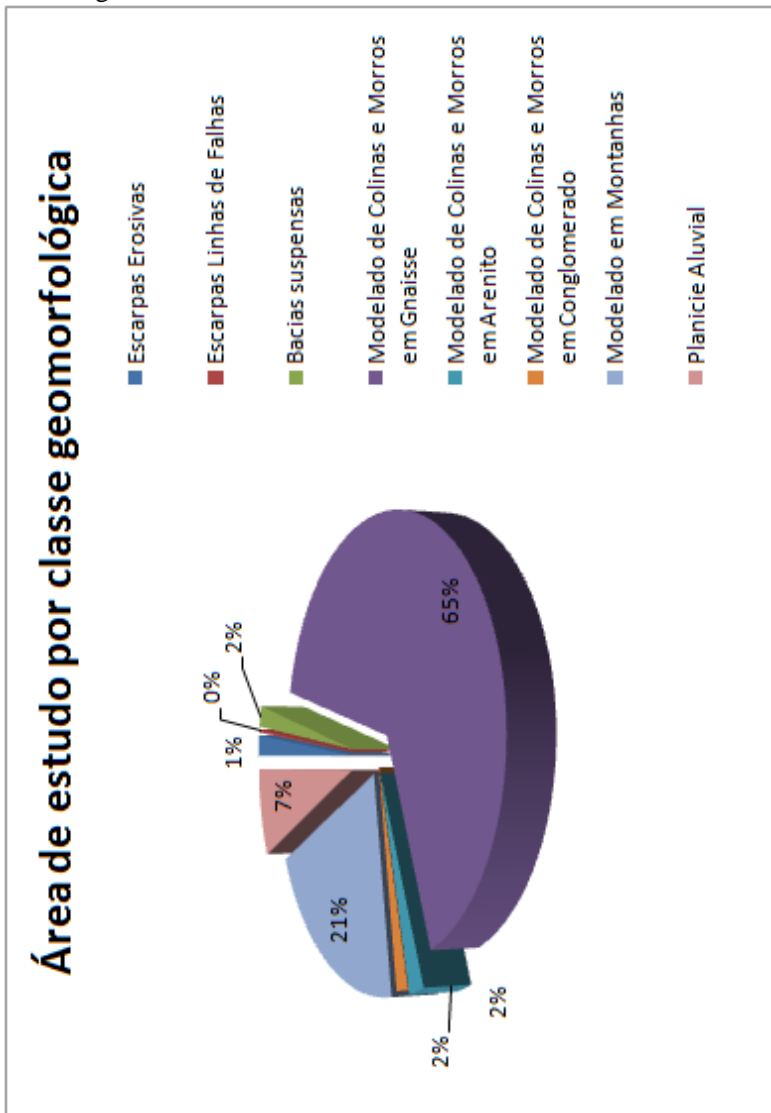
com MGM translacionais, o que na validação este número foi reduzido para apenas 9.

O segundo lugar no ranking da análise da susceptibilidade foi o modelado em arenito de dissecação de colinas e morros, apresentando um VI de 0,56, enquanto na validação este número reduziu para -0,31, devido as mesmas condições da classe linhas de falhas, poucas UT na classe ( 45070) e alta concentração de MGM translacionais na partição do inventário para análise da susceptibilidade e na partição da validação, este número reduziu bruscamente, de 200 UT, com movimentos translacionais registrado na sensitiva da susceptibilidade para apenas 90 UT registradas na validação.

O mapeamento da geomorfologia local foi adaptado do mapeamento de Tomazzoli et al. (2012) e do GERCO (2003), os detalhes estão contidos no capítulo 2.2. Foram extraídas 8 classes, a contar pelas: (1) escarpas erosivas; e as (2) escarpas em linha de falha; modelado de colinas e morros em (3) arenitos; (4) conglomerados; e (5) gnaisse; (6) modelado em montanhas; (7) bacias suspensas; e (8) planície fluvial.

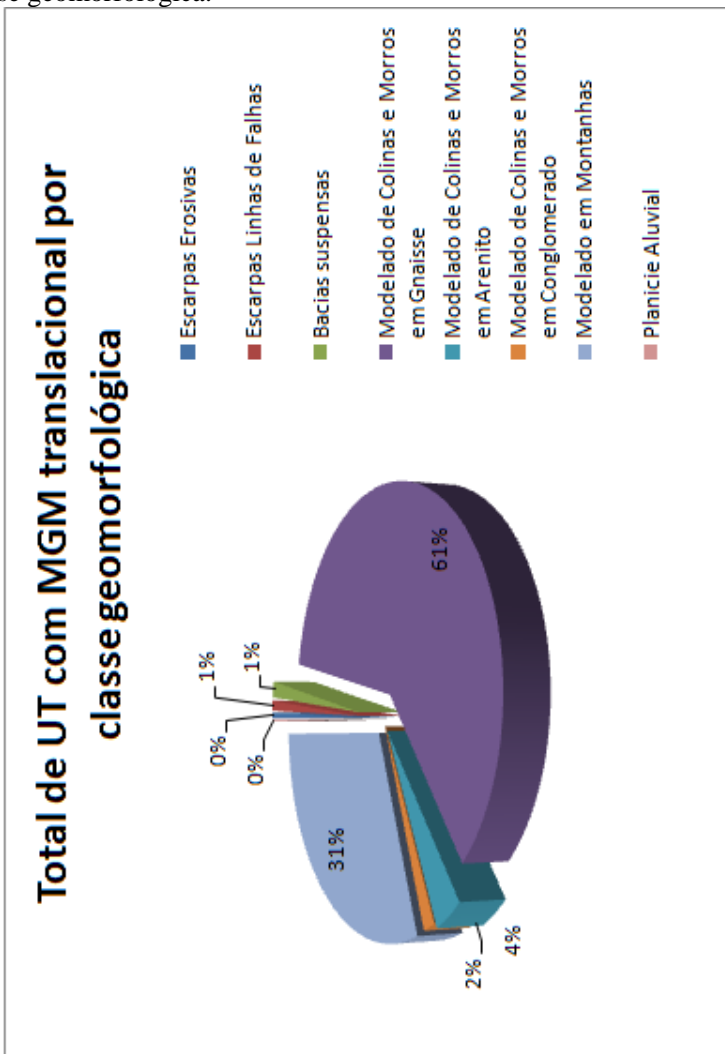
A distribuição espacial das classes (Figura 7-10 e Figura 7-11) geomorfológicas revelam a predominância dos modelados de dissecação, correspondendo a 93% da área total.

Figura 7-10 - Área de estudo em porcentagem por classe geomorfológica.



Fonte: Ribeiro, 2016.

Figura 7-11 - Total de UT com MGM translacional em porcentagem por classe geomorfológica.



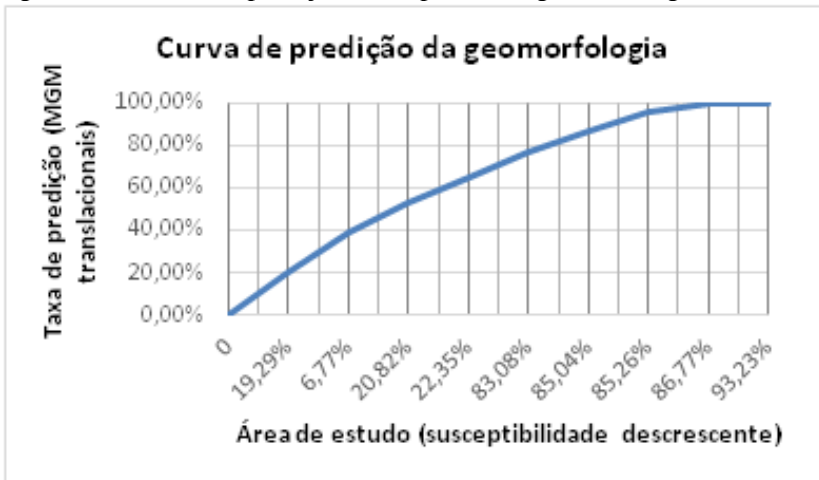
Fonte: Ribeiro, 2016.

A classe de maior área, o modelado de colinas e morros em Gnaisse apresenta um índice negativo de VI, indicando sua relação inversa com as zonas de instabilidades, por sua vez, a classe com o maior índice do VI foi conferida para as escarpas em linha de falha,

contendo um VI tão alto quanto as classes da declividade mais suscetíveis as instabilidade. Parte deste alto índice advém de sua reduzida proporcionalidade da área de estudo (0,26%) e a alta concentração de movimentos contidos nela, do total de 5091 UT da classe, foram registrados 45 UT com presença de MGM pretéritos, conferindo à referida classe, um índice do VI de 1,25. As demais exatidões referentes a hierarquia das classes estão contidas no capítulo 5.2.2.

O gráfico da taxa de predição (Figura 7-12) mostra uma taxa levemente satisfatória, justificando 50% dos MGM translacionais em 20% da área de estudo.

Figura 7-12 - Taxa de predição do mapeamento geomorfológicos.



Fonte: Ribeiro, 2016.

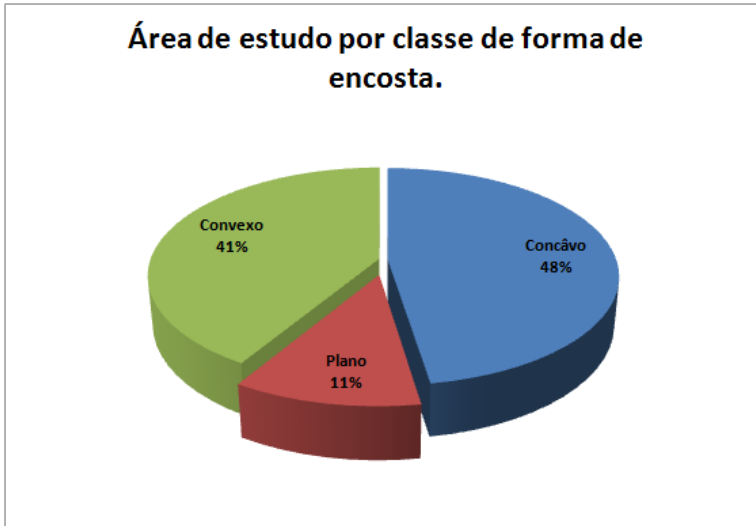
### 7.1.5 Fator de predisposição formas de encosta

O fator de predisposição formas de encosta não conseguiu atingir níveis de predição satisfatórios, uma vez que os índices AAC são gerados a partir das amplitudes das ordenadas e abscissas (capítulo 6.3), e a indicação é que: quanto menor são as quantidades de classes para uma variável independente analisada, menor será o valor do resultado do índice AAC.

A análise dos dados permitiu observar que as formas côncavas do relevo apresentam uma densidade superior de MGM translacionais em relação

as demais, do total de 48% das áreas correspondentes as formas côncavas (Figura 7-13), estão inseridos 60% dos MGM translacionais particionados para o mapeamento da susceptibilidade (Figura 7-14), creditando um VI de 0,237 à referida classe.

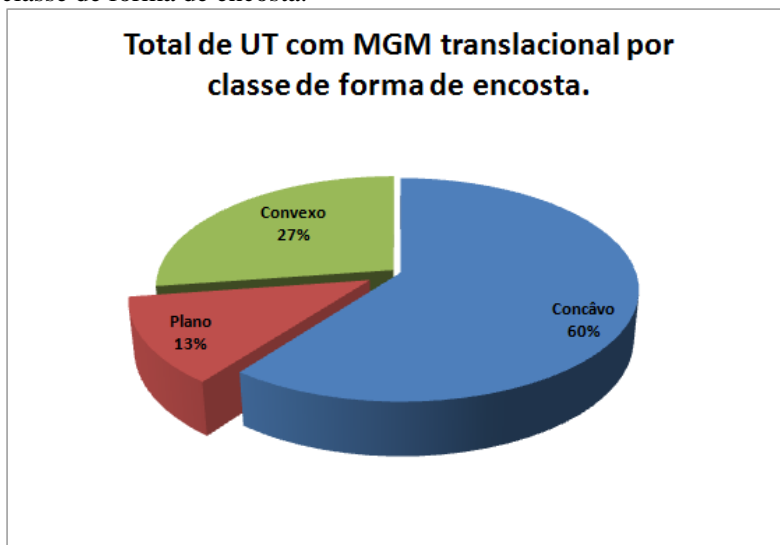
Figura 7-13 - Área de estudo em porcentagem por classe de forma de encosta.



Fonte: Ribeiro, 2016.



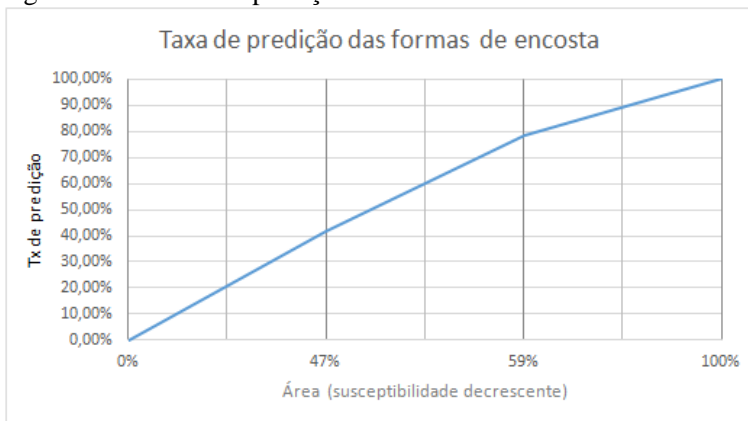
Figura 7-14 - Total de UT com MGM translacional em porcentagem por classe de forma de encosta.



Fonte: Ribeiro, 2016.

A leitura do gráfico de predição gerado (Figura 7-15) para o fator de predisposição formas de encosta, demonstra que são necessário 59% da área de estudo para preverem 80% dos MGM translacionais testados no modelo, sendo que considero, baixo fator de predisposição para predição de movimentos translacionais, porém, com o uso das técnicas de somatório aplicada aos modelos estatísticos, com seus devidos poderes de colaboração as instabilidades de MGM translacionais pesados e classificados, as formas côncavas colaboram em sua parte aumentando um pouco o fator instabilidade das UTs que somam esta classe.

Figura 7-15 - Taxa de predição das formas de encosta.



Fonte: Ribeiro, 2016.

## 7.2 VALORES INFORMATIVOS DAS CLASSES DOS FATORES DE PREDISPOSIÇÃO

Os VIs foram obtidos através da análise sensível por meio de análise estatística (Capítulo 6.2), estes valores possibilitam a geração de uma hierarquia entre fatores de predisposição, gerando os pesos que foram introduzidos no processo de reclassificação dos fatores de predisposição. O VI também pode ser usado qualitativamente para avaliar o grau de erro das classes entre a análise sensível da susceptibilidade e da validação. Podendo assim medir quantitativamente, mesmo que utilizado somente para análises empíricas do quanto aleatório é uma classe do fator de predisposição, em relação ao seu “clone” de validação.

A tabela abaixo (Tabela 4) mostra os Valores Informativos gerados na análise da susceptibilidade e na validação, propondo quantitativamente o valor da “sorte” entre a aleatoriedade espacial dos MGM translacionais e a real capacidade preditiva.

Tabela 4 Valores Informativos das Classes na análise da suscetibilidade na validação.

Total	Cod Ref. BD	Classes	Fator de predisposição	N° de Unidades Terreno	VI Susceptibilidade	VI Validação
1	DEC_C1	DEC_C1 0 -5°	DECLIVE	227467	-3,220191934	-6,309883061
2	DEC_C2	DEC_C2 5 -10°	DECLIVE	236555	-3,09902485	-4,269617086
3	DEC_C3	DEC_C3 10 -15°	DECLIVE	335966	-1,71525302	-0,731180293
4	DEC_C4	DEC_C4 15 -20°	DECLIVE	406730	-0,610681079	-0,34280836
5	DEC_C5	DEC_C5 20 -25°	DECLIVE	382649	0,474074608	0,208787533
6	DEC_C6	DEC_C6 25 -30°	DECLIVE	232774	0,921048364	0,865237663
7	DEC_C7	DEC_C7 30 -35°	DECLIVE	79900	1,33952772	1,475682886
8	DEC_C8	DEC_C8 35 -40°	DECLIVE	15852	1,935644461	1,266481322
9	DEC_C9	DEC_C9 40 -46°	DECLIVE	1139	2,119222169	1,066412969
10	Morf_C1	Escarpas Erosivas	Geomorfologia	34815	-1,300675475	-1,065630387
11	Morf_C2	Escarpas Linhas de Fal	Geomorfologia	5091	1,250507238	-0,313127586
12	Morf_C3	Bacias suspensas	Geomorfologia	35308	-0,230110667	-0,004336199
13	Morf_C4	Modelado de Colinas	Geomorfologia	1398521	-0,109103605	-0,037179628
14	Morf_C5	Modelado de Colinas	Geomorfologia	45070	0,561419553	-0,191285055
15	Morf_C6	Modelado de Colinas	Geomorfologia	35310	-0,026939069	0,158126088
16	Morf_C7	Modelado em Montar	Geomorfologia	444153	0,360380848	0,494590122
17	Morf_C8	Planície Aluvial	Geomorfologia	148654	-3,627717342	-5,884499346
18	Curv_C1	Concâvo	F. de encosta	909100	0,237860294	-0,025837737
19	Curv_C2	Plano	F. de encosta	214200	0,10466631	-0,039187969
20	Curv_C3	Convexo	F. de encosta	790800	-0,414068904	0,039966938
21	Ca63	Cambissolo Alico Text	Pedologia	1068902	0,357683145	0,358282291
22	Gd2	Gleissolo Distrófico	Pedologia	189853	-1,884471625	-3,133395703
23	Ca62	Cambissolo Alico Text	Pedologia	149494	-2,085789634	-1,779260283
24	PVLa1	Podzólico Vermelho -	Pedologia	228007	-1,657576942	-1,460223955
25	Ca104	Cambissolo Alico Distr	Pedologia	39845	-0,643385991	-1,309778277
26	Ca102	Cambissolo Alico text	Pedologia	64402	0,48590416	0,757112392
27	Ca30	Cambissolo álico proe	Pedologia	115602	0,361420477	0,266866208
28	Cd4	Cambissolo distrófico	Pedologia	58689	-2,6983482	-4,955130204
29	Line_5m	Lineamentos geológico	Lineamentos	156000	0,336821017	0,433736552
30	Dir_N	Norte	Dir. da encosta	154200	-1,649443325	-0,695381676
31	Dir_NO	Nordeste	Dir. da encosta	152100	-0,194317403	-0,789422275
32	Dir_L	Leste	Dir. da encosta	264400	-0,470662653	0,268287617
33	Dir_SE	Sudeste	Dir. da encosta	252100	0,237292106	0,036185671
34	Dir_SE	Sul	Dir. da encosta	266900	0,495658954	0,14631324
35	Dir_SO	Sudoeste	Dir. da encosta	290200	-0,069832479	0,181143431
36	Dir_O	Oeste	Dir. da encosta	299300	0,24613722	-0,093600769
37	Dir_NO	Nordeste	Dir. da encosta	234900	-0,252275978	-0,01053593

### 7.3 TAXA DE PREDIÇÃO E HIERARQUIA DOS FATORES DE PREDISPOSIÇÃO

A validação do mapeamento de susceptibilidade pela proposta efetuada neste trabalho (Capítulo 6.3), permite a hierarquização dos fatores de predisposição a partir dos índices de AAC gerados individualmente.

Para efetuar o cálculo da AAC para cada fator de predisposição é necessário, primeiramente, gerar arquivos matriciais individuais de cada classe, obtendo uma área espacial total idêntica as demais classes e de mesmo dimensionamento espacial da UT (5m).

O resultado dos arquivos matriciais é uma tabela contendo pixels nos valores zero (0) e um (1), onde o valor 0 representa a ausência da classe na área de estudo, e o valor 1 sua presença.

Em seguida para cada arquivo matricial binário (variável independente) é feito o cálculo de multiplicação com a variável dependente. A variável dependente é por sua vez, composta por um arquivo tipo raster de valor binário onde, zero (0) representa todas as áreas que não sofreram instabilidades por movimento translacional e (1) representa todas as zonas de depleção mapeadas para a modelação da validade.

O resultado foi obtido a partir da geração de um novo arquivo raster binário, o valor um (1) corresponde a uma UT que foi afetado por MGM translacionais e o valor zero (0) todas as áreas da classe que não sofreram instabilidades.

A partir da contagem de cada célula (UT) dos arquivos produzidos tem-se disponíveis os seguintes dados:

- a) Número de UT total da área de estudo, correspondendo a 1.914.926 células;
- b) Número de UT total com presença de movimentos translacionais (zonas de depleção);
- c) Número de UT de cada classe; e
- d) Número de UT de cada classe que foram afetadas por MGM.

Com estes dados é possível gerar valores de populações estatísticas e suas densidades, a partir da relação entre média de movimentos total pela média de movimentos da classe. Estes são os elementos necessários para a validação da susceptibilidade por meio do índice da AAC, os valores têm de ser expressos de forma acumulada, posicionados de acordo com VI maior para o menor, ou seja, da classe

representando a maior densidade de MGM para a de menor densidade (Figura 7-16).

Figura 7-16 Tabulação dos dados no Excel para extração dos valores da AAC e os gráficos de predição.

Total	Classes	Fator de	Numero de UT	Numero de UT	Valor Informativo	Densidade Média	Densidade total	Densidade Acum.	% Area Total \ UT	Acum.Ar ea Total \
								0,00%		0,00%
7	DEC_C7	DECLIVE	79900	845	1,475682886	0,01057572	27,96%	27,96%	0,041636	4,16%
8	DEC_C8	DECLIVE	15852	136	1,266481322	0,00857936	22,68%	50,65%	0,00826	4,99%
9	DEC_C9	DECLIVE	1139	8	1,066412969	0,00702371	18,57%	69,22%	0,000594	5,05%
6	DEC_C6	DECLIVE	232774	1337	0,865237663	0,00574377	15,19%	84,41%	0,121298	17,18%
5	DEC_C5	DECLIVE	382649	1140	0,208787533	0,00297923	7,88%	92,28%	0,199397	37,12%
4	DEC_C4	DECLIVE	406730	698	-0,34280836	0,00171613	4,54%	96,82%	0,211945	58,31%
3	DEC_C3	DECLIVE	335966	391	-0,73118029	0,00116381	3,08%	99,90%	0,175071	75,82%
2	DEC_C2	DECLIVE	236555	8	-4,26961709	3,3819E-05	0,09%	99,99%	0,123268	88,15%
1	DEC_C1	DECLIVE	227467	1	-6,30988306	4,3962E-06	0,01%	100,00%	0,118532	100,00%

Fonte: Ribeiro, 2016.

Portanto, conforme análise dos dados a partir do cálculo da AAC, a hierarquia dos fatores de predisposição ( Tabela 5) foram predisposta desta forma:

Tabela 5 Hierarquia dos fatores de predisposição a partir do índice AAC.

Fator de predisposição	Índice AAC	Hierarquia
Declividade	0,6821776	1
Pedologia	0,6674668	2
Direção de encosta	0,5055366	3
Geomorfologia	0,4939872	4
Formas de encosta	0,3960173	5

Fonte: Ribeiro, 2016.

## 7.4 CONSTRUÇÃO DO MAPA DE SUSCEPTIBILIDADE E VALIDAÇÃO DO MODELO.

A produção do mapa de susceptibilidade foi iniciada pela separação em arquivos independentes de todas as classes que compõem o cenário das variáveis independentes, padronizando a dimensão espacial da área de estudo total para todas as classes, bem como a resolução espacial de 5m (UT).

Foi gerada outra etapa paralela a esta pela separação dos MGM, de acordo com suas tipologias e em seguida refeita o particionamento, pelo método da separação aleatória (capítulo 5.1.1).

O recurso para gerar o modelo de susceptibilidade foi obtido pela “álgebra de mapas”, utilizando recursos básicos operatórios de soma e multiplicação.

O primeiro cálculo efetuado dentro do algoritmo “álgebras de mapa”, ferramenta do software Arcgis, foi a operação de multiplicação, resultando em um raster binário contendo os números de UT afetados por MGM translacionais.

$$N' = V_D \times Vi'$$

Onde,

$N'$  - Número de UT afetado por movimento translacional da classe  $i'$  ;

$V_D$ - variável dependente (movimentos translacionais);

$Vi'$ - correspondem a classe  $i'$  dos fatores de predisposição.

Após os cálculos do VI das classes foi feito primeiramente, a reclassificação dos mesmos utilizando os valores obtidos pelo VI correspondentes, assim teremos:

$$R = N' \times VI_{n'}$$

Onde,

$R$  – Reclassificação de cada classe  $N'$

$VI_{n'}$  - Valor Informativo da classe  $N'$

Com as classes de cada fator de predisposição ponderado com os valores informativos, foi efetuado a união das classes em um único arquivo por fator de predisposição, e assim uma nova reclassificação dos fatores de predisposição a partir dos valores do AAC, resultando na

seguinte

equação:

$$R' = \sum R \times AACr$$

Onde,

R' – Reclassificação do fator de predisposição de R;

AACr – Valor do AAC do fator de predisposição

Após a reclassificação dos fatores de predisposição pela ponderação dos valores da AAC, foi realizado dentro do módulo mapa de álgebras, a operação logarítmica de somatória, incluindo todos os fatores de predisposição reclassificados.

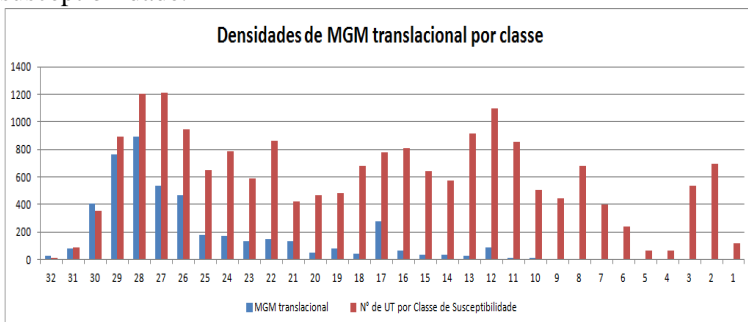
$$S = \sum R'$$

O resultado deste cálculo é o produto final do mapeamento da susceptibilidade, contendo valores absolutos entre -791,02 a 235,25. A partir deste arquivo tipo matricial contínuo, foram feitos os testes de validação, buscando efetuar a melhor classificação final a partir dos índices de AAC e taxa de predição.

Foram testados mapas finais com 4, 5, 6, 8, 32 (Figura 7-17) e 255 classes, buscando a melhor eficiência preditiva possível.

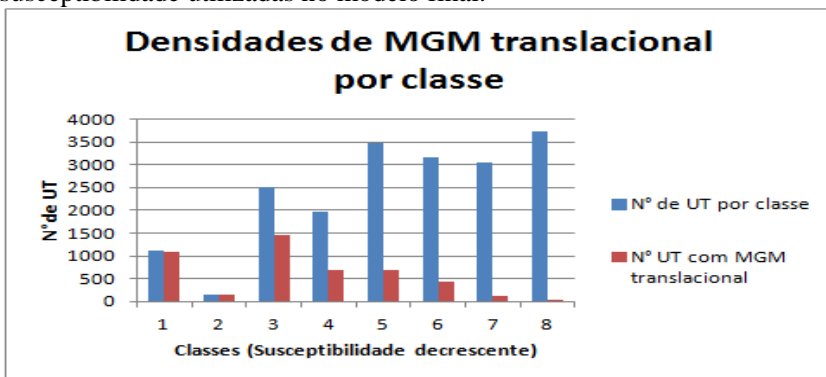
Uma forma de garantir um elevado índice de AAC é buscando a compactação do maior número possível de movimentos translacionais na menor área possível. A partir da leitura das frequências entre a área da classe por movimento translacional registrados na validação, foi possível achar a melhor combinação de classes para validação do modelo proposto (Figura 7-18).

Figura 7-17 Densidade de MGM translacional por classe de susceptibilidade.



Fonte: Ribeiro, 2016.

Figura 7-18 Densidades de MGM translacional para as classes de susceptibilidade utilizadas no modelo final.

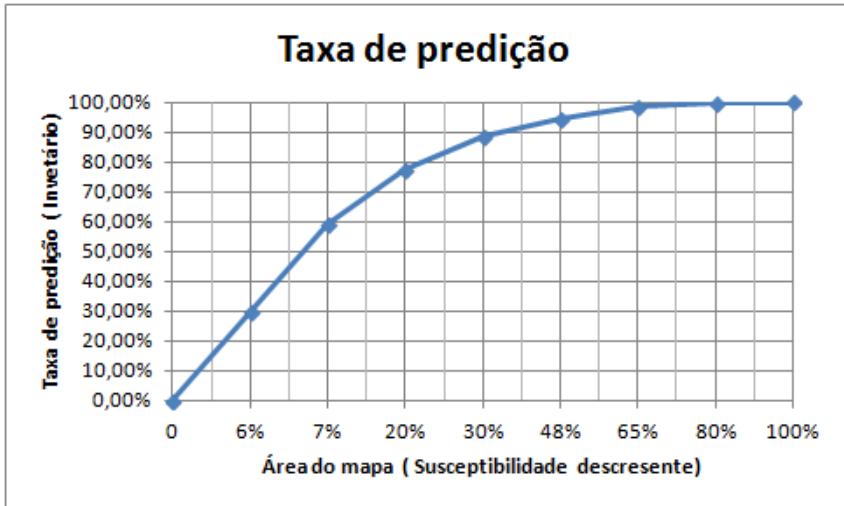


Fonte: Ribeiro, 2016.

Os resultados obtidos variaram para cada tipo de cálculo. O melhor resultado alcançado na geração do gráfico de predição foi a partir da classificação do mapeamento da susceptibilidade em 8 classes (Figura 7-19). Onde obteve-se uma taxa de predição de 80% para os primeiros 20% da área de estudo, mostrando uma melhor capacidade preditiva do que por exemplo o uso de 32 classes (Figura 7-20), onde com os mesmos 20% da área de estudo, a capacidade preditiva cai para 64%.

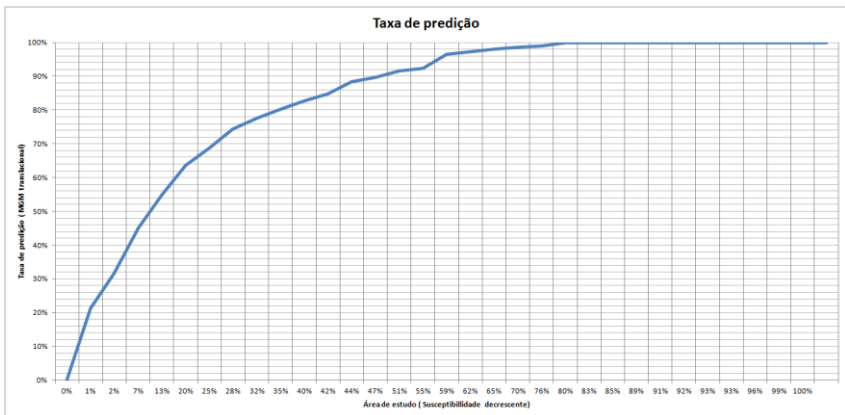


Figura 7-19 taxa de predição do mapeamento da susceptibilidade com 8 classes.



Fonte: Ribeiro, 2016.

Figura 7-20 taxa de predição do mapeamento da susceptibilidade com 32 classes.



Fonte: Ribeiro, 2016.

Em relação ao cálculo da AAC, o melhor resultado alcançado foi a partir do particionamento do mapa em 4 classes (Tabela 6), resultando num valor de 0,820 para o cálculo da AAC, sendo este valor

considerado de qualidade boa de acordo com todos os padrões de qualidade propostos (Capítulo 6.3).

Tabela 6 Cálculo da Área Abaixo da Curva para a susceptibilidade à MGM translacional.

Classes	N° de UT	N° de UT com MGM Trans.	Densidade Média	% Densidade Média	% Densidade Média	% Área Estudo por classe	% Acumulada por classe
					0		0
4	221896	3193	0,014389624	85,63%	86%	12%	12%
3	625654	1185	0,001894018	11,27%	97%	33%	44%
2	483627	249	0,000514860	3,06%	100%	25%	70%
1	573794	3	0,000005228	0,03%	100%	30%	100%
<b>Soma</b>	1904971	4630	0,016803730	100,00%		100%	
			<b>AAC</b>	<b>0,82005217</b>			

Fonte: Ribeiro, 2016.

Para exportação do mapa, com vistas a facilitar a visualização e aumentar o poder cognitivo do usuário, propôs-se para este trabalho a classificação em 8 classes, separadas entre 4 índices indicativos para quantificar a susceptibilidade, definida a partir de Muito Baixo ( -791,02 até - 100 ), Médio ( -100 até 0 ), Alto (0 até 100) e Muito Alto (100 até 235).

Abaixo é apresentado o mapeamento de susceptibilidade à MGM translacional (Mapa 4).





## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo geral elaborar um mapa de susceptibilidade por método estatístico\probabilístico, vinculado aos dados gerados pelo projeto Morro do Baú, utilizando a nova base cartográfica da Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável (SDS).

Os dados produzidos pelo Projeto Morro do Baú N° 209/2009, convênio N°16319/2010-8 – FAPEU – intitulado Análise e Mapeamento das Áreas de Risco a Movimentos de Massa e Inundações nos Municípios de Gaspar, Ilhota e Luiz Alves (Complexo do Morro do Baú), SC – FAPESC, foram de imensa importância para a realização do atual trabalho, mostrando ser um forte gerador de dados mais detalhados para a inclusão destes no mapeamento da susceptibilidade.

A nova base cartográfica da SDS possibilitou gerar a atual escala de trabalho do mapeamento. Se não fosse pela produção desta nova base com a produção do modelo digital de elevação (MDE) de resolução espacial de 1m, certamente os resultados seriam muito menos detalhados, pois com a sua base predecessora tinha-se somente à disposição MDE com qualidade máxima de 10m, gerados a partir de curvas de níveis de múltiplas fontes, sendo a zona urbana mapeada com curvas de nível 1:10.000 e as zonas rurais 1:50.000 resultando num MDE de diferentes resoluções espaciais.

Embora essa nova base cartográfica não esteja isenta de erros, onde 0,2% da área do MDE necessitou ser retificada (capítulo 5) para a geração direta dos fatores de predisposição declividade, formas de encostas e orientação de encosta. Secundariamente o MDE da SDS também serviu de modelação de vários parâmetros hidrológicos para a compreensão dos fenômenos de MGM, partindo-se da leitura heurística mas não introduzida ao modelo final, devidos a alguns óbices como a pouca ou nenhuma disposição de sólidas referências sobre o uso dos parâmetros de hidrologicos computacionais em coexistência com os parâmetros geomorfológicos.

Os fatores hidrológicos gerados a partir do MDE de alta resolução podem vir a servir de grande utilidade para o refinamento do modelado em mapas de susceptibilidade e outros inseridos na gestão do risco, como por exemplo, os parâmetros de escoamento preferencial e acumulação de fluxos.

A análise estatística\probabilística usada neste trabalho obteve índices satisfatórios de validação, o uso deste tipo de método tem grandes vantagens por controlar a influência que as variáveis

independentes exercem sobre os MGM, através da análise sensitiva do Valor Informativo (VI), que leva em consideração a densidade dos MGM da área de estudo e a densidade de MGM de cada classe dos fatores de predisposição, gerando assim um índice indicador de quanto cada classe soma para o total de MGM mapeados.

A hierarquização dos fatores de predisposição promovida de acordo com o índice AAC, revelou ser de grande utilidade, pois além de gerar um índice de predição sob cada fator, este método anula a inserção de análise subjetiva por “expert”, denominada de abordagem heurística, conferindo ao modelo a possibilidade reprodutiva do mapeamento, sem que seja necessária uma avaliação por expert, sobre os pesos que os fatores de predisposição possuem para a ocorrência de um evento de MGM de uma determinada tipologia.

Por fim, são apresentadas considerações sobre cada objetivo específico deste trabalho.

a) Analisar os Movimentos Gravitacionais de Massa (MGM) e seus fatores condicionantes;

A revisão bibliográfica dos MGM permitiu visualizar que existem diversas abordagens a respeito deste objeto de estudo, mostrando a sua transdisciplinaridade nas ciências naturais.

O método é a chave da procura, pois as abordagens a respeito dos fenômenos de movimentos de massa são múltiplas, exigindo focar as lentes do pesquisador para o objetivo de seu trabalho. Neste caso a busca por conhecimento nesta área, permeou pelos agentes condicionantes que possam ser analisados dentro do ambiente de sistemas de informações geográficas, utilizando a metodologia estatística como gerador das análises.

Portanto a busca por fatores condicionantes esteve centrada, principalmente, no Modelo Digital do Terreno, extraindo dados geomorfológicos e em menor escalada hidrológicos para confecção do modelado, os dados produzidos pelo Projeto Morro do Baú colaboraram para inclusão de fatores geológicos e geomorfológicos na área de estudo, bem como o mapeamento do GERCO foi fundamental para extração das tipologias dos solos.

b) Identificar e cartografar os MGM e seus fatores condicionantes;

A partir do novo banco de dados geoespaciais do estado de Santa Catarina, houve um enorme avanço no poder de leitura e compreensão

do espaço usado, as imagens áreas com resolução espacial de 0,39cm permitiram um mapeamento detalhado do evento de 2008, pois os voos de aerolevante do projeto citado, foram iniciados no ano seguinte.

Anteriormente a este novo banco de dados, a disponibilidade de imagens áreas para mapeamento das cicatrizes de MGM estava restrita as imagens de satélite CBERS, com resolução espacial na banda pancromática de 2,5m e o ALOS com 10m nas bandas multiespectrais e secundariamente, imagens LANDSAT com resolução espacial de 30m nas bandas multiespectrais.

A revolução que estas imagens são capazes de promover no campo das ciências naturais serão certamente surpreendentes. Trabalhos que utilizam dados de alta definição para modelação de eventos futuros, tendem a ser mais confiáveis, este é um trabalho de certa forma pioneiro para estes dados, sendo, portanto apenas um começo dos resultados capazes de produzir a partir destes novos dados geoespaciais.

c) Analisar o método de análise e validação da susceptibilidade;

A avaliação por meio de análise sensitiva e o particionamento do inventário de movimentos de massa, permitiram a validação do modelo através do cálculo da Área Abaixo da Curva.

A análise sensitiva pelo método do Valor Informativo permitiu a elucidação de alguns parâmetros que, heurísticamente seriam incapazes de produzir.

Este é um método de origem estatística, consiste numa simplificação a probabilidade bayesiana, o método é uma função logarítmica natural, combinando a distribuição espacial dos MGM

Os VI dos fatores de predisposição permitem a quantificação das interferências dos mesmos, nos movimentos de massa cartografados, para tanto, o tipo de mapeamento das cicatrizes mapeadas vão influenciar diretamente no resultado da susceptibilidade.

Portanto, tanto o método de análise, quanto o tipo de forma de mapeamento são fundamentais para confecção de um mapa de susceptibilidade de qualidade.

O cálculo do VI gera a avaliação entre a densidade média de MGM da área de estudo e a densidade de MGM existentes na classe selecionada, gerando assim uma interpretação quantitativa do posicionamento da variável em relação a densidade média.

A opção do VI mediante os diversos outros métodos estatísticos foi tomada devido a facilidade na interpretação dos valores, que não geram um valor definido entre 0 e 1, porem mostram a relação de

favorabilidade ou não, e as instabilidades das UT. Através dos valores negativos dos VI, geram-se as áreas de estabilidades, tão importante quanto a delimitação das zonas de instabilidades.

O particionamento do inventário das cicatrizes de movimentos de massa translacional em duas partes permitiu a validação do modelo, a partir da geração da taxa de predição, mostrando quantitativamente a relação entre “futuros” movimentos de massa e a área afetada, a partir das zonas mais susceptíveis. Quanto mais íngreme o início da curva, melhor será a taxa de predição.

d) Produzir e validar um modelo de susceptibilidade a partir de uma análise não heurístico.

O mapa de susceptibilidade obteve-se índices satisfatórios de validação, sendo considerado “Muito Boa” de acordo com a referência de qualidade proposta por Guzzetti et al. (2006), o uso exclusivo de dados estatísticos para análise e validação do mapeamento permitem a reprodução do mapeamento sem interferência por parte de opinião específica.

Os índices de validação podem ser manipulados através dos diversos padrões classificatórios, atribuindo desta forma uma nota de experiência individual sem que se transforme em análise heurística, pois as análises manipuladas são reversíveis e matematicamente computáveis, como por exemplo, os testes de taxa de predição para modelos com 4, 5 e 6 fatores de predisposição, mostrando uma maior taxa de predição conforme a inclusão de mais fatores de predisposição.

Os testes com os padrões classificatórios do mapa de susceptibilidade divididos em 4, 5, 6, 8, 32 e 255 classes, mostram que a melhor taxa de predição obtida, foi para classificação em 4 classes de susceptibilidade, divididas através da leitura do gráfico de frequência entre MGM translacional de validação e cada classe da susceptibilidade, compartimentando o maior número de movimentos de massa na menor área possível.

e) Contribuir para a evolução dos modelados de avaliação à susceptibilidade de Movimentos Gravitacionais de Massa, onde até o presente momento, ainda não existem mapeamentos validados de susceptibilidade por meio de análise estatística/probabilística.

Por fim, acredita-se ter concluído o ultimo objetivo deste trabalho, elevando mesmo que em pequena parcela, o nível de previsão dos eventos relacionados a movimentos de massa na região do Vale do Itajaí, Santa Catarina.



A Universidade Federal de Santa Catarina é a maior universidade do estado, concentrando diversos estudos relacionados à gestão do risco.

Este trabalho assume de certa forma, caráter pioneiro na academia da referida universidade no que se trata de validação de modelos de previsão a susceptibilidade de movimentos de massa, esperando que este trabalho seja útil para futuros trabalhos acadêmicos que desenvolvam as ciências do planejamento e gestão do risco.



## 9 REFERÊNCIAS

AHRENDT, A. **Movimentos de massa gravitacionais – Proposta de um sistema de previsão:** Aplicação na área urbana de Campos de Jordão-SP. Tese (Doutor em Geotécnica), 390f. Escola de Engenharia de São Paulo, São Carlos, 2005.

ALMEIDA, L.; PASCOALINO, A. **Gestão de risco, desenvolvimento e (meio) ambiente no Brasil** – um estudo de caso sobre os desastres naturais de Santa Catarina. 2015. Disponível em: <[http://www.researchgate.net/profile/Lutiane\\_Almeida/publication/268005397\\_GESTO\\_DE\\_RISCO\\_DESENVOLVIMENTO\\_E\\_\(MEIO\)\\_AMBIENTE\\_NO\\_BRASIL\\_UM\\_ESTUDO\\_DE\\_CASO\\_SOBRE\\_OS\\_DESASTRES\\_NATURAIS\\_DE\\_SANTA\\_CATARINA/links/551bba300cf2d93cfc796bc1.pdf](http://www.researchgate.net/profile/Lutiane_Almeida/publication/268005397_GESTO_DE_RISCO_DESENVOLVIMENTO_E_(MEIO)_AMBIENTE_NO_BRASIL_UM_ESTUDO_DE_CASO_SOBRE_OS_DESASTRES_NATURAIS_DE_SANTA_CATARINA/links/551bba300cf2d93cfc796bc1.pdf)> Acesso em: 15/05/2015.

AUGUSTO, O. **Caracterização geológica-geotécnica voltada à estabilização de encostas. uma proposta metodológica.** Rio de Janeiro, Conferência Brasileira sobre estabilidade de encostas. Anais.... 1992.

BAEZA, C.; LANTADA, N.; MOYA, J. **Influence of sample and terrain unit on landslide susceptibility assessment at La Pobla de Lillet, Eastern Pyrenees, Spain.** Environmental Earth Sciences, v. 60, n. 1, p. 155-167, 2010.

BAPTISTA, M. (org). **Conhecendo Gaspar.** Livro, Ed. Gaspar: Canarinho Ltda, 1992.

BARBIERI, D. et al.. **Relação entre os desastres naturais e as anomalias de precipitação para a região Sul do Brasil.** Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 3527-3534.

BAUZYS, F. Identificação, **Análise e Mapeamento dos Movimentos de Massa Ocorridos em Novembro de 2008, no Alto da Bacia do Ribeirão Belchior, Gaspar – SC.** 2010. 237 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2010.

BEGUERÍA, S. **Validation and evaluation of predictive models in hazard assessment and risk management.** *Natural Hazards*, v. 37, n. 3, p. 315-329, 2006.

BIGARELLA, J. et al. **A Serra do Mar e a Porção Oriental do Estado do Paraná: Um Problema de Segurança Ambiental e Nacional.** Curitiba, SEPL/ADEA, 249 p., 1978.

BISPO, et al. **Análise da suscetibilidade aos movimentos de massa em São Sebastião (SP) com o uso de métodos de inferência espacial.** *Geociências (São Paulo)*, v. 30, n. 3, p. 467-478, 2011.

BGS. **How does BGS classify landslides.** London BGS Source, 2010. Disponível em: [http://www.bgs.ac.uk/landslides/How\\_does\\_BGS\\_classify\\_landslides.html?&viewFullSite=yes](http://www.bgs.ac.uk/landslides/How_does_BGS_classify_landslides.html?&viewFullSite=yes) Acesso: 12/05/2014

BUCKLEY, A.. **Compreender rasters curvatura, artigo disponível no fórum ArcGis** < <http://blogs.esri.com/esri/arcgis/2010/10/27/understanding-curvature-rasters/> > acesso em 12\10\2015.

BURROUGH, P. A., and McDonell, R. A., 1998. **Principles of Geographical Information Systems** (Oxford University Press, New York), 190 pp.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia (MME). **Seleção dos municípios críticos a deslizamentos – nota explicativa. Brasília: Serviço Geológico do Brasil / Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral; 2011.**

BURGHARDT, C. **O incremento do turismo as transformações sócio-espaciais na localidade do Arraial, município de Gaspar (SC).** Dissertação (Mestrado em Turismo) Universidade do Vale do Itajaí – UNIVALI, Balneário Camboriú, 2006.

CARRARA, A., CARDINALI, M., GUZZETTI, F. **Uncertainty in assessing landslide hazard and risk.** ITC Journal 2, 1992 p.172– 183.

CARRARA, A.. **Uncertainty in evaluating landslide hazard and risk. In: Prediction and perception of Natural hazards. Springer Netherlands, 1993. p. 101-109.**

CARRARA A., GUZZETTI F., CARDINALI M., **Use of Gis technology in the prediction and monitoring of landslide hazard.** *Natural P*(1999) pag. 117 – 135.

CARVALHO, et al. **MAPEAMENTO DE RISCOS EM ENCOSTAS E MARGEM DE RIOS.** Brasília: MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2007.

CASSETI, V. **Geomorfologia.** [S.l.]: [2005]. Disponível em: <<http://www.funape.org.br/geomorfologia/>>. Acesso em: 09/09/2014

CASTRO, C. **Manual de Desastres. Volume 1: Desastres Naturais.** Brasília: MPO, 2003. 174 -177 p.

CATARINA, S. Gabinete de Planejamento e Coordenação Geral. **Atlas de Santa catarina, 1986.**

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2 ed. São Paulo: Edgar Blücher, 1980. 188 p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Aplicabilidade do conhecimento geomorfológico nos processos de planejamento**. IN: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. (orgs.) Geomorfologia: uma Atualização de Bases e Conceitos. 5ª. ed. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 2003, p. 415 - 440.

CHUNG, F.; FABBRI, G. **Probabilistic prediction models for landslide hazard mapping**. Photogrammetric engineering and remote sensing, v. 65, n. 12, p. 1389-1399, 1999.

CHUNG, F.; FABBRI G. **Systematic procedures of landslide hazard mapping for risk assessment using spatial prediction models**.Landslide hazard and risk. Wiley, New York, p. 139-177, 2005.

CPTEC INPE **Bloqueio atmosférico provoca enchentes no Estado de Santa Catarina(SC)** 2008. Disponível em : [http://www.cptec.inpe.br/~rupload/docs/enchentes\\_SC\\_1108.pdf](http://www.cptec.inpe.br/~rupload/docs/enchentes_SC_1108.pdf), acesso: 08/05/2014.

CRUDEN, D.M.; VARNES, D.J. Landslide types and processes. In Special Report 247: **Landslides: Investigation and Mitigation**, Transportation Research Board, Washington D.C. 1996.

CUNHA, L.; DIMMUCIO, L.; **Considerações sobre riscos naturais num espaço de transição : exercícios cartográficos numa área a Sul de Coimbra**. Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança. Territorium 37-51. 9, 2002.

CUNHA, S. B. **Geomorfologia e meio ambiente**. 4.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 123-194,2003.

CUNHA, L; QUEIROZ, S. D **A cartografia geomorfológica de detalhe: uma proposta visando à multidisciplinaridade. CLIMEP – Climatologia e Estudos da Paisagem.** Disponível em: <http://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/climatologia/index> Rio Claro (SP) – Vol.7 – n.1-2 – janeiro/dezembro/2012, p. 45. Acessado: 15/09/2014.

DAI, F. C. et al. **Assessment of landslide susceptibility on the natural terrain of Lantau Island, Hong Kong.** Environmental Geology, v. 40, n. 3, p. 381-391, 2001.

DIAS, D. **Proposta de metodologia de definição de carta geotécnica básica em regiões tropicais e subtropicais.** Revista do Instituto Geológico, v. 16, n. esp, p. 51-55, 1995.

DIAS, M. A. F. S; ROZANTE, J. R; MACHADO, L. **A Complexos Convectivos de Mesoescala na América do Sul.** IN: Tempo e Clima no Brasil, Ed. Oficina de Textos, São Paulo, 2009.

Diniz, N. C. **Automação da cartografia geotécnica:** uma ferramenta de estudos e projetos para avaliação ambiental. Tese de Doutorado. Departamento de Transportes. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2v. 1998.

DINIZ, N.C. **Cartografia geotécnica por classificação de unidades de terreno e avaliação de suscetibilidade e aptidão.** Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, Cidade, v. 2, n. 2, p. 29-77, 2012.

Eeckhaut, et al. **Prediction of landslide susceptibility using rare events logistic regression: a case-study in the Flemish Ardennes (Belgium).** Geomorphology, 76(3), 392-410, 2006.

**EIRD. Informes sobre el progreso en la implementación del Marco de Acción de Hyogo – BRASIL, 2007.** Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres - Las Américas. Disponível em: [http://www.preventionweb.net/files/1302\\_Brazil.pdf](http://www.preventionweb.net/files/1302_Brazil.pdf) . Acesso em 14/03/2015.

EGAS, H. M; FLORES, J.A.A; PELLERIN, J. R.G.M. **Movimentos Gravitacionais de Massa no Município de Gaspar, Vale do Itajaí, SC, na catástrofe de novembro de 2008.** Caracterização dos processos por critérios geomorfológicos, geológicos e pedológicos. In: XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2009. Anais... Viçosa, 2009.

EM-DAT. **The OFDA/CRED International Disaster Database.** [www.em-dat.net](http://www.em-dat.net) . Bruxelas, Université Catholique de Louvain, 2009, Acesso em 10/12/2014.

FALL. M. A.; AZZAM R. B.; NOUBACTEP C. C. **A multi-method approach to study the stability of natural slopes and landslide susceptibility mapping.** Engineering Geology 82 (2006) p 241– 263. Disponível em: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com).

FELL, R. et al. **Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning.** Engineering Geology, v. 102, n. 3, p. 85-98, 2008.

FERENTINOU, M.D.; SAKELLARIOU M.G. **Assesing landslide hazard on medium and large scales, using self-organization maps.** OldrichHungar, Robin Fell, Réjean Couture, Erik Eberhardt CRC Press, 776 p., 2005

FERNANDES, N. F., et al. **Condicionantes geomorfológicos dos escorregamentos nas encostas: avaliação de metodologias e aplicação de modelo de previsão de áreas susceptíveis.** Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 2, n. 1, p. 51-71, 2001.



FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. **Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica.** In: GUERRA, A. J. T.;

FABBRI, A., et al. **Prediction rate functions of landslide susceptibility applied in the Iberian Peninsula.** *Risk analysis III*, series: management information systems, 5, 703-718, 2002.

FLORINSKY, I. V., Kuryakova, G. A. **Influence of topography on some vegetation cover properties.** *Catena*, v.27, p.123-141, 1996.

FRANK, B.; SEVEGNANI, L (org). **Desastre de 2008 no Vale do Itajaí: Água, gente e política.** Blumenau: Agencia de água do Vale do Itajaí, 192 p., 2009.

FREITAS, M. C. et al. **Ciência & Saúde Coletiva**, 17(6):1577-1586, Rio de Janeiro jan. 2012.

MONTOYA-MONTEI, I. et al. **Mapping of landslide susceptibility of coastal cliffs: the Mont-Roig del Camp case study.** In: *Geologica acta*. p. 0439-4552012..

GARCIA, R.; ZÊZERE, J. L.; OLIVEIRA, S. **A importância do processo de classificação de dados na cartografia: um exemplo na cartografia de susceptibilidade a movimentos de vertente.** *Publicações da Associação Portuguesa de Geomorfólogos*, v. 5, p. 265-279, 2007.

GARCIA, Ricardo Alexandre Cardoso. **Metodologias de avaliação da perigosidade e risco associado a movimentos de vertente: aplicação na bacia do rio Alenquer.** 2012. Tese de doutoramento em Geografia Física. Universidade de Lisboa. 437p

GOERL, R. F., KOBIYAMA, M., CORREA, G. P.; ROCHA, H. L.; GIGLIO, J. N. **Desastre hidrológico resultante das chuvas intensas em Rio dos Cedros – SC.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRICOS, 18, 2009, Campo Grande. Anais... Campo Grande: ABRH, 2009.

GONÇALVES, F. **Modelação e validação da suscetibilidade à ocorrência de desabamentos no concelho de Castelo de Paiva.** Dissertação de mestrado, Faculdade de Letras Universidade do Porto, 2014.

GUIDICINI, G.; IWASA O.Y. **Ensaio de correlação entre pluviosidade e escorregamentos em meio tropical úmido.** São Paulo: IPT. Publicação n°. 1080, 48 p., 1976,.

GUIMARÃES, R. et al. **Análise temporal das áreas susceptíveis a escorregamentos rasos no Parque Nacional da Serra dos Órgãos (RJ) a partir de dados pluviométricos,** Revista Brasileira de Geociências, 39(1): p.190-198, 2009

GUZZETTI, F., et al. **Comparing landslide maps: a case study in the upper Tiber River basin, central Italy.** Environmental Management 25, 247–263, 2000.

GUZZETTI, F., et al. **Probabilistic landslide hazard assessment at the basin scale.** *Geomorphology*, v. 72, n. 1, p. 272-299, 2005.

GUZZETTI, F., et al. **Estimating the quality of landslide susceptibility models.** *Geomorphology*, v. 81, n. 1, p. 166-184, 2006.

HEIDEMANN, M. **Caracterização geotécnica de um solo residual de granulito envolvido em uma ruptura de talude em Gaspar-SC.** Porto Alegre, 2011.

HERRMANN, M.L (org.) **Atlas de desastres naturais do estado de Santa Catarina.** Florianópolis: IOESC, 146 p., 2005.

HERRMANN, M. L. P.; PELLERIN, J. R. G. M.; SAITO, S. M. **Análise das ocorrências de escorregamentos no Estado de Santa Catarina com base nos formulários de avaliação de danos da Defesa Civil – 1980 a 2003.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, Florianópolis. Anais... Florianópolis: GEDN/UFSC, p. 159-173, 2004.

HIGHLAND, L.M.; BOBROWSKY, P. **The landslide handbook – A guide to understanding landslides:** Reston, Virginia, U.S.Geological Survey Circular 1325 , 129p. 2008.

IBGE. **Projeto Gerenciamento Costeiro, 3ª fase-Geomorfologia.** Florianópolis, 56p., 2002 (a).

IBGE. **Projeto Gerenciamento Costeiro, 3ª fase-Geologia.** Florianópolis, 61p., 2002(b).

IBGE. **Projeto Gerenciamento Costeiro, 3ª fase-Solos.** Florianópolis, 703p., 2003.

IBGE. **Infográficos: evolução populacional e pirâmide etária.** Disponível em: <http://cod.ibge.gov.br/Y6L> acesso: 30/04/2014.

IBGE, **Manual técnico de pedologia.** Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. - 3. ed. - Rio de Janeiro : IBGE, 430 p., 2015.

**IPT INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A. Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios** Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007.

**IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A. Material de Treinamento de Técnicos Municipais para o Mapeamento e Gerenciamento de Áreas Urbanas com Risco de Escorregamentos, Enchentes e Inundações.** IPT, S. Paulo, 2004.

**JULIÃO, P. et al., Guia metodológico para a produção de cartografia Municipal de risco e para a criação de sistemas de informação geográfica (SIG) de base municipal.** Finisterra, XLVi, 91, pp. 19 -36, 2009.

**KIMERLING, A. Jon, Aileen R. Buckley, Phillip C. Muehrcke, and Juliana O. Muehrcke. 2011. Map Use: Reading, Analysis, Interpretation, Seventh Edition. Redlands, CA: Esri Press, 581 pages.**

**KOBIYAMA, M. et al. Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos.** Curitiba: Ed. Organic Trading, 109p., 2006.

**KIMERLING, et al. Map Use: Reading and Analysis, Sixth Edition. Redlands, CA: ESRI Press, ISBN: 978-1-58948-190-9, 493 p, 2009.**

**LIMA. G.; Análise da suscetibilidade a deslizamentos por critérios topográficos um estudo no alto da bacia do ribeirão Belchior, Gaspar – SC 2013. 114 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2013.**

**MARCELINO, E. V. Desastres naturais e geotecnologias: Conceitos básicos.** INPE, Santa Maria, p. 20, 2007.

MARQUES, J. A. P. **Estudo de metodologia de avaliação de risco a escorregamento de terra em área urbana: o caso do município de Juiz de Fora – MG.** Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído) 144p. Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2011.

MARTINI, L. et al. **Avaliação da suscetibilidade a processos erosivos e movimentos de massa: decisão multicriterial suportada em sistemas de informações geográficas.** *Geologia USP. Série Científica*, 6(1), 41-52, 2006.

MELLO, T.F. **Estrutura da vegetação, cobertura florestal e preferências de uso da paisagem associadas a vertentes: as quaseflorestas de São Luiz do Paraitinga.** *Dissertação de Mestrado*, Departamento de Ecologia, Universidade de São Paulo. 2009

MEIJERINK, A. M. J. **Data acquisition and data capture through terrain mapping units.** *ITC-Journal (Netherlands)*, 1988.

MINUZZI, R.; RODRIGUES, L. **Novembro com recordes de chuva em SC: 1000mm em Blumenau.** Epagri/Ci RAM. Florianópolis-SC, 2009.

MONTEIRO, M. A. **Caracterização climática do estado de Santa Catarina: uma abordagem dos principais sistemas atmosféricos que atuam durante o ano.** *Geosul*, eISSN 2177-5230, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil v. 16, n. 31, 2001.

MONTEIRO, M. A. **Dinâmica atmosférica e a caracterização dos tipos de tempo na Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá.** Tese: (Doutorado em Geografia) Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2007.

MONTEIRO, M. A., MENDONÇA, M. **Dinâmica atmosférica no estado de Santa Catarina.** In: HERRMANN, M.L (org.) **Atlas de desastres naturais do estado de Santa Catarina.** Florianópolis: IOESC, 146 p. 2005. Disponível em: <<http://www.gaspar.sc.gov.br>>. Acesso em: 01/10/2012

MONTGOMERY, D.R.; DIETRICH, W.E. **A physically based model for the topographic control on shallow landsliding.** **Water Resources Research**, v.30, p.1153-1171, 2000.

NIMER, E. **Climatologia da Região Sul do Brasil.** In: Revista Brasileira de Geografia. Introdução a Climatologia Dinâmica. Rio de Janeiro : IBGE, n. 4. p.3-65. 1971.

OGURA. A. T. **Fundamentos conceituais e metodológicos do gerenciamento de riscos.** Curso de Multiplicadores em Gestão de Riscos de Desastres Naturais. 22 a 26 de fevereiro, Florianópolis, SC. 2010.

PANDOLFO, C. et al. **Atlas climatológico do estado de Santa Catarina.** Florianópolis: Epagri, v. 1, 2002.

PELLERIN, J. et al. **Timbé do Sul - Jacinto Machado: Avaliação preliminar da extensão da catástrofe de 23 - 24/12/95.** Geosul, Florianópolis, v. 12, n. 12, n. 23, p. 71-86, 1997.

PELUSO V. A. **A cidade de Gaspar.** Revista do Instituto Histórico e Geográfico de Santa Catarina. Florianópolis, n. 07, p. 181-230, 1987.

PIEIDADE A. **Modelação especial em Sistemas de Informação Geográfica da susceptibilidade a deslizamentos na área de Lousa-Loures.** Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências sociais e Humanas da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2009.

Piedade, A. et al. **Análise sensitiva dos factores de predisposição à instabilidade geomorfológica na área a norte de Lisboa.** In Actas/Proceedings of V Congresso Nacional de Geomorfologia p. 59-63, 2010.

PIEDADE, A. et al. **Modelos de susceptibilidade a deslizamentos superficiais translacionais na região a norte de lisboa.** Finisterra, XLVi, 91, pp. 9 -26, 2011.

PLANO DIRETOR FÍSICO TERRITORIAL DE GASPAR. **Prefeitura Municipal de Gaspar,** 2001. Disponível em: [http://www.amavi.org.br/sistemas/pagina/setores/planejamentoterritorial/arquivos/Layout%20L.D.\\_Witmarsum\\_estudo.pdf](http://www.amavi.org.br/sistemas/pagina/setores/planejamentoterritorial/arquivos/Layout%20L.D._Witmarsum_estudo.pdf) Acesso: 12\11\2014.

BISPO P. C; Morisson, M.; Kuplich, V. **Análise geomorfométrica como subsídio ao mapeamento da vegetação.** Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianopolis, Brasil. p. 1607-1613, 2007.

POLDERMANS, D. et al. **Guidelines for pre-operative cardiac risk assessment and perioperative cardiac management in non-cardiac surgery.** European heart journal, 30(22), 2769-2812, 2009.

REIS, E. et al. **Integração de dados espaciais em SIG para avaliação da susceptibilidade de ocorrência de deslizamentos.** Finisterra: Revista portuguesa de geografia, v. 38, n. 76, p. 3-34, 2003.

REMONDO, J. **Validation of landslide susceptibility maps; examples and applications from a case study in Northern Spain.** Natural Hazards, 30(3), 437-449, 2003(a).

REMONDO, J. **Landslide susceptibility models utilising spatial data analysis techniques. A case study from the Lower Deba Valley, Guipúzcoa (Spain).** Natural Hazards,30(3), 267-279, 2003(b).

RIBEIRO, R. G. **Previsão de deslizamentos através de análise multicriterial em ambiente sig comparado ao modelo matemático determinístico shalstab no município de gaspar, vale do itajaí, SC.** Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

REINERT, D.; REICHERT, M. **Propriedades física do solo.** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria/Centro de Ciências Rurais, 2006.

RAMOS, A. M., CUNHA, L. E CUNHA, P. P. **Cartografia geomorfológica aplicada ao ordenamento do território área da Figueira da Foz – Nazaré (Portugal Central).** Revista Geonorte, Edição Especial, , V.3, N.4, Manaus, p. 1433-1449, 2012.

ROSA, R. de O., **Relevo.** In : Santa Catarina. Secretaria de Estado de Coordenação Geral e Planejamento. Atlas Escolar de Santa Catarina. Rio de Janeiro, Aerofoto Cruzeiro, p. 31- 43, 1991.

ROSS, J. **O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo.** In: **Revista do Departamento de Geografia.** São Paulo: Edusp n.6, 17-30p. 1992.

SANTOS, A.R. **A grande barreira da Serra do Mar – Da trilha dos Tupiniquins à Rodovia dos Imigrantes.** O Nome da Rosa, Ed. São Paulo, 122 p., 2004.

SANTOS, H. et al. **Proposta de atualização da segunda edição do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Rio de janeiro: Embrapa Solos, 66 p. (Embrapa Solos. Documentos, 114), 2009.



SCHADECK. R.; BAUZYS F.; GUZI D.; JUNGLES A. E. **A experiência do CEPED UFSC no desastre natural de novembro de 2008 no estado de Santa Catarina, Brasil.** Territorium 19, p 63-75, 2012. Disponível em: [http://www.uc.pt/flux/nicif/riscos/Territorium/numeros\\_publicados](http://www.uc.pt/flux/nicif/riscos/Territorium/numeros_publicados).

SCHORODER, G. S. **Análise tectônica da Bacia do Itajaí.** 109 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

Schulz, W.H., 2004. **Landslides mapped using LIDAR imagery, Seattle, Washington.** USGS Open File Report, Washington, p.1396, 2004.

SWETS, A. **Measuring the accuracy of diagnostic systems.** Science, v. 240, n. 4857, p. 1285-1293, 1988.

TAIOLI, F. et al. **Decifrando a terra.** São Paulo: Oficina de Textos, v. 1, 2000.

TOBIN, G.A.; MONTZ, B. E. **Natural Hazards: explanation and integration.** New York: The Guilford Press, p 388, 1997.

TOMAZZOLI, E. R.; FLORES, J. A. A.; BAUZYS, F; **Movimentos de massa ocorridos no evento de novembro de 2008, no entorno do Morro do Baú, Vale do Itajaí (SC): caracterização geológico-geomorfológica.** 5ª. Conferência Brasileira de Estabilidade de Encostas (COBRAE). São Paulo (SP). 2009.

TOMAZZOLI, E. R. **Caracterização geológico-geomorfológica dos movimentos de massa ocorridos no vale do Itajaí (estado de Santa Catarina)-Brasil-em novembro de 2008.** Memórias e Notícias (Nova Série) – Publicação do Departamento de Ciências da Terra e do Museu Mineralógico e Geológico da Universidade de Coimbra, v. Especial, p. 1-20, 2012.

TOMAZZOLI, E. et al. **Análise e Mapeamento das Áreas de Risco a Movimentos de Massa e Inundações nos Municípios de Gaspar, Ilhota e Luis Alves (Complexo do Morro Baú), SC.** FAPESC, Depto. De Geociências- UFSC, Florianópolis, 2012.

TOMAZZOLI, E. R.; PELLERIN, J. R. M. **O Mapeamento geológico-geomorfológico como procedimento básico na caracterização de áreas de risco: o caso da área central da cidade de Florianópolis-SC.** In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, Florianópolis. Anais... Florianópolis: GEDN/UFSC, p. 277-287, 2004.

TOMINAGA, Lídia Keiko et al. **Cartas de perigo a escorregamentos e de risco a pessoas e bens do Litoral Norte de São Paulo: conceitos e técnicas.** SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E GEOAMBIENTAL, v. 5, p. 205-216, 2004.

VAN WESTEN, J. et al. **Prediction of the occurrence of slope instability phenomenal through GIS-based hazard zonation.** *Geologische Rundschau*, v. 86, n. 2, p. 404-414, 1997.

VALENTE, A. L. S. **Integração de dados por meio de geoprocessamento, para a elaboração de mapas geotécnicos, análise do meio físico e suas interações com a mancha urbana: o caso de Porto Alegre (RS).** Tese (Doutorado) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Porto Alegre, 1999. Disponível em: <hdl.handle.net/10183/5247> Acessado em: 08/05/2014

VALERIANO, M.; CARVALHO J., OSMAR A. **Geoprocessamento de modelos digitais de elevação para mapeamento da curvatura horizontal em microbacias.** *Territorium* 19, p 63-75, 2012. Disponível em: [http://www.uc.pt/flux/nicif/riscos/Territorium/numeros\\_publicados](http://www.uc.pt/flux/nicif/riscos/Territorium/numeros_publicados), 2001.

VARNES, D.J. **Landslide Types and Processes**. In Special Report 29: Landslides and Engineering Practice (E.B. Eckel, ed.), HRB, National Research Council, Washington, D.C., pp. 20-47, 1958.

VARNES, D. **Slope Movement Types and Processes**. In **Special Report 176: Landslides: Analysis and Control** (R.L. Schuster and R.J. Krizek, eds.), TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp. 11-33, 1978.

VELOSO, A. J. G. **Importância do Estudo das Vertentes**. GEOgraphia UFF, v.8, n.8, 2002.

VERDE, J.; ZÊZERE, J.L. **Assessment and validation of wildfire susceptibility and hazard in portugal. natural hazards and earth system sciences, 10, european geosciences union, P.485-497, 2010.**

YIN, K. L; YAN, T. Z. **Statistical prediction models for slope instability of metamorphosed rocks**. In Bonnard C (ed.) Landslides. Proceedings of the Fifth International Symposium on Landslides, 2, Balkema, Rotterdam, p.1269 -1272, 2010.

ZAIDAN, R. T.; FERNANDES, N. F. **Modelagem de susceptibilidade a escorregamentos na bacia de drenagem urbana do córrego do Independência: Juiz de Fora - MG**. XIII Simpósio Brasileiro de geografia física , Viçosa, 2008. Disponível em: <[http://www.geo.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos\\_completos/eixo3/082.pdf](http://www.geo.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos_completos/eixo3/082.pdf)>. Acesso em: 08 ago. 2012.

ZÊZERE, J. L. et al. **Weighting predisposing factors for shallow slides susceptibility assessment at the regional scale** In. Proceedings of the Tenth International Symposium on Landslides and Engineered Slopes, Vol. 2, 2008.

ZÊZERE, J. L. **Landslide susceptibility assessment considering landslide typology. A case study in the area north of Lisbon**

(Portugal). Natural Hazards and Earth System Science, v. 2, n. 1/2, p. 73-82, 2002.

ZÊZERE, J. L. **Distribuição e ritmo dos movimentos de vertente na região a Norte de Lisboa.** Centro de estudos geográficos - Área de geografia física e ambiente, 2001.

ZUQUETTE, L.V. **Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para as condições brasileiras.** São Carlos, SP. Tese de Doutorado - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo/USP. 1987