



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
LABORATÓRIO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÕES ESPACIAIS

**IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS SUSCEPTÍVEIS A OCORRÊNCIA
DE ESCORREGAMENTOS NA BACIA DO RIO ITAJAÍ (SC) A
PARTIR DE ÍNDICES DE COESÃO CRÍTICA CONSIDERANDO A
VARIAÇÃO ESPAÇO TEMPORAL DA QUANTIDADE DE CHUVA**

WÁTILA PORTELA MACHADO

ORIENTADOR: PROF.DR. RENATO FONTES GUIMARÃES
CO-ORIENTADOR: OSMAR ABÍLIO DE CARVALHO JÚNIOR

BRASÍLIA
AGOSTO/2018



**IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS SUSCEPTÍVEIS A OCORRÊNCIA
DE ESCORREGAMENTOS NA BACIA DO RIO ITAJAÍ (SC) A
PARTIR DE ÍNDICES DE COESÃO CRÍTICA CONSIDERANDO A
VARIAÇÃO ESPAÇO TEMPORAL DA QUANTIDADE DE CHUVA**

WÁTILA PORTELA MACHADO

Tese de doutorado avaliada pela Banca Examinadora, constituída por:

Prof.Dr. Renato Fontes Guimarães - Universidade de Brasília
(Orientador)

Prof. Dr. Leonardo José Cordeiro Santos (Examinador)

Prof. Dr. Marcio Cataldi (Examinador)

Prof. Dr. Patrícia de Araújo Romão(Examinador)

Brasília, 16 de Agosto de 2018



MACHADO, WÁTILA PORTELA

IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS SUSCEPTÍVEIS A OCORRÊNCIA DE ESCORREGAMENTOS NA BACIA DO RIO ITAJAÍ (SC) A PARTIR DE ÍNDICES DE COESÃO CRÍTICA CONSIDERANDO A VARIAÇÃO ESPAÇO TEMPORAL DA QUANTIDADE DE CHUVA. xx p., xx mm, (UnB-IH-GEA-LSIE, Doutorado, 2018).

Tese de Doutorado – Universidade de Brasília. Departamento de Geografia.

1. Movimentos de Massa

2. Pluviometria

3. TRMM

4. Coesão Crítica

I. UnB-IH-PPGEA-LSIE

II. Título (série)



*“Let your soul shine
It’s better than sunshine
It’s better than moonshine
Damn sure it better then rain”*

Soulshine–The Allman Brothers Band



AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador e amigo, Prof. Dr. Renato Fontes Guimarães idealizador deste projeto desde seu início e um grande guia em toda a minha caminhada acadêmica.

Aos professores Dr. Roberto Arnaldo Trancoso Gomes e Dr. Osmar Abílio de Carvalho Junior não só pela ajuda nesta etapa, mas pelo papel fundamental que tiveram em toda a construção da minha formação como aluno e também como pessoa ao longo de todos esses anos.

À colaboração dos pesquisadores Regiane (UFSC), Cristiano (UnB) e nossa amiga Verônica (UnB) muito importantes para a conclusão deste trabalho. Aos pesquisadores Harvey Greenberg e David Montgomery, responsáveis pela formulação das bases que possibilitaram desenvolver grande parte dos procedimentos executados.

À todo departamento de Pós-Graduação e ao Laboratório de Sistemas de Informações Espaciais, local de minha formação profissional a qual devo todo o crescimento. O trabalho tem avançado e que continue cada dia melhor!

Aos avaliadores externos Leonardo José Cordeiro Santos, Marcio Cataldi e Patrícia de Araújo Romão que aceitaram compor esta banca de avaliação.

Aos amigos Felipe, Beatriz, Thiago e Ricardo pelo apoio e incentivo no ambiente pessoal e de trabalho desde o início desta empreitada. Pelos momentos de desabafo e descontração, continuamos seguindo!

Ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, em especial à Divisão de Compensação Ambiental e aos Coordenadores Antônio Celso e Kátia, bem como aos membros do Centro de Capacitação Daniel, Michele e Márcia.

Aos amigos Pancho, Nonô, Juice, Lud, Ítalo, Iza, Thiagão, Tássio, Digão, João Marcelo, Thiago S. e Rizw pelos tantos anos de amizade e apoio.

À minha querida Marília pelo apoio, paciência e compreensão nesta reta de chegada.

Aos irmãos Bárbara e Weslan (agora com Thiago, Enzo e Karol somos todos família!) hoje não vivemos mais sob o mesmo teto, mas continuamos juntos sempre!

À Sra Maria José e ao Sr Francisco Edward Machado que desde sempre são meu apoio e principal combustível para todo e qualquer desafio.

À toda minha família com tios e tias (os mais próximos José Augusto, Josefina e Kátia), primos (Natália e Silvia em especial) e em memória do meu tio José Raimundo que nos deixou recentemente.



RESUMO

Os deslizamentos estão entre os eventos naturais que mais provocaram mortes nos últimos anos, configurando-se como um grande problema em território nacional. Diversos estudos buscam formas de prever este tipo de fenômeno com base em parâmetros que permitam estabelecer patamares de segurança nas áreas mais susceptíveis. Dentre estes, a chuva é considerada o principal gatilho para o desencadeamento dos processos de desestabilização em áreas onde as condições morfométricas sejam propícias e tem sido adotada como indicador para a implementação de sistemas de alerta que permitam prever a ocorrência de deslizamentos com algum grau de efetividade. O algoritmo SHALSTAB conjuga a relação entre estas variáveis e tem obtido sucesso em âmbito global para a definição de zonas consideradas problemáticas do ponto de vista da estabilidade do solo. Entretanto, para que as previsões sejam realmente efetivas é necessário dispor de uma base de dados confiável, porém no Brasil, a escassez de dados sistematizados dificulta iniciativas neste sentido. O presente estudo propôs a simulação de deslizamentos a partir de produtos de Sensoriamento Remoto considerando a plataforma TRMM e o uso de dados SRTM na Bacia do Rio Itajaí (SC), área que sofreu em novembro de 2008 um dos maiores desastres associados a movimentos de massa em âmbito nacional. A metodologia proposta considerou de início o cálculo de níveis críticos de precipitação e coesão a partir do algoritmo SHALSTAB, partindo da comparação com dados de estações pluviométricas para as áreas afetadas, para a calibração dos mesmos a partir do processo de downscaling. Num segundo momento partiu-se para o uso de um MDT oriundo de orthofotos de alta resolução para a área mais problemática identificada na Sub-Bacia do Ribeirão Baú, considerando a relação da chuva com o volume relativo mobilizado e a acurácia do modelo conforme diferentes parâmetros de solo. Os procedimentos possibilitaram uma análise dinâmica do evento de 2008. Nesta simulação foi possível identificar a partir dos dados diários de precipitação quais as áreas mais afetadas em diversos momentos durante o período crítico de precipitação. O resultado alcançado possibilitou uma simulação mais efetiva dos locais onde as classes de risco foram definidas de acordo com a coesão crítica, durante as séries analisadas. Para a maior resolução, no resultado final com 22% da área classificada com algum grau de risco, foi possível interceptar 97% dos movimentos de massa identificados, considerando apenas a chuva de 23 de novembro de 2008. As conclusões permitem inferir que o uso de um procedimento semelhante poderia embasar um sistema de alerta em grande escala de abrangência, considerando que as bases iniciais utilizadas permitiram identificar as zonas mais críticas com relativo sucesso.

Palavras Chave: Deslizamentos, MDT, TRMM, Chuva, Coesão Crítica, SHALSTAB.



ABSTRACT

The landslides are the natural events that have caused most deaths in recent years, becoming a major problem in the national territory. Several studies seek ways to predict this type of phenomenon based on parameters that allow establishing safety levels in the most susceptible areas. Precipitation is considered the main trigger for the unleash of destabilization processes in areas where morphometric conditions are favorable and has been adopted as an indicator for the implementation of warning systems that allow to predict the occurrence of landslides with some degree of effectiveness. The SHALSTAB algorithm combines the relationship between these variables and has been successful globally for the definition of areas considered problematic from the perspective of soil stability. However, for predictions to be really effective it is necessary to have a reliable database, but in Brazil, the scarcity of systematized data makes difficult initiatives in this sense. The present study proposed the prediction of landslides from Remote Sensing products considering the TRMM platform and the use of SRTM data in the Itajaí River Basin (SC), an area that suffered in November of 2008 one of the largest disasters associated with mass movements at the national level. The proposed methodology considered the calculation of critical levels of precipitation and cohesion from the SHALSTAB algorithm, starting from the comparison with data of rainfall stations for the affected areas, to calibrate them from the downscaling process. Secondly, a high-resolution MDT was used for the most problematic area identified in the Baú river Sub-Basin, considering the relation between rainfall and the relative volume mobilized and the accuracy of the model according to different soil parameters. The procedures enabled a dynamic analysis of the 2008 event. In this simulation it was possible to identify from the daily precipitation data the most affected areas at different times during the critical precipitation period. The obtained result allowed a more effective prediction of the places where the risk classes could be defined according to the critical cohesion during the analyzed series. For the higher resolution, in the final result with 22% of the area classified with some degree of risk it was possible to intercept 97% of the mass movements identified, considering only the rain of November 23, 2008. The conclusions allow to infer that the use of a similar procedure could support a large-scale alert system, considering that the initial bases used allowed to identify the most critical areas with relative success.

Keywords: Landslides, MDT, TRMM, Rainfall, Critical Cohesion, SHALSTAB.



SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	V
RESUMO	VI
ABSTRACT	VII
LISTA DE FIGURAS	X
LISTA DE TABELAS	XIV
LISTA DE SIGLAS	XV
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVO GERAL	3
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
2 REFERENCIAL TEÓRICO	4
2.1 MOVIMENTOS DE MASSA - FATORES CONDICIONANTES	4
2.2 MOVIMENTOS DE MASSA E PRECIPITAÇÃO.....	6
2.2.1 <i>Precipitação</i>	6
2.2.2 <i>precipitação x movimentos de massa</i>	8
2.2.3 <i>Deslizamentos em Santa Catarina</i>	13
2.3 MÉTODOS DE PREDIÇÃO – MODELO SHALSTAB	17
2.3.1 <i>Modelo de Estabilidade</i>	19
2.3.2 <i>Modelo Hidrológico</i>	20
2.4 ESTIMADOR DE PRECIPITAÇÃO POR SATÉLITE - <i>TROPICAL RAINFALL MEASURING MISSION (TRMM)</i>	22
2.5 MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO	26
2.6 VERIFICAÇÃO DA ACURÁCIA	28
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	32
3.1 ÁREA DE ESTUDO	34
3.1.1 <i>clima</i>	35
3.1.2 <i>geologia</i>	36
3.1.3 <i>geomorfologia</i>	39
3.1.4 <i>solos</i>	41
3.1.5 <i>vegetação – Uso e cobertura do solo</i>	43
3.2 COMPARAÇÃO- ESTAÇÕES X TRMM	45
3.2.1 <i>Aquisição dos dados pluviométricos</i>	46
3.3 DOWNSCALING – SSC.....	47
3.4 APLICAÇÃO DO MODELO SHALSTAB	50
3.4.1 <i>Mapeamento de Cicatrizes</i>	51
3.4.2 <i>Obtenção dos Mapas Derivados</i>	53
3.4.3 <i>Aplicação do Modelo SHALSTAB</i>	56
3.5 ANÁLISE DE DETALHE (SUB-BACIA DO RIBEIRÃO BAÚ).....	60



3.5.1	<i>REALCE TOPOGRÁFICO para interpretação das cicatrizes</i>	61
3.5.2	<i>Cálculo do Volume</i>	62
3.5.3	<i>Análise de Precisão</i>	64
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	66
4.1	DESLIZAMENTOS - ESTAÇÕES X TRMM	66
4.2	DOWNSCALING SSC	82
4.2.1	<i>Modelo Digital de Elevação e Mapas Derivados</i>	93
4.2.2	<i>Aplicação do Algoritmo SHALSTAB</i>	98
4.3	ANÁLISE DE DETALHE	111
4.3.1	<i>Mapeamento das Cicatrizes e Cálculo do Volume</i>	112
4.4	ANÁLISE DE PRECISÃO	122
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	129
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	131



LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - COMPARAÇÃO ENTRE O MÊS DE NOVEMBRO DE 2008 E A FREQUÊNCIA ANUAL DE DECRETOS DE ESTADO DE CALAMIDADE CONFORME DADOS DA DEFESA CIVIL DE SC.	14
FIGURA 2 - RECORDES DIÁRIOS DE NOVEMBRO E RESPECTIVAS DATAS DE OCORRÊNCIA - DIA/ANO- (ESTAÇÕES EPAGRI E ANA) – ADAPTADO DE MINUZZI E RODRIGUES (2009).	16
FIGURA 3 - RECORDES DE NOVEMBRO E RESPECTIVOS ANOS DE OCORRÊNCIA (ESTAÇÕES DA EPAGRI E ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS) – ADAPTADO DE MINUZZI E RODRIGUES (2009).....	16
FIGURA 4 - FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA PROPOSTA.	33
FIGURA 5 - LOCALIZAÇÃO DA BACIA DO RIO ITAJAÍ E DA SUB-BACIA DO RIBEIRÃO BAÚ.	35
FIGURA 6 - GEOLOGIA PARA A ÁREA DA BACIA DO ITAJAÍ.	38
FIGURA 7 - DOMÍNIOS GEOLÓGICOS / GEOMORFOLÓGICOS DA ÁREA DE ESTUDO.	40
FIGURA 8 - CLASSES DE RELEVO CLASSIFICADOS DE ACORDO COM IBGE (2003b) PARA ÁREA DE ESTUDO.....	40
FIGURA 9 - CLASSES DE SOLO ENCONTRADAS NA ÁREA DE ESTUDO CONFORME IBGE (2003c).	43
FIGURA 10 - VEGETAÇÃO PREDOMINANTE NA BACIA DO ITAJAÍ COM BASE NA SÍNTESE DOS DADOS DO MAPA DE VEGETAÇÃO DO IBGE (2004) E DO PROJETO GERENCIAMENTO COSTEIRO (IBGE, 2003c).	45
FIGURA 11 - ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS CONSIDERADAS PARA AVALIAÇÕES DIÁRIAS E MENSIS NA BACIA DO RIO ITAJAÍ. ...	46
FIGURA 12 - PROCEDIMENTOS REALIZADOS PARA A APLICAÇÃO DO MODELO SHALSTAB ORIENTADO PARA A COESÃO CONSIDERANDO OS ASPECTOS ESPAÇO TEMPORAIS.	51
FIGURA 13 - INTERFACE DO SOFTWARE ABILUS GEO UTILIZADO PARA O CÁLCULO DO SHALSTAB ORIENTADO PARA COESÃO.	58
FIGURA 14 - ROTINA PARA O CÁLCULO DO VOLUME RELATIVO COM BASE NA DIFERENÇA ENTRE MDT E MDS.	63
FIGURA 15 - MALHA AMOSTRAL DE PONTOS UTILIZADOS PARA VALIDAÇÃO A PARTIR DO COEFICIENTE KAPPA.	65
FIGURA 16 - MÉDIAS DIÁRIAS INTERPOLADAS PARA AS DUAS SÉRIES CONSIDERANDO O TOTAL DO INTERVALO ANALISADO A PARTIR DAS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS E DO PRODUTO TRMM 3B43.	67
FIGURA 17 - CICATRIZES VETORIZADAS PARA A BACIA DO RIO ITAJAÍ COM BASE NAS IMAGENS DE AEROLEVANTAMENTO DO ANO DE 2010.	68
FIGURA 18 - MÉDIA HISTÓRICA DE 2004 A 2014 CONSIDERANDO A COMPARAÇÃO DOS PRODUTOS MENSIS 3B43 EM RELAÇÃO AO TOTAL MENSAL DS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS (CALCULADAS NO INTERIOR DAS ÁREAS MAPEADAS COMO CICATRIZES EM TODA A BACIA DO RIO ITAJAÍ), AMBAS CONVERTIDAS PARA VALORES DIÁRIOS.....	69
FIGURA 19 - SÉRIE MENSAL DE 2004 A 2014 CONSIDERANDO AS MÉDIAS DAS ESTAÇÕES E DO PRODUTO TRMM 3B43 NO MÊS DE JANEIRO.	70
FIGURA 20 - SÉRIE MENSAL DE 2004 A 2014 CONSIDERANDO AS MÉDIAS DAS ESTAÇÕES E DO PRODUTO TRMM 3B43 NO MÊS DE FEVEREIRO.....	71
FIGURA 21 - SÉRIE MENSAL DE 2004 A 2014 CONSIDERANDO AS MÉDIAS DAS ESTAÇÕES E DO PRODUTO TRMM 3B43 NO MÊS DE MARÇO.....	72
FIGURA 22 - SÉRIE MENSAL DE 2004 A 2014 CONSIDERANDO AS MÉDIAS DAS ESTAÇÕES E DO PRODUTO TRMM 3B43 NO MÊS DE ABRIL.....	73
FIGURA 23 - SÉRIE MENSAL DE 2004 A 2014 CONSIDERANDO AS MÉDIAS DAS ESTAÇÕES E DO PRODUTO TRMM 3B43 NO MÊS DE MAIO.	74
FIGURA 24 - SÉRIE MENSAL DE 2004 A 2014 CONSIDERANDO AS MÉDIAS DAS ESTAÇÕES E DO PRODUTO TRMM 3B43 NO MÊS DE JUNHO.	75



FIGURA 25 - SÉRIE MENSAL DE 2004 A 2014 CONSIDERANDO AS MÉDIAS DAS ESTAÇÕES E DO PRODUTO TRMM 3B43 NO MÊS DE JULHO.....	76
FIGURA 26 - SÉRIE MENSAL DE 2004 A 2014 CONSIDERANDO AS MÉDIAS DAS ESTAÇÕES E DO PRODUTO TRMM 3B43 NO MÊS DE AGOSTO.....	77
FIGURA 27 - SÉRIE MENSAL DE 2004 A 2014 CONSIDERANDO AS MÉDIAS DAS ESTAÇÕES E DO PRODUTO TRMM 3B43 NO MÊS DE SETEMBRO.....	78
FIGURA 28 - SÉRIE MENSAL DE 2004 A 2014 CONSIDERANDO AS MÉDIAS DAS ESTAÇÕES E DO PRODUTO TRMM 3B43 NO MÊS DE OUTUBRO.....	79
FIGURA 29 - SÉRIE MENSAL DE 2004 A 2014 CONSIDERANDO AS MÉDIAS DAS ESTAÇÕES E DO PRODUTO TRMM 3B43 NO MÊS DE NOVEMBRO.....	80
FIGURA 30 - SÉRIE MENSAL DE 2004 A 2014 CONSIDERANDO AS MÉDIAS DAS ESTAÇÕES E DO PRODUTO TRMM 3B43 NO MÊS DE NOVEMBRO.....	81
FIGURA 31 - ÍNDICE SSC A PARTIR DO QUOCIENTE DA SÉRIE TRMM 3B43 EM RELAÇÃO AOS DADOS MÉDIOS MENSAIS ORIUNDOS DAS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS PARA O PERÍODO DE 2004 A 2014.....	83
FIGURA 32 - SEQUÊNCIA MENSAL DE 2004 A 2014 CONSIDERANDO OS DADOS DE ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS, OS DADOS DO PRODUTO TRMM 3B43 E A TENTATIVA DE AJUSTE VIA QUOCIENTE SSC.....	88
FIGURA 33 - SSC NOVEMBRO DE 2008. QUOCIENTE DA DIVISÃO ENTRE OS VALORES DAS ESTAÇÕES E DO TRMM 3B43. ...	89
FIGURA 34 - MÉDIAS DIÁRIAS GERAIS PARA O PERÍODO DE 15 A 25 DE NOVEMBRO DE 2008, CONSIDERANDO AS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS E O PRODUTO 3B42 DA PLATAFORMA TRMM.....	90
FIGURA 35 - MÉDIAS DIÁRIAS EM MM/DIA PARA AS ÁREAS MAPEADAS COMO CICATRIZES E PARA TODA BACIA DO RIO ITAJAÍ, CONSIDERANDO OS DADOS DE PLUVIOMÉTRICOS DAS ESTAÇÕES, O PRODUTO TRMM 3B42 E A CORREÇÃO REALIZADA APÓS A APLICAÇÃO DO SSC.....	91
FIGURA 36 - COMPARAÇÃO ESTAÇÕES, TRMM E SSC NOVEMBRO 2008 PARA OS PONTOS DAS ESTAÇÕES NO DIA 23/11/2008 (EM MM/DIA).....	92
FIGURA 37 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO PRODUTO SRTM CGIAR UTILIZADO COMO FONTE DE DADOS MORFOMÉTRICOS PARA O ESTABELECIMENTO DAS ÁREAS DE INSTABILIDADE NA BACIA DO RIO ITAJAÍ.....	93
FIGURA 38 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS MODELOS DE ELEVAÇÃO UTILIZADOS PARA EXTRAÇÃO DOS DADOS MORFOMÉTRICOS NA SUB-BACIA DO RIBEIRÃO BAÚ.....	94
FIGURA 39 - DADOS DE DECLIVIDADE UTILIZADOS PARA A ESTIMATIVA DE SUSCEPTIBILIDADE NA BACIA DO RIO ITAJAÍ.....	95
FIGURA 40 - DADOS DE DECLIVIDADE UTILIZADOS PARA A ESTIMATIVA DE SUSCEPTIBILIDADE NA SUB-BACIA DO RIBEIRÃO BAÚ.....	96
FIGURA 41 - ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO UTILIZADA PARA A ESTIMATIVA DE SUSCEPTIBILIDADE NA BACIA DO RIO ITAJAÍ.....	97
FIGURA 42 - ÁREAS DE CONTRIBUIÇÃO UTILIZADAS PARA A ESTIMATIVA DE SUSCEPTIBILIDADE NA SUB-BACIA DO RIBEIRÃO BAÚ.....	97
FIGURA 43 - RESULTADO DO SHALSTAB ORIENTADO PARA COESÃO CONSIDERANDO AS MÉDIAS DIÁRIAS DAS ESTAÇÕES DE 2004 A 2014.....	99
FIGURA 44 - PERCENTUAL DE PIXELS INSTÁVEIS EM RELAÇÃO À MÉDIA DIÁRIA TRMM 3B42 DE 2004 A 2014.....	100
FIGURA 45 - RESULTADO DAS MODELAGENS SHALSTAB CONSIDERANDO COMO <i>INPUT</i> AS MÉDIAS PLUVIOMÉTRICAS PARA A SÉRIE TEMPORAL DE 15 A 25 DE NOVEMBRO DE 2008 PARA AS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS (A), O PRODUTO TRMM 3B42 (B) E A CORREÇÃO A PARTIR DO QUOCIENTE SSC DA SÉRIE (C) E PARA O ANO DE 2008 (D).....	101
FIGURA 46 - PERCENTUAL DE PIXELS INSTÁVEIS CONSIDERANDO A COESÃO CRÍTICA EM RELAÇÃO À MÉDIA DE 15 A 25 DE NOVEMBRO DE 2008.....	102



FIGURA 47 - SÉRIE DE 15 A 25 DE NOVEMBRO DE 2008 COM BASE NO PERCENTUAL DE ÁREA CALCULADA COMO INSTÁVEL EM RELAÇÃO AO TOTAL DA BACIA DO ITAJAÍ, CONSIDERANDO OS VALORES DE CHUVA NAS ESTAÇÕES, TRMM, SSC GERAL E O SSC NOVEMBRO DE 2008 COMO <i>INPUT</i> PARA O CÁLCULO DA COESÃO CRÍTICA.	103
FIGURA 48 – RESULTADO DO MODELO SHALSTAB PARA COESÃO CRÍTICA NO DIA 15/11/2008 UTILIZANDO OS DADOS DE ESTAÇÃO E O TRMM 3B42 CORRIGIDO PELO SSC DE NOVEMBRO DE 2008 COMO ENTRADA. NOTA-SE A PEQUENA INDICAÇÃO DE ÁREAS INSTÁVEIS QUE CORRESPONDERIAM ÁREAS QUE SERIAM PASSÍVEIS DE INSTABILIZAÇÃO MESMO COM CHUVAS REDUZIDAS.	105
FIGURA 49 – RESULTADO DO MODELO SHALSTAB ORIENTADO PARA COESÃO NO DIA 18/11/2008 UTILIZANDO OS DADOS DE ESTAÇÃO E O TRMM 3B42 CORRIGIDO PELO SSC DE NOVEMBRO DE 2008 COMO ENTRADA. SENDO ESTE O DIA MENOS CHUVOSO DA SÉRIE AINDA ASSIM NOTA-SE A PRESENÇA DE ALGUMAS ÁREAS DE INSTABILIDADE QUE INTERCEPTAM PARTE DAS CICATRIZES MAPEADAS O QUE DENOTA A PRESENÇA DE ÁREAS INCONDICIONALMENTE INSTÁVEIS OU MESMO AFLORAMENTOS ROCHOSOS.	106
FIGURA 50 - RESULTADO DO MODELO SHALSTAB ORIENTADO PARA COESÃO NO DIA 23/11/2008 UTILIZANDO OS DADOS DE ESTAÇÃO E O TRMM 3B42 CORRIGIDO PELO SSC DE NOVEMBRO DE 2008 COMO ENTRADA. OBSERVA-SE PARA O DIA MAIS CHUVOSO DA SÉRIE A PRESENÇA DE MUITAS ZONAS DE INSTABILIDADE EM AMBOS OS RESULTADOS, SENDO QUE O NÚMERO DE CICATRIZES INTERCEPTADAS É O MAIOR DE TODA A SÉRIE O QUE TORNA ESTE O DIA MAIS CRÍTICO PARA O PERÍODO ANALIZADO.	107
FIGURA 51 - RESULTADO DO MODELO SHALSTAB ORIENTADO PARA COESÃO NO DIA 24/11/2008 UTILIZANDO OS DADOS DE ESTAÇÃO E O TRMM 3B42 CORRIGIDO PELO SSC DE NOVEMBRO DE 2008 COMO ENTRADA. NOTA-SE QUE O DADO SATELITÁRIO MESMO CORRIGIDO REDUZ DRÁSTICAMENTE A ÁREA CONSIDERADA INSTÁVEL EM RELAÇÃO AO DADO DAS ESTAÇÕES. O NÚMERO DE CICATRIZES INTERCEPTADAS É MAIS REDUZIDO, PORÉM O FOCO CONTINUA NA REGIÃO NORDESTE DA BACIA, ONDE SITUA-SE A ÁREA DRENADA PELO RIBEIRÃO BAÚ.	108
FIGURA 52 - ESTIMATIVA DE ÁREA MOBILIZADA ENTRE OS DIAS 22 E 23 DE NOVEMBRO DE 2008 PARA AS ESTAÇÕES E O TRMM CORRIGIDO PELO SSC DE NOVEMBRO DO RESPECTIVO ANO	109
FIGURA 53 - LOCALIZAÇÃO DAS CICATRIZES MOBILIZADAS ENTRE OS DIAS 22 E 23 CONFORME O RESULTADO DA APLICAÇÃO DO MODELO SHLASTAB ORIENTADO APRA COESÃO COM A PLUVIOSIDADE DAS RESPECTIVAS DATAS.	110
FIGURA 54 - PONTOS RELEVANTES VISITADOS NA BACIA DO RIO ITAJAÍ EM SETEMBRO DE 2017.	111
FIGURA 55 - CLASSIFICAÇÃO DO USO DO SOLO COM BASE EM FOTOINTERPRETAÇÃO DAS ORTHOFOTOS DISPONIBILIZADAS PELA EPAGRI.	112
FIGURA 56 - MAPEAMENTO DE CICATRIZES INICIAL, FEITO CONFORME O MÉTODO TRADICIONAL DE FOTOINTERPRETAÇÃO DIRETA NA IMAGEM, SEM CONSIDERAR OS DADOS ASSOCIADOS À MORFOMETRIA.	113
FIGURA 57 - TENTATIVA DE VIZUALIZAÇÃO DA MESMA CICATRIZ COM BASE DO MDT DISPONIBILIZADO, CONTANDO COM A ANÁLISE DE PERFIL QUE NÃO APRESENTA QUALQUER LINHA CLARA DE RUPTURA.	114
FIGURA 58 - VIZUALIZAÇÃO DO MESMO PERFIL NO MDS, ONDE NOTA-SE UMA LINHA CLARA DE RUPTURA QUE PODE SER ATRIBUIDA AO PORTE DA VEGETAÇÃO DA ÁREA (IGNORADO NO MDT).	114
FIGURA 59 - RESULTADO DO CÁLCULO DA DIFERENÇA ENTRE MDT E MDS ONDE SE RESSALTAM AS ÁREAS AS ÁREAS ONDE DE FATO HÁ UM REBAIXAMENTO, EVIDANCIANDO AS RUPTURAS NO PERFIL TOPOGRÁFICO ANALIZADO.	115
FIGURA 60 - DIFERENÇA NA SUBTRAÇÃO MDS - MDT CONFORME AS CLASSES DE USO, NOTA-SE QUE JUSTAMENTE AS CLASSES DE MAIOR "PORTE" CORRRESPONDEM AS MAIORES DIFERENÇAS.	115
FIGURA 61 - EXTRAÇÃO DAS CICATRIZES MAPEADAS A PARTIR DE MÁSCARA.	116
FIGURA 62 - INTERPOLAÇÃO DAS ÁREAS EXTRAÍDAS PARA SIMULAR UMA SUPERFÍCIE ANTERIOR AOS DELIZAMENTOS OCORRIDOS.	116



FIGURA 63 - DIFERENÇA ENTRE AS SUPERFÍCIES "ANTES" E "DEPOIS" DAS OCORRÊNCIAS MAPEADAS COMO CICATRIZES DE DESLIZAMENTO.....	117
FIGURA 64 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA ÁLGEBRA DE MAPAS REALIZADA PARA O PROCEDIMENTO DO CÁLCULO DE VOLUME.....	118
FIGURA 65 - REPRESENTAÇÃO PONTUAL DAS OCORRÊNCIAS DE CICATRIZES ASSOCIADAS A MOVIMENTOS GRAVIACIONAIS DE MASSA CLASSIFICADAS DE ACORDO COM A ESTIMATIVA DE VOLUME DE SOLO MOBILIZADO.....	119
FIGURA 66 - NÚMERO DE CICATRIZES CONFORME A HIERARQUIZAÇÃO DO VOLUMES MOBILIZADOS.	120
FIGURA 67 – DISTRIBUIÇÃO DAS CICATRIZES MAPEADAS CONFORME AS CLASSES DE VOLUME EM RELAÇÃO ÀS MÉDIAS PLUVIOMÉTRICAS DIÁRIAS DAS ESTAÇÕES EM TERRA NO PERÍODO DE 2004 A 2014.	121
FIGURA 68 - DISTRIBUIÇÃO DAS CICATRIZES MAPEADAS CONFORME AS CLASSES DE VOLUME EM RELAÇÃO ÀS MÉDIAS PLUVIOMÉTRICAS MENSAS DAS ESTAÇÕES EM TERRA NO MÊS DE NOVEMBRO DE 2008.	122
FIGURA 69 - CORRESPONDÊNCIA ENTRE AS ÁREAS DE SUSCEPTIBILIDADE PREVISTAS PELO SHALSTAB ORIENTADO PARA COESÃO E AS ÁREAS DE CICATRIZ COM VOLUME SUPERIOR A 10M ³ CONSIDERANDO O PERÍODO DE 15 A 25 DE NOVEMBRO.	123
FIGURA 70 - PERCENTUAL DE PIXELS CONSIDERADOS INSTÁVEIS CONSIDERANDO A COESÃO DE 15 A 25 DE NOVEMBRO EM TODA EXTENSÃO DA SUB-BACIA DO RIBEIRÃO BAÚ.	123
FIGURA 71 – APLICAÇÃO DO ALGORÍTIMO SHALSTAB PARA A SUB-BACIA DO RIBEIRÃO BAÚ CONSIDERANDO O CÁLCULO DA COESÃO CRÍTICA A PARTIR DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS DO PERÍODO DE 15 A 25 DE NOVEMBRO DE 2008 DA PLATAFORMA TRMM (3B42), CORRIGIDOS A PARTIR DO QUOCIENTE SSC PARA NOVEMBRO DE 2008.	124
FIGURA 72 - DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES DE SUSCEPTIBILIDADE (MDT) POR ÁREA EM RELAÇÃO À SUB-BACIA DO RIBEIRÃO BAÚ.	125
FIGURA 73 - PERCENTUAL DE CICATRIZES MAPEADAS EM COINCIDÊNCIA COM AS ÁREAS CONSIDERADAS INSTÁVEIS CONFORME AS CLASSES DE VOLUME.....	126
FIGURA 74 - CLASSES DE RISCO X NÚMERO DE CICATRIZES MAPEADAS POR VOLUME (MDT).....	126
FIGURA 75 - OVERALL (TAXA DE ACERTO GLOBAL) PARA AS AMOSTRAS ANALISADAS NA MATRIZ DE CONFUSÃO CONSIDERANDO 28 DIFERENTES COMBINAÇÕES DE PARÂMETROS DE SOLO. *O ENSAIO E1 CORRESPONDE AOS DADOS DE REFERÊNCIA EXTRAÍDOS DE SBROGLIA (2016)	127
FIGURA 76 - COEFICIENTE KAPPA CALCULADO A PARTIR DAS AMOSTRAS DE REFERÊNCIA PARA A MALHA AMOSTRAL ANALISADA CONSIDERANDO AS ÁREAS INSTÁVEIS E ESTÁVEIS NA SUB-BACIA DO RIBEIRÃO BAÚ. *O ENSAIO E1 CORRESPONDE AOS DADOS DE REFERÊNCIA EXTRAÍDOS DE SBROGLIA (2016)	128
FIGURA 77 – RELAÇÃO ENTRE AS TAXAS DE SUCESSO DO COEFICIENTE KAPPA E OS PARÂMETROS DE SOLO DEFINIDOS PARA OS ENSAIOS CONFORME OS INTERVALOS PRÉ-DEFINIDOS. OBSERVA-SE QUE OS DADOS UTILIZADOS COMO REFERÊNCIA* ESTÃO ENTRE OS DE MAIOR TAXA DE ACURÁCIA EM RELAÇÃO ÀS AMOSTRAS ANALISADAS.....	128



LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - AGENTES E CAUSAS DOS MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA (ADAPTADO DE GUIDICINI E NIEBLE, 1984)	4
TABELA 2 - PRINCIPAIS DESASTRES NATURAIS CONFORME DEFESA CIVIL DE SANTA CATARINA, 2016.	13
TABELA 3 - DADOS RELATIVOS ÀS PERDAS DO EVENTO DE 2008 - ADAPTADO DE FRANK E SEVEGNANI (2009).	15
TABELA 4 - VALORES DE VALIDAÇÃO CONFORME O COEFICIENTE KAPPA.....	30
TABELA 5 - PARÂMETROS UTILIZADOS NO TOPO TO RASTER (ADAPTADO DE FREITAS, 2012).	54
TABELA 6 - VALOR DOS PARÂMETROS UTILIZADOS COMO ENTRADA NO SHALSTAB.	59
TABELA 7 - ENSAIOS RELATIVOS AOS PARÂMETROS DE SOLO PARA ANÁLISE DE ACURÁCIA DO MODELO SHALSTAB ORIENTADO PARA COESÃO CRÍTICA.....	60
TABELA 8 - HIERARQUIZAÇÃO DAS CICATRIZES DE ACORDO COM A ESTIMATIVA DE VOLUME CALCULADA.	64
TABELA 9 - ESTIMATIVA DAS MÉDIAS DE PRECIPITAÇÃO COM BASE NAS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS ANALISADAS NA SÉRIE DE 2004 A 2014 CONSIDERANDO AS CLASSES DE VOLUME ESTABELECIDAS E A ÁREA TOTAL DA SUB-BACIA DO RIBEIRÃO BAÚ.	120
TABELA 10 - ESTIMATIVA DAS MÉDIAS DE PRECIPITAÇÃO COM BASE NAS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS ANALISADAS NO MÊS DE NOVEMBRO DE 2008, CONSIDERANDO AS CLASSES DE VOLUME ESTABELECIDAS E A ÁREA TOTAL DA SUB-BACIA DO RIBEIRÃO BAÚ.....	121



LISTA DE SIGLAS

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

ASTER - ADVANCED SPACEBORNE THERMAL EMISSION AND REFLECTION RADIOMETER

CEMADEN – CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTA DE DESASTRES NATURAIS

CENAD – CENTRO NACIONAL DE GERENCIAMENTO DE RISCOS E DESASTRES

CEPED – CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES

CGIAR/CSI - CONSORTIUM FOR SPATIAL INFORMATION

CIRAM – CENTRO DE INFORMAÇÕES DE RECURSOS AMBIENTAIS E DE HIDROMETEOROLOGIA DE SANTA CATARINA

CNPQ – CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO

EPAGRI – EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA

GPM – GLOBAL PRECIPITATION MISSION

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA

JAXA - JAPAN AEROSPACE EXPLORATION AGENCY

LSIE – LABORATÓRIO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO ESPACIAL

NASA – NACIONAL AERONAUTICS AND SPACE INFORMATION

NDVI - NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX

ROC – RECEIVER OPERATING CHARACTERISTIC

SDS – SECRETARIA DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO SUSTENTÁVEL DE SANTA CATARINA

SHALSTAB – SHALLOW LANDSLIDE STABILITY ANALYSIS

SINMAP – STABILITY INDEX MAPPING

SRTM - SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHY MISSION

SSC – SITE SPECIFIC COEFFICIENT

TRIGRS - TRANSIENT RAINFALL INFILTRATION AND GRID-BASED REGIONAL SLOPE-STABILITY ANALYSIS

TRMM – TROPICAL RAINFALL MEASURE MISSION



1 INTRODUÇÃO

No início deste século mais de 1 milhão de pessoas foram vitimadas em decorrência de desastres naturais, considerando os 3.867 eventos catalogados pelo *World Disaster Report* entre os anos de 2004 e 2013 (IFRC, 2014). De acordo com o mesmo documento, estima-se que no período de 1994 a 2013 o número de vítimas fatais no Brasil tenha sido superior a 6.000 pessoas. O Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (CEPED UFSC, 2013) informa que nas décadas 1990 e 2000 os movimentos de massa foram os eventos catastróficos que apresentaram o aumento mais relevante, cerca de 96%.

Os movimentos de massa podem ser definidos como o transporte do material de uma vertente sob influência da gravidade que ocorre continuamente em diferentes escalas de tempo e espaço, configurando-se como parte da evolução do relevo e influenciando diretamente nos ecossistemas e na diversidade biológica em todo planeta. O termo deslizamento (*landslide*) é utilizado usualmente na literatura anglo-saxônica como sinônimo de movimento de massa, sendo, todavia, na literatura especializada, tratado de forma distinta em relação a fenômenos de rastejo (*creep*), queda (*rock fall*) e corrida (*flow*). Desta forma, o deslizamento pode ser caracterizado como um evento de curta duração que ocorre em um plano de ruptura bem definido onde o principal agente desencadeante é a chuva (GUIDICINI e NIEBLE, 1984).

Entre os anos de 1988 e 2017, o número de deslizamentos registrados com caráter de perdas humanas ou materiais relevantes no país alcançou taxas alarmantes. Somente no Rio de Janeiro, o montante foi de 1.841 eventos, havendo destaque ainda para São Paulo e Bahia com 465 e 222 registros, respectivamente. Isoladamente, nos últimos anos, foram catalogados eventos de grande impacto ocorridos em diversos municípios, em especial nos estados de Santa Catarina e do Rio de Janeiro. Os procedimentos propostos nesta tese foram direcionados a uma área de estudo reconhecidamente problemática que engloba a região da Bacia do Rio Itajaí em Santa Catarina, onde diversos fenômenos de deslizamento causaram danos expressivos, em especial na Sub-Bacia do Ribeirão Baú no mês de novembro do ano de 2008.

Diversos estudos têm avaliado a susceptibilidade a deslizamentos nas zonas de elevada incidência, buscando estimar os locais com maior potencial e classificar os fatores que os desencadeiam, considerando principalmente o papel desempenhado pela chuva. Os métodos mais usuais para a previsão deste tipo de fenômeno se pautam na relação empírica entre as características da precipitação e a ocorrência de deslizamentos anteriores. Além disso, os mapas de perigo devem, quando possível, incluir alguma avaliação da probabilidade de novos deslizamentos de terra, implicando assim a consideração de uma dimensão temporal (REMONDO, 2003).

O aumento efetivo de precisão destas previsões inserido no âmbito do planejamento e ordenamento do território pode contribuir para a conscientização acerca da relevância deste tema, tornando viável identificar potenciais áreas problemáticas e desenvolver



planos de evacuação e mitigação a partir das extensões espaciais do perigo conhecido (LIAO, 2010; MARTINS, 2015). Diversos pesquisadores têm se focado no aperfeiçoamento de métodos de previsão, considerando novos usos e diversas formas de comparação entre as ferramentas existentes (ex. ZIZIOLI, 2013; BERGUÉRIA, 2006; HONG *et al.*, 2006; ROODPOSHTI, 2016; LIAO, 2010; e MINDER *et al.*, 2009). Dentre as ferramentas de maior destaque encontra-se o algoritmo SHALSTAB – *Shallow Landslide Stability Analysis* (MONTGOMERY e DIETRICH, 1994) que combina um modelo hidrológico com um modelo de estabilidade de encostas a fim de determinar a razão entre diversos parâmetros necessários para causar um deslizamento.

Milhares de deslizamentos de terra podem ser desencadeados por uma única tempestade intensa, causando danos espetaculares num curto período de tempo e em uma ampla área (HONG *et al.* 2006). Sendo assim, neste tipo de estudo, é evidente que os dados de chuva demandam um grau de precisão considerável. Neste sentido, considerando o território brasileiro, o quadro se agrava devido à limitação da quantidade de medidores quando se consideram grandes extensões ou as zonas de difícil acesso, uma vez que os deslizamentos ocorrem preferencialmente em regiões de relevo dissecado e altas declividades.

Apesar das dificuldades, a avaliação da suscetibilidade aos deslizamentos de terra desperta o interesse da comunidade científica que têm encontrado no sensoriamento remoto um importante aliado, graças aos avanços que proporcionam o acesso a técnicas e produtos com um maior grau de precisão. Estes produtos são, em grande parte, disponibilizados de forma gratuita ou relativamente menos onerosa se comparada aos levantamentos de campo para grandes áreas, apresentando assim um grande potencial que pode ser intensamente explorado em áreas onde haja carência de informações, como no caso do Brasil. Na previsão de deslizamentos os dados de sensoriamento remoto podem cumprir um papel de destaque, uma vez que possibilitam a detecção de eventos pluviométricos numa malha contínua com periodicidade e precisão previamente conhecidos, como no caso da missão TRMM (*Tropical Rainfall Measure Mission*) que monitorou entre os anos de 1997 e 2015 toda a zona intertropical do planeta com uma periodicidade de 3 horas numa resolução espacial de 0,25°.

Além da chuva, dados topográficos de resolução compatível com a escala dos fenômenos estudados são essenciais para entender a dependência espaço-temporal associada aos processos de deslizamento (GOMES *et al.*, 2005). O sensoriamento remoto vem sendo a principal alternativa metodológica para suprir a demanda por este tipo de informação a partir de levantamentos aéreos ou satelitários, a depender da escala de investigação. Além disso, os produtos de sensoriamento viabilizam o conhecimento da cobertura do solo mesmo em áreas de difícil acesso e proporcionam sistematicamente conhecimento acerca da variação espacial das chuvas, um grande avanço onde há ausência de registros pontuais, o que aumenta significativamente a precisão dos modelos hidrológicos (MARTIN *et al.*, 2002; GUO *et al.*, 2004).



1.1 OBJETIVO GERAL

O presente estudo tem como objetivo geral a identificação de áreas susceptíveis a ocorrência de escorregamentos a partir de índices de coesão crítica, na bacia do rio Itajaí em Santa Catarina.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar a compatibilidade entre os dados de precipitação de estações pluviométricas e plataforma TRMM para os eventos ocorridos na bacia do Rio Itajaí de acordo com a interação a chuva e o desencadeamento dos eventos de deslizamento;
- Associar o uso do algoritmo SHALSTAB orientado para o cálculo da coesão crítica aos dados de satelitários, visando à definição de áreas susceptíveis em caráter dinâmico para um evento crítico;
- Propor um método de detecção para as cicatrizes de deslizamentos pretéritos que levem em conta parâmetros que vão além da acuidade visual do investigador a partir da inserção de dados topográficos para visualização dos limites mapeados;
- Realizar um estudo sobre a acurácia do algoritmo SHALSTAB em relação a uma área já afetada por fenômenos de deslizamento em maior detalhe a partir de sua precisão em relação às cicatrizes mapeadas e às estimativas de volume relativo de material mobilizado.



2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 MOVIMENTOS DE MASSA - FATORES CONDICIONANTES

Os diferentes tipos de movimentos de massa dependem das condições locais como: estrutura geológica; tipo dos materiais; declividade, orientação e forma da vertente; área de contribuição; atividade tectônica; erosão; processos atmosféricos e hidrológicos; cobertura vegetal ou intervenção antrópica (CROZIER, 2004a). Deste modo é importante salientar que estes fenômenos derivam da combinação de diversos mecanismos e se alteram na medida em que o material se desloca para jusante, congregando mais de um tipo de classe, já que podem, por exemplo, num caso mais típico, serem deflagrados como deslizamentos translacionais e se transformarem gradativamente em uma corrida devido ao excesso de água (FERNANDES *et al.*, 2001; DIKAU, 2004b).

A Tabela 1 apresenta um resumo das principais causas e agentes para os processos de escorregamento de modo geral.

Tabela 1 - Agentes e Causas dos Movimentos Gravitacionais de Massa (Adaptado de Guidicini e Nieble, 1984)

CAUSAS	Internas	Efeito das oscilações térmicas; redução dos parâmetros de resistência ao cisalhamento por intemperismo (aumento da pressão hidrostática, diminuição da coesão e ângulo de atrito interno do material).	
	Externas	Mudanças na geometria da encosta; efeitos de vibrações; mudanças na inclinação das encostas por processos naturais ou artificiais.	
	Intermediária	Elevação do nível piezométrico em massas homogêneas; elevação da coluna d'água em descontinuidades; rebaixamento rápido do lençol freático; erosão subterrânea retrogressiva (<i>pipping</i>); diminuição do efeito da coesão aparente.	
AGENTES	Predisponentes	Condições geológicas (mineralógica, tectônica e estratigráfica), geomorfológicas (inclinação e forma das vertentes) e climatológicas (regime hidrológico), além da ação gravitacional, calor e vegetação.	
	Efetivos	Preparatórios	Pluviosidade, erosão pela água e vento, congelamento e degelo, variação de temperatura, dissolução química, ação de fontes e mananciais, oscilação do nível de lagos e marés e do lençol freático, ação de animais e humana, inclusive deflorestamento.
		Imediatos	Chuvas intensas, fusão de gelo e neves, erosão, terremotos, ondas, ventos, ação do homem, etc.

As causas se relacionam com fatores que ocorrem internamente, externamente ou ainda na interação existente entre o exterior e o interior das camadas envolvidas. Sendo assim, as causas elencadas são as investigadas pelas modelagens mais utilizadas e podem ser previstas e estudadas com um determinado grau de precisão e previsibilidade.

Já os agentes podem ser interpretados como os reais “gatilhos” ou motivos pelos quais os movimentos de massa ocorrem em determinadas localidades. No estudo destes fatores a declividade desempenha um papel de destaque. Entretanto, dada a interação dinâmica entre os agentes, nem sempre as áreas de maior declividade correspondem às maiores taxas de movimentação, já que interagem com as variações



na forma das vertentes afetadas, estrutura geológica, características pedológicas, presença de cobertura vegetal e interferências antrópicas.

A natureza geológica é que define a resistência dos materiais e dita tanto a pedogênese quanto as formas de relevo encontradas em determinada região influenciando, portanto, de maneira direta para o surgimento de áreas susceptíveis à deflagração dos movimentos de massa. As fraturas e falhas influenciam de modo ainda mais direto em zonas de afloramento superficial representando rotas hidráulicas preferenciais tanto para orientação dos deslizamentos e corridas quanto para o intemperismo diferencial que mecanicamente favorece o surgimento de quedas e rastejos (FERNANDES e AMARAL, 2003).

As formas das encostas podem ser classificadas em retilíneas, côncavas e convexas exercendo um notável papel no que se refere à geração de zonas de convergência e divergência dos canais d'água, ditando as concentrações de fluxo e, por consequência, as áreas de contribuição. Desta maneira, embora as encostas retilíneas proporcionem as maiores velocidades de fluxo, as seções côncavas, por serem zonas de convergência de sedimentos e de fluxos d'água, são as mais favoráveis para a ocorrência de escorregamentos devido à concentração de água, tanto em superfície quanto em sub-superfície, que favorece a condição de saturação dos horizontes pedológicos (SELBY, 1993; FERNANDES e AMARAL, 2003).

Nota-se, porém, que as encostas convexas não estão isentas de participação na deflagração destes fenômenos. Como exemplo é possível citar o trabalho de Fernandes *et al.* (2001) que avaliaram o potencial da combinação entre levantamentos em campo apoiados pelo uso de modelos matemáticos buscando uma previsão eficiente da localização temporal e espacial dos escorregamentos na região da Serra do Mar nas bacias dos rios Quitite e Papagaio (RJ). O estudo concluiu que a maior ocorrência está associada a encostas de formato convexo com declividades entre 18 e 38 graus e que os valores relativos à modelagem matemática de área de contribuição são especialmente importantes na previsão das áreas susceptíveis nestas condições.

Pedologicamente as próprias diferenças de textura, permeabilidade, ângulo de atrito e profundidade dos solos desempenham um papel importante, sendo utilizadas como dados de entrada para modelos de previsão. Além disso, a presença de rochas consolidadas na massa do solo contribui para desencadear movimentos de massa tanto pelo aspecto gravitacional, quanto pela diferença de texturas que gera descontinuidades favorecendo o surgimento de fluxos subsuperficiais com forte componente lateral, diminuindo a resistência ao cisalhamento nas zonas de contato e gerando planos potenciais de ruptura (FERNANDES e AMARAL, 2003, PRADHAN, 2010). A coesão é o parâmetro que expressa a atuação das forças entre as partículas do solo, que dentre outras características, fazem com que horizontes minerais subsuperficiais dos solos sejam resistentes quando secos e friáveis quando úmidos. As mesmas descontinuidades podem ser agravadas pela presença de grande quantidade de água que aumenta o peso específico do solo, favorecendo o deslocamento da massa pela ação da gravidade envolvendo a precipitação que pode



ser considerada como o principal agente em se tratando de movimentos de massa com grande potencial destrutivo.

2.2 MOVIMENTOS DE MASSA E PRECIPITAÇÃO

2.2.1 Precipitação

Entende-se por precipitação a água proveniente do vapor da atmosfera depositada na superfície terrestre como chuva, granizo, orvalho, neblina, neve ou geada (PINTO *et al.*, 1976). Segundo Kummerow *et al.* (2000), a precipitação é um dos parâmetros atmosféricos mais difíceis de mensurar devido a sua alta variabilidade no espaço e no tempo. Os eventos relacionados à precipitação são tanto mais raros quanto mais intensos e se formam basicamente a partir da ascensão das massas de ar diretamente influenciada por pressão, temperatura, umidade relativa e circulação resultante de ar úmido. Esta ascensão provoca um resfriamento que atinge um ponto de saturação, a partir do qual ocorre a condensação em forma de minúsculas gotas que são mantidas em suspensão como nuvens ou nevoeiros. As gotículas formadas crescem a partir de núcleos (que podem ser gelo, poeira ou outras partículas) até atingirem peso suficiente para vencer as forças de sustentação descendo em direção ao solo por gravidade.

Os tipos de precipitação podem ser classificados conforme o fator responsável pela ascensão do ar, subdividindo-se em:

Frontais – Quando ocorrem ao longo da linha de descontinuidade que separa duas massas de ar de características diferentes. Este tipo de precipitação ocupa grandes áreas e atinge intensidades baixas ou moderadas em eventos relativamente homogêneos de longa duração.

Orográficas – Desencadeiam-se quando o ar é forçado a transpor barreiras de montanhas ou grandes elevações comportando-se de maneira semelhante às precipitações frontais no que diz respeito à intensidade e duração.

Convectivas – São provocadas pela ascensão de ar devido às diferenças de temperatura na camada vizinha da atmosfera. São conhecidas como tempestades ou trovoadas tendo curta duração e formando-se independentes das “frentes”. Uma de suas características marcantes é a presença de fenômenos elétricos, rajadas de vento e forte intensidade. Restringem-se, na maioria dos casos, a pequenas áreas.

No que tange aos movimentos de massa é importante conhecer estas características considerando que, em relação à precipitação, quatro são os atributos que devem ser observados: altura acumulada; intensidade; precipitação antecedente; e duração (SIDLE e OCHIAI, 2006). Todos estes fatores dependem basicamente de medições, expressas, tradicionalmente, pela altura de água caída e acumulada sobre uma superfície plana e impermeável a partir da qual seja possível extrair valores relativos a uma estimativa do total precipitado num determinado período. Para este fim são



utilizados aparelhos chamados pluviômetros, responsáveis por registrar os valores de chuva numa superfície horizontal de 200 cm² a uma altitude de 1,5 m do solo.

No Brasil existem diversas agências mantenedoras de redes pluviométricas, considerando que o método é relativamente simples, pouco oneroso e vem sendo realizado há bastante tempo. Entretanto, os dados de chuva disponíveis não são muito numerosos, ainda mais quando se considera a validade das medidas, que correspondem apenas aos pontos onde estão colocados os aparelhos, já que, naturalmente, existem diferenças entre a água colhida numa pequena amostra e a real quantidade de chuva que chega ao solo. Acréscimos simultâneos em dois ou mais medidores colocados a uma pequena distância são diferentes, logo, os dados não podem ser utilizados puramente como se fossem números a serem processados, devendo haver sempre um critério acerca da precisão necessária para cada caso.

De acordo com Pradhan (2010), em muitas zonas climáticas, em especial na tropical, a distribuição topográfica e espacial da precipitação, considerando eventos de maior intensidade, torna difícil a mensuração com um grau satisfatório de precisão. Nestes casos as chuvas podem se localizar em áreas isoladas que por vezes cobrem uma extensão pouco expressiva. Entretanto, as precipitações de maior intensidade se configuram como um dos gatilhos mais eficientes para deflagrar os deslizamentos de larga escala.

A intensidade das precipitações é normalmente expressa em mm/min ou mm/hora. Quando a chuva dura um ou mais dias é expressa, em geral, pela altura precipitada e não em termos de intensidade. Esta quantidade varia no decorrer do tempo, logo, a intensidade instantânea é usualmente calculada a partir da Equação 1 a seguir:

Equação 1 - Intensidade de Precipitação

$$i = \frac{dh}{dt}$$

Onde:

i = intensidade instantânea

dh = acréscimo de altura pluviométrica

dt = intervalo de tempo infinitésimo

Visando extrapolar as medições pontuais, Garcez e Alvarez (1988) apontam para o uso de três métodos de cálculo que são utilizados até os dias atuais:

Média Aritmética: Corresponde à soma simples das precipitações observadas num certo intervalo de tempo, simultaneamente, em todos os postos pluviométricos (a duração pode ser parcial ou total, de um episódio pluvial isolado ou qualquer outra, como um mês, um trimestre, ou um ano) com a divisão do resultado pelo número total de medidores.

Método de Thiessen: Produz bons resultados apenas quando o relevo não é muito dissecado (o que não ocorre nos estudos em questão) e consiste em dar pesos aos



totais precipitados em cada aparelho, sendo estes proporcionais à área de influência de cada um.

Método das Isoietas: Dá margem ao julgamento do utilizador podendo alcançar uma maior precisão ao seguir a mesma lógica da confecção de curvas de nível onde a topografia é substituída pelos dados de precipitação. No caso, por exemplo, de regiões com relevo movimentado, embora os postos em geral se localizem na parte mais plana, é sempre possível levar em consideração a topografia dando pesos às precipitações, de acordo com a altitude do aparelho.

O ultimo método é o mais coerente, uma vez que o relevo influi diretamente na ascensão das massas de ar responsáveis pela formação das precipitações. Estudos apontam que áreas com maior elevação geralmente recebem uma maior quantidade de precipitação em comparação com áreas mais baixas (BRUNSDON *et al.*, 2001) . Esta relação, conforme apontado por Garcia-Martino *et al.* (1996), é mais marcante nas estações chuvosas que nas estações secas. A dimensão e o efeito deste mecanismo são conhecidos de longa data e dependem da orientação da vertente, bem como da sua capacidade de abrandar a velocidade do movimento de uma tempestade (no caso de eventos convectivos) ou de provocar uma elevação da massa de ar (em eventos orográficos), havendo, portanto, relevância tanto da altimetria quanto da declividade nesta interação (DALY, C. *et al.*, 1994).

Nota-se, porém, que a partir de certo patamar os níveis de precipitação decrescem de maneira abrupta, sendo que esse limiar varia de acordo com a localidade, mas, em geral, os maiores níveis se concentram nos topos (VERLINDE, 2011). No Brasil um dos maiores exemplos da relevância deste processo é a Serra do Mar, onde, por consequência, concentram-se os maiores índices de deslizamentos no âmbito nacional (WOLLE e CARVALHO, 1989; TATIZANA, 1987, DE PLOEY e CRUZ, 1979).

2.2.2 PRECIPITAÇÃO X MOVIMENTOS DE MASSA

O clima cumpre um papel fundamental na dinâmica dos movimentos gravitacionais de massa agindo tanto como agente predisponente, ou seja, como preparador do potencial de instabilização das encostas, quanto como causa imediata e deflagratória das instabilizações (WOLLE, 1988). Particularmente, o número de deslizamentos de terra e a importância relativa da precipitação no seu desencadeamento dependem da influência de diversos atributos atrelados às condições climáticas como média anual, antecedentes e intensidade das chuvas (SIDLE e OCHIAI, 2006).

A definição utilizada pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT, 1988), vai de encontro às conclusões de diversos estudos ao afirmar que a pluviosidade não se constitui propriamente em um condicionante do deslizamento, mas sim no principal agente deflagrador imediato do processo. De acordo com esta abordagem, as chuvas intensas podem interferir de três maneiras na estabilidade de encostas:



- **Diminuição da coesão e ângulo de atrito** – testes de resistência ao cisalhamento em laboratório mostram que a passagem de meio não saturado para saturado, em amostras ensaiadas, causam a diminuição da coesão e ângulo de atrito, principalmente a parcela coesão aparente.
- **Aumento do peso específico do solo** - mesmo antes de se atingir a saturação, com o umedecimento do solo há um aumento do peso específico deste, que reflete numa diminuição no fator de segurança.
- **Formação de nível hidrostático** – localmente pode ocorrer na encosta um meio mais permeável sob um meio menos permeável, criando condições para formação de um nível d'água, mesmo que de curta duração. Neste caso, poderão se estabelecer linhas de fluxos paralelos à encosta, com o mesmo sentido da tensão cisalhante, além da tensão normal ser diminuída pela atuação da pressão neutra. Ambos os fatores favorecem a ocorrência dos escorregamentos.

Nota-se, portanto, que em se tratando dos deslizamentos, a importância da precipitação se dá pelo que ocorre após a infiltração da água no solo. Conforme Pinto *et al.* (1976), o modo pelo qual a água se movimentará pelos interstícios do solo é determinado em função da ação das forças de atração molecular; tensão superficial e atração gravitacional que se somam à natureza do terreno. Deste modo, os vazios oriundos da porosidade poderão ser parcialmente ocupados, enquanto o ar preenche os demais espaços livres, ou totalmente ocupados gerando uma situação de pressão hidrostática.

Henry Darcy foi o responsável pelas primeiras observações experimentais sobre o escoamento através destes meios porosos. Ao examinar as características do fluxo através de filtros de areia, ele concluiu que a vazão era diretamente proporcional à carga hidrostática e inversamente proporcional à espessura da camada, relação esta conhecida universalmente como lei de Darcy. A formulação pode ser expressa pela Equação 2:

Equação 2 – Lei de Darcy

$$Q = K \times A \times \frac{H}{L} = K \times A \times J$$

Ou

$$V = \frac{Q}{A} = K \times J$$

Onde

Q = Vazão

A = área total da seção do escoamento (incluindo sólidos)

K = coeficiente de proporcionalidade (permeabilidade)

$\frac{K}{L} = J$ = perda de carga unitária



V = velocidade média aparente

Nota-se, porém, que qualquer tentativa de estabelecer uma expressão geral para o escoamento através de meios porosos, depara-se com uma grande dificuldade na definição da configuração dos interstícios, visando à interpretação correta de sua influência sobre a filtração ao movimentar-se pelos “vazios” (PINTO *et al.*, 1976).

Para a maior parte do país, a precipitação é tradicionalmente estimada a partir do uso do pluviômetro, instrumento que demanda trabalho manual e opera a partir de uma rede limitada que coleta informação atendendo a um determinado raio no entorno dos pontos de medição. Deste modo, o cálculo do volume total de chuva implica diretamente no uso de técnicas de interpolação estatística que estimam padrões artificiais, onde o processo físico de formação da chuva na atmosfera é desconsiderado (VERLINDE, 2011). Com a prática de extrapolação/interpolação, admite-se uma estimativa de precipitação para áreas mais distantes dos pontos medidos, sem qualquer indício físico real sobre a quantidade de precipitação verdadeiramente ocorrida (Conti, 2002).

Conforme Collischonn (2006), os radares meteorológicos poderiam se constituir em uma solução, considerando que os problemas de drenagem em pequenas bacias urbanas e a ocorrência frequente de fenômenos convectivos de grande intensidade justificam o investimento. Entretanto, como a área de abrangência desses radares é limitada, a simulação ou previsão em bacias de maior porte é reduzida. Além disso, Calvetti *et al.* (2003) apontam uma série de limitações nas estimativas feitas por radares havendo, por exemplo, uma tendência a subestimativa da precipitação por atenuação do sinal devido à distância e interferência de barreiras físicas. Conti (2002) alerta para o fato de que o radar deve ser calibrado periodicamente com dados conhecidos de precipitação, necessitando ser acompanhado por postos pluviométricos convencionais.

Estudos vêm sendo desenvolvidos com a finalidade de determinar a importância dos padrões climatológicos, na detecção da susceptibilidade a deslizamentos. Alguns autores tentam estabelecer uma relação matemática entre chuvas e escorregamentos. No Brasil, Guidicini e Iwasa (1976) estabeleceram uma correlação entre as chuvas em meio tropical úmido e os escorregamentos. Os autores concluíram que índices pluviométricos acima de 250 mm – 300 mm diários são suficientes para desencadear movimentos de massa praticamente em qualquer situação e que valores diários em torno de 20% da pluviosidade média anual são favoráveis à deflagração de grandes episódios de escorregamentos.

Ainda neste sentido, Caine (1980) coletou um conjunto mundial de dados de precipitação registrados perto de locais relatados em ocorrências de deslizamentos e buscou estimar um limite de precipitação / deslizamento considerando as maiores intensidades registradas e seu tempo de duração. Cannon e Ellen (1985) desenvolveram limiares de precipitação para a região da Baía de São Francisco



(Califórnia/EUA) com base em combinações de intensidade de precipitação mais baixas e duração de várias grandes chuvas históricas.

Lumb (1975) examinou deslizamentos em encostas correlacionando sua ocorrência com as características da precipitação. Considerando índices de 24 horas *versus* a precipitação dos 15 dias anteriores ele observou que eventos desastrosos, responsáveis por mais de 50 deslizamentos de terra em um dia, ocorreram somente quando a precipitação de 24 horas excedeu 100 mm e a precipitação de 15 dias antecedentes ultrapassou 350 mm. Eventos graves causando entre 10 e 50 deslizamentos de terra em um dia foram desencadeados por chuvas de 100 mm / dia após 200 mm de precipitação antecedente.

Brand *et al.* (1984) examinaram a mesma correlação proposta por Lumb (1975) usando a precipitação de dados coletados em 46 estações automáticas distribuídas em Hong Kong e informações sobre o horário de ocorrência dos deslizamentos de terra. Os autores concluíram que a precipitação antecedente não foi um fator importante, exceto no caso de ocorrências atreladas a pequenos volumes. A grande maioria deslizamentos de terra em Hong Kong foi induzida por chuvas de curta duração e de alta intensidade. O estudo ressalta ainda que grande parte dos deslizamentos ocorreu ao mesmo tempo no pico das precipitações registradas, onde uma intensidade de 70 mm/h pareceu ser o valor limiar acima do qual os deslizamentos que resultaram em acidentes ocorreram (DAI, 2001).

Posteriormente, Finlay *et al.* (1997) analisaram a relação entre a probabilidade de ocorrência de deslizamentos e precipitação usando dados de 1984 a 1993, concluindo que a precipitação num intervalo de 3 horas é, seguramente, a mais importante na previsão do número de deslizamentos de terra. Entretanto, a precipitação antecedente também tem alguma influência, como apontam Punet *al.* (1999) ao examinar a eficácia dos critérios existentes para advertência acerca de deslizamentos de terra. Os autores concluíram que o limite de precipitação de 70 mm / h estabelecido por Brand *et al.* (1984) pode deixar de ser aplicável dependendo da escala, pois varia conforme a área afetada, sendo que análises realizadas em outras partes do mundo (COSTA, 1984; CAMPBELL, 1975; WILSON e WIECZOREK, 1995; CROZIER, 1986) apontam que tanto o antecedente de chuvas quanto a intensidade crítica são igualmente importantes para desencadear tais fenômenos. O significativo período de chuvas antecedentes, no entanto, pode variar de horas para semanas, dependendo das condições do local, particularmente a permeabilidade e a espessura do solo (WIECZOREK, 1987).

Para solos mais permeáveis, como na maioria das áreas tropicais onde a superfície de deslizamento é geralmente superficial, o período de precipitação antecedente necessário é considerado muito curto e, logo, as precipitações antecedentes constituem um fator menos importante (BRAND, 1995). Ainda assim, Wolle e Carvalho (1989) mostram que a ação combinada de chuva precedente e chuva intensa de curta duração, favorecem a ocorrência de escorregamentos, pois mais rápido ocorre a saturação em superfície, com maior velocidade de avanço da frente de saturação.



Além disso, conforme citado anteriormente, em regiões de desnível altimétrico elevado, os regimes de circulação atmosférica proporcionam padrões distintos de precipitação de acordo com a topografia o que favorece níveis de saturação heterogêneos para o solo das regiões afetadas.

Minder *et al.* 2009 buscaram caracterizar a influência das precipitações de pequena escala na deflagração de movimentos translacionais usando um modelo regional de mesoescala (MM5) em associação com o modelo SHALSTAB para uma área de clima temperado na região noroeste dos Estados Unidos. Este estudo teve como principal contribuição a possibilidade de associação entre a distribuição espacial dos dados de chuva e a variabilidade das propriedades do solo relacionando os índices pluviométricos numa escala temporal a taxas de coesão do solo consideradas críticas para deflagração dos processos de movimentação de massa. O comportamento das propriedades físico-químicas do solo modifica-se ao longo de processos que, em geral, são bastante longos. Logo, ao realizar a análise em séries de longa duração torna-se mais evidente o comportamento do solo em qualquer tipo de condição e não apenas nos eventos catastróficos. Além disso, o estudo de séries históricas mais longas evidencia a importância do comportamento orogênico do clima neste tipo de processo.

Em estudos realizados nas encostas da Serra do Mar, Wolle e Hachich (1989), relatam a necessidade de uma duração mínima de chuva, acumulada a partir de quatro dias, para que se produza o avanço da frente de saturação e os escorregamentos sejam deflagrados. Tatizana *et al.* (1987) estabelecem este limiar em 180 mm/dia. Em estudos mais recentes para áreas de solo tropical, Santos (2004) aponta que na Serra do Mar os escorregamentos translacionais rasos costumam ocorrer relacionados à chuvas com intensidade a partir de 100 mm/dia, quando precedidas por períodos de pelo menos 3 dias com chuvas mais fracas, favorecendo a saturação dos solos. Aristizabal (2015) realizou uma análise em área de solo tropical e relevo movimentado na parte sul dos Andes colombianos, considerando três intensidades críticas de precipitação definidas em 30, 60 e 90 mm / h. Os resultados obtidos pela intensidade de chuva de 90 mm / h são os que melhor se adequam às falhas registradas durante o evento estudado.



2.2.3 DESLIZAMENTOS EM SANTA CATARINA

Santa Catarina é, historicamente, um estado constantemente assolado por catástrofes naturais associadas ao clima. A Tabela 2 apresenta uma síntese dos grandes eventos com vítimas fatais ocorridos nas 4 últimas décadas.

Tabela 2 - Principais desastres naturais conforme Defesa Civil de Santa Catarina, 2016.

Áreas Afetadas	Ano	Evento	Estimativa de Vítimas	
			Desabrigados	Mortos
Município de Tubarão	1974	<u>Enchente</u> histórica no rio Tubarão com cheia de 10,22 metros após 2 dias de chuvas intensas.	60.000	199
Todo estado de Santa Catarina com foco no Vale do Itajaí (Cidade mais afetada – Blumenau)	1983 e 1984	Grandes <u>enchentes</u> com duração de até 31 dias e cheias de 15,46 metros.	155.000	16
Cidades do litoral Sul de Santa Catarina e Norte do Rio Grande do Sul	2004	<u>Furacão</u> Catarina - velocidade de ventos de 180 km/ h, classificado como classe 2 na escala Saffir-Simpson.	33.000	11
Municípios do Vale do Itajaí (Ilhota com maior número de vítimas)	2008	Chuvas com médias diárias entre 150 e 300 mm de 20 a 24 de novembro causando <u>deslizamentos</u> generalizados.	78.000	135
Municípios do Vale do Itajaí	2011	<u>Enchentes</u> de grande proporção com cheias de até 12 metros e <u>deslizamentos</u> pontuais. Acúmulos superiores a 187 mm de chuva em 3 dias.	26.000	6

Em levantamento recente, Magnago *et al.* (2015) analisaram os dados disponibilizados pela Defesa Civil do estado de Santa Catarina entre os anos de 2011 e 2013 onde, conforme as estatísticas de atendimento foram registrados 970 eventos. A distribuição dos casos analisados aponta que a estação do verão concentra o maior número de ocorrências devido à ação das chuvas convectivas, considerando que a maior parcela se associa diretamente a pluviosidade, em especial às enchentes, que predominam nos registros.

Analisando a Tabela 2 nota-se que a região do Vale do Itajaí concentra a maior parte dos eventos catastróficos catalogados. Alguns fatores contribuem para este padrão. A Bacia do Rio Itajaí se caracteriza por sua geomorfologia de vales encaixados e declividades elevadas com a formação de extensos depósitos coluviais (TOMAZZOLI *et al.*, 2009). Tais características favorecem a deflagração de movimentos de massa, além de propiciarem fluxos superficiais confinados onde as águas e detritos correm



com maior velocidade e em um tempo muito curto, causando inundações mais bruscas e destrutivas. Parte deste panorama se deve à localização da bacia, situada no contato entre uma sequência de elevações rochosas constituídas pelas serras do Mar, do Leste Catarinense e Geral (ROSA, 1991).

Dentre os desastres catalogados, o de 2008 é considerado o mais expressivo. Entre os dias 21 e 24 de novembro daquele ano, um volume elevado de precipitações intensas e concentradas precedido por um longo período de chuvas menos expressivas nos três meses anteriores, provocaram numerosos movimentos de massa, fato que, combinado com o padrão de ocupação da área, foi fatal para população, correspondendo a mais de 97% dos óbitos ocorridos neste evento (SBROGLIA, 2015).

Em novembro de 2008 foram identificados mais de 4 mil pontos de movimentos de massa em todo o vale, além das inundações com cheias que alcançaram 11 metros no município de Itajaí nos dias 23 e 24 (DIAS, 2009). Este cenário catastrófico tem sua magnitude evidenciada pela Figura 1, que elenca os decretos de estado de calamidade pública desde o ano de 2004 (ano do Furacão Catarina). Conforme o histórico, disponível no site da Defesa Civil do estado (<<http://www.defesacivil.sc.gov.br>>), o mês de novembro de 2008, isoladamente, concentrou mais decretos de calamidade pública que todos os demais anos levantados, sendo superado somente pelo ano de 2004 em evento que se alastrou por grande parte do litoral sul do país.

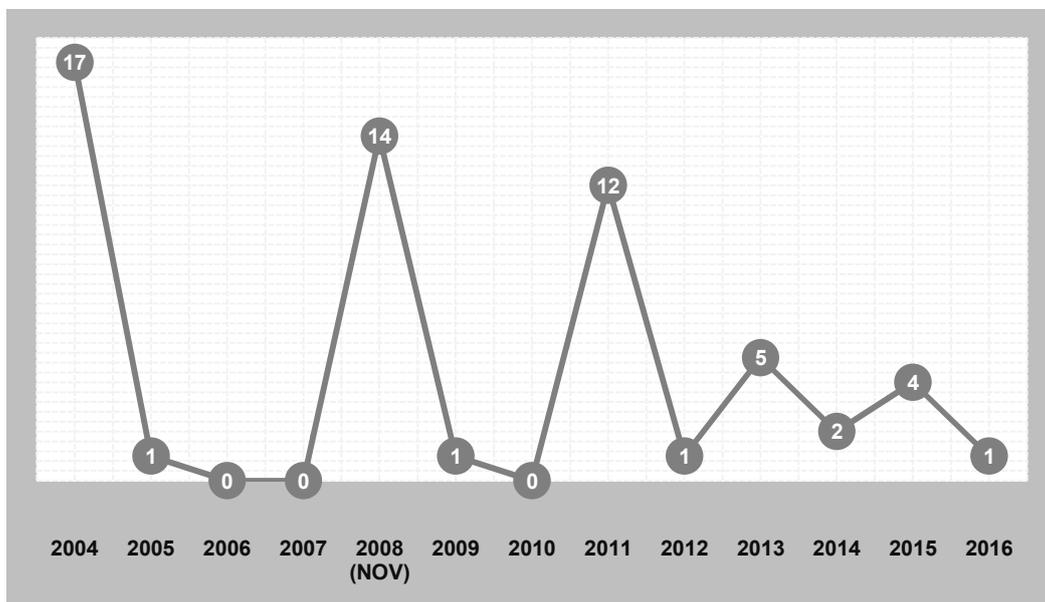


Figura 1 - Comparação entre o mês de novembro de 2008 e a frequência anual de decretos de estado de calamidade conforme dados da defesa civil de SC.

O ano de 2011 também contou com um expressivo número de decretos de calamidade pública (ainda assim inferior ao de novembro de 2008), fato que se deve a mais uma grande enchente que assolou o território catarinense, tendo, mais uma vez, o foco nos municípios situados na região do Vale do Rio Itajaí. Conforme Tabela 2, os dados de perdas neste evento também foram expressivos, e o aumento do número de decretos



de calamidade pode ser atribuído ao recrudescimento das ações de proteção após os desastres de 2008. O maior número de vítimas entre mortos e feridos no evento de 2008 ocorreu em Ilhota, Blumenau, Gaspar e Itajaí. Desta forma, justifica-se definir como foco desta pesquisa o local onde foram identificadas as maiores perdas em vidas humanas.

Tabela 3 - Dados relativos às perdas do evento de 2008 - Adaptado de Frank e Sevegnani (2009).

Município	População		Número de Vítimas				
	Total	Afetada	Deslocadas	Desalojadas	Desabrigadas	Feridas	Mortas
Benedito Novo	9.841	31%	102	712	210		2
Blumenau	292.972	35%		25.000	5.529	2.383	24
Brusque	94.962	100%		8.000	1.200	66	1
Gaspar	52.428	100%		7.100	4.300	280	16
Ilhota	11.552	100%	3.500	3.500	1.300	67	26
Itajaí	163.218	100%	100.000	18.208	1.929	1.800	5
Luis Alves	8.986	100%		3.232	239	41	10
Pomerode	26.261	1%		182	48		1
Rio dos Cedros	9.685	88%		595	96		
Rodeio	10.773	5%		27	42		4
Timbó	33.326	2%					

Conforme descrito por Sbroglia (2015), o ápice das precipitações em novembro de 2008 foi atribuído a um bloqueio atmosférico causado por um anticiclone sobre o Oceano Atlântico. O fenômeno provocou ventos de leste e favoreceu o transporte de umidade do oceano para o continente dando início a chuvas orográficas persistentes que foram intensificadas a partir do dia 19. No dia 21, conforme Dias (2009), um sistema de baixa pressão desencadeou um aumento brusco da precipitação configurando, historicamente, o mês de novembro mais chuvoso já registrado na região. A Figura 2 apresenta os recordes diários anteriores e dá a dimensão da atipicidade do fenômeno meteorológico ocorrido.

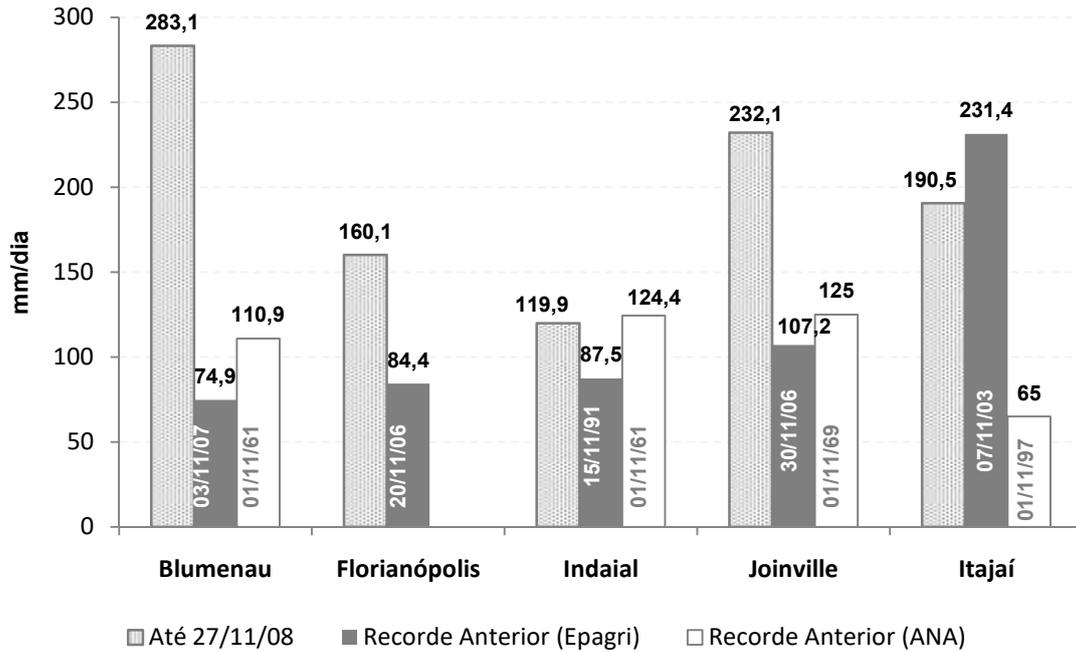


Figura 2 - Recordes diários de novembro e respectivas datas de ocorrência - dia/ano- (estações Epagri e ANA) – Adaptado de Minuzzi e Rodrigues (2009).

Os dias de maior precipitação compreenderam o período de 20 a 24, sendo que nos dias 20 e 21, a precipitação acumulada alcançou valores entre 100 e 150 mm, chegando a até 300 mm nos dias 22 e 23. A precipitação mensal (Figura 3) girou em torno de 1.000 mm, nas estações Blumenau e Joinville, valores totalmente discrepantes levando em conta os recordes anteriores que não alcançavam a metade ou mesmo um quarto deste valor.

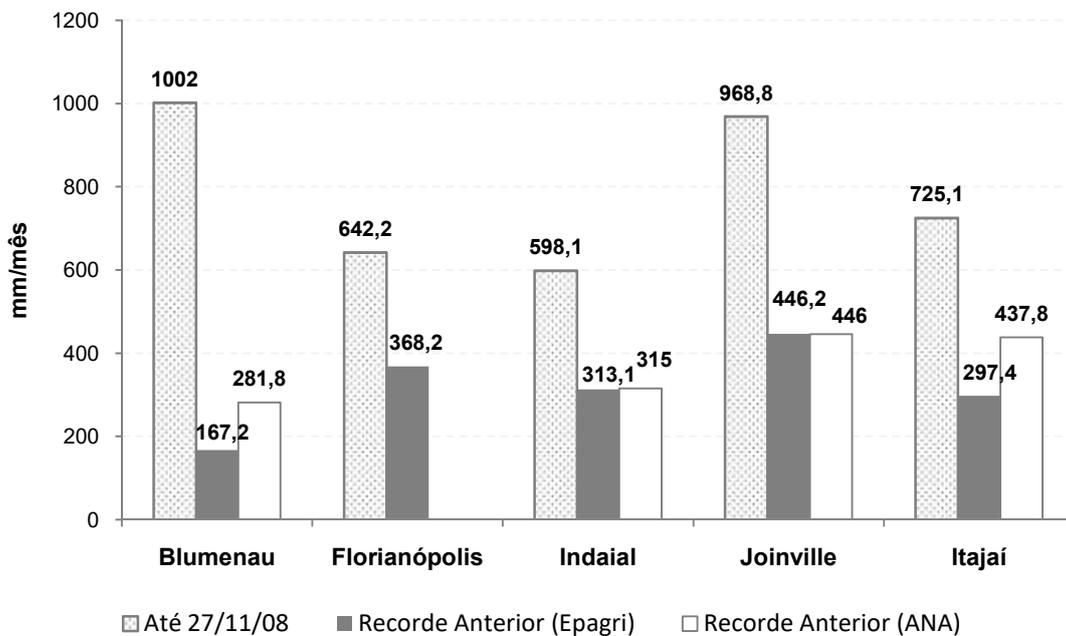


Figura 3 - Recordes de novembro e respectivos anos de ocorrência (estações da Epagri e ANA - Agência Nacional de Águas) – Adaptado de Minuzzi e Rodrigues (2009).



2.3 MÉTODOS DE PREDIÇÃO – MODELO SHALSTAB

Em se tratando de movimentos de massa, a suscetibilidade pode ser definida como a taxa de probabilidade espacial da ocorrência de um evento com base nos fatores condicionantes do terreno, independentemente do seu período de recorrência (UNESCO, 1984). Um mapa de suscetibilidade, neste caso, aponta áreas que provavelmente terão deslizamentos de terra no futuro, correlacionando alguns dos principais fatores que contribuem para estes eventos com a distribuição passada de falhas de declive (BRABB *et al.*, 1984). O conhecimento prévio das áreas mais suscetíveis permite que ações mitigadoras preventivas sejam implementadas antes mesmo de sua ocorrência.

Um mapa de suscetibilidade, no que se refere a deslizamentos, necessita do apoio de mapas topográficos, geológicos e fotos aéreas, além do histórico de eventos para a área estudada. As análises demandam fotointerpretação, trabalho de campo, levantamentos e testes em laboratório para expressar espacialmente a distribuição, tipologia e estado de atividade dos deslizamentos. No entanto, um procedimento padrão para a produção de mapas de suscetibilidade a deslizamento simplesmente não existe. Sendo assim, um produto útil será aquele confeccionado para fornecer aos gestores de risco informações facilmente acessíveis, contínuas e precisas sobre a ocorrência dos deslizamentos de terra.

Dentro deste contexto, muitos modelos preditivos vêm sendo desenvolvidos no intuito de estimar em que porções de determinada área estes fenômenos possuem maior suscetibilidade de ocorrência. Metodologias que utilizam a modelagem matemática baseada em parâmetros físicos foram propostas inicialmente por Beven e Kirby (1979). Os modelos de base física são caracterizados por seus diferentes níveis de complexidade e a relevância de seus resultados está diretamente relacionada à qualidade dos dados de entrada.

Existem distinções que variam conforme os processos analíticos utilizados. Dentre estas, destacam-se o método estocástico (ou probabilístico) e determinístico. No primeiro caso, conforme Pinto *et al.* (1976) no que se refere às análises de modelagem hidrológicas, inclui-se a manipulação das características estatísticas das variáveis visando à resolução de problemas com base em propriedades que são determinadas a partir de probabilidade, como, por exemplo, na previsão do regime de cheias de um rio. Já no segundo, a análise das relações entre os parâmetros se dá a partir da perspectiva de causa e efeito, não havendo incertezas de nenhuma natureza (AGUIRRE, 2007).

Como exemplos, de modelos determinísticos destacam-se o SHALSTAB (MONTGOMERY e DIETRICH, 1994), SINMAP (PACK *et al.*, 1998), TRIGRS (BAUM *et al.*, 2002), entre outros, que são modelos matemáticos que utilizam bases físicas, ou seja, o mapa resultante é produzido a partir de equações que simulam os mecanismos que irão deflagrar este tipo de movimento de massa. Cada modelo citado produz um mapa de suscetibilidade de uma dada área de estudo de forma heterogênea porque



os escorregamentos dependem da topografia e de fatores de propriedades físico-químicas dos solos, e principalmente da quantidade e da distribuição espacial da descarga hidráulica (LOPES, 2006).

O SHALSTAB vem ganhando cada vez mais destaque em estudos realizados em ambiente tropical, alcançando níveis de precisão elevados para as áreas estudadas. Consistindo na combinação entre um modelo de estabilidade e um modelo hidrológico, o SHALSTAB toma por base a teoria do talude infinito em que assume o estado de equilíbrio, considerando o fluxo paralelo à superfície e utilizando a lei de Darcy para estimar a distribuição espacial das poro-pressões por uma grade regular onde calcula-se, para cada pixel, o grau de susceptibilidade a deslizamentos rasos (translacionais).

Embora destinado à detecção de deslizamentos superficiais, o SHALSTAB também obtém sucesso nas predições destinadas a solos mais profundos. Aplicado por Sbroglia (2016) na região do morro do baú, onde os deslizamentos translacionais ocorridos em novembro de 2008 foram caracterizados como espessos, dada uma profundidade média de solo em torno de 10 metros na região, sua precisão foi mantida de modo satisfatório. Apesar de considerar diversas variáveis, a confiabilidade do método é diretamente dependente da qualidade dos dados topográficos, sendo este o parâmetro de maior influência para ocorrência dos fenômenos (Ramos, 2003). O desempenho do modelo foi avaliado para diferentes escalas cartográficas, melhorando significativamente de acordo com a qualidade do dado topográfico de entrada (GOMES, *et al.*2005).

Fernandes *et al.* (2001) avaliaram a eficiência da combinação entre a predição realizada pelo modelo SHALSTAB e monitoramentos de campo para região da Serra do Mar nas bacias dos rios Quitite e Papagaio (RJ). De acordo com este autor o índice de acerto alcançou a taxa de 95 %, comprovando a robustez do método e a importância da topografia para deflagração dos processos estudados. Listo e Vieira (2012) empregaram o algoritmo SHALSTAB para previsão de escorregamentos rasos na bacia do Rio Limoeiro, estado de São Paulo. O artigo apresentou uma proposta de zoneamento a partir do uso de índices e os resultados alcançaram uma alta correlação com o contexto real da bacia.

Guimarães *et al.* (2003) verificaram o desempenho do modelo SHALSTAB, em clima tropical, em duas bacias do maciço da Tijuca no Rio de Janeiro a partir de várias combinações de valores de propriedades do solo como ângulo de atrito, coesão, densidade e espessura do solo comparando os resultados com as cicatrizes dos escorregamentos decorrentes as intensas chuvas ocorridas em fevereiro de 1996. Este modelo apresentou um excelente desempenho onde quase a totalidade dos escorregamentos coincidiu com as áreas de maior susceptibilidade definidas no mapa resultante. Nessa mesma área, de acordo com Gomes (2006), o mapeamento de áreas susceptíveis a escorregamentos, a partir do modelo SHALSTAB, só não conseguiu prever 1 escorregamento de um total de 89, e o modelo, sem levar em consideração a coesão do solo, só mapeou duas cicatrizes como estáveis (cerca de 2%).



Em suma, nota-se que em ambiente SIG este tipo de modelagem pode contribuir de forma importante, sendo um modo pouco oneroso e que necessita de pouco treinamento do usuário, sobretudo quando se pensa na implementação de políticas regionais para prevenção de catástrofes relacionadas aos deslizamentos. Entretanto, a confiabilidade dos resultados depende diretamente da qualidade e disponibilidade dos dados de entrada, sendo este o principal problema quando se trata de áreas com carência de estudos, como o caso do Brasil.

2.3.1 MODELO DE ESTABILIDADE

Atuando como fatores determinantes, os atributos geomorfológicos são comumente incorporados nos modelos de análise para previsão e definição de áreas instáveis (Dietrich *et al.*, 1995; Guimarães, 2000; Fernandes *et al.*, 2001). Estes têm ainda mais relevância para o modelo SHALSTAB que, como citado, privilegia a topografia como fator determinante dos escorregamentos nas encostas.

Em qualquer vertente, ocorrem tensões que promovem o movimento de materiais para jusante da superfície topográfica (tensão tangencial - τ) e tensões opostas de resistência (tensão normal - σ), como a coesão do solo (c'), a poro-pressão (μ) e o ângulo de atrito interno (Φ) (CROZIER, 2004b). Nesta interpretação os efeitos causados pelo atrito nas laterais e nas extremidades de um bloco do solo são ignorados, uma vez que os escorregamentos translacionais são típicos de locais onde o comprimento da cicatriz é muito maior do que a espessura do solo.

A análise proposta é considerada em relação a um plano infinito do solo sobre um plano inclinado através de um contato abrupto, levando em consideração a tensão tangencial e normal. Estas tensões atuantes na superfície potencial de ruptura foram originalmente apresentadas por Coulomb (1776), que desenvolveu uma representação matemática relativa à resistência ao cisalhamento de uma vertente, de acordo com um Modelo Bidimensional conhecido como Talude Infinito. A formulação considera uma massa (ou bloco) homogênea e de espessura uniforme, em que o peso do material (resultado do produto entre a massa e a força da gravidade) atua verticalmente ao longo da superfície de ruptura potencial, contribuindo para o movimento de vertente, enquanto a tensão normal atua de maneira perpendicular. Entretanto, a determinação do valor do peso não pode ser obtida de forma direta por causa da dificuldade de se obter a espessura do solo perpendicular à superfície.

Uma forma de obtenção do peso é através das medidas da espessura vertical do bloco, artifício que pode ser empregado tomando-se o cuidado para que possam ser mantidas as mesmas proporções. A razão h/z , é a proporção da coluna de solo saturado e varia entre 0 e 1, designando estabilidade e instabilidade incondicionais. Quando o valor é igual a 1, a situação é considerada incondicionalmente estável e mesmo se o solo estiver saturado não ocorrerá a ruptura. Já quando a razão h/z é igual a 0, assume-se uma encosta incondicionalmente instável onde a ruptura ocorrerá



até mesmo se o solo estiver sem saturação. Se considerarmos a coesão do solo (C') a relação h/z poderá ser escrita pela Equação 3da seguinte forma:

Equação 3 - Cálculo da estabilidade considerando a Coesão.

$$\frac{h}{z} = \frac{C'}{\rho_w g z \cos^2 \theta \tan \phi} + \frac{\rho_s}{\rho_w} \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \phi} \right)$$

Em que:

h	Altura da coluna d'água no subsolo
z	Espessura do solo
C'	Coesão do solo
ρ_w	Densidade da água
g	Aceleração da gravidade
θ	Declividade da vertente
ρ_s	Densidade do solo
Φ	Ângulo de atrito interno.

2.3.2 MODELO HIDROLÓGICO

Os modelos hidrológicos são uma representação matemática do fluxo de água e seus constituintes sobre uma determinada parte da superfície ou subsuperfície do solo. Esta representação descreve a distribuição espacial da precipitação, as perdas por evapotranspiração, o movimento da água no solo causado pela infiltração, percolação e o escoamento, tanto superficial quanto subsuperficial (RAMOS, 2003).

A condutividade hidráulica do solo, em termos específicos de escorregamentos, assume importância tanto na recarga da água superficial (velocidade da infiltração) quanto na geração de descontinuidades hidráulicas no interior do perfil de alteração, as quais poderão atuar localmente como camadas de impedimento ao fluxo vertical favorecendo, conseqüentemente, a geração de elevadas poro-pressões positivas (FERNANDES *et al.*, 2001).

O SHALSTAB considera o modelo hidrológico de O'Loughlin (1986) assumindo a premissa de que o fluxo de água infiltra até um plano de mais baixa condutividade, seguindo posteriormente um caminho determinado pela topografia. O'Loughlin definiu a umidade (W) como a parcela saturada do solo em um dado estado uniforme de recarga, onde o fluxo de água recebido supera a capacidade do solo em transmiti-lo. Já o parâmetro de transmissividade do solo (T), expressa o modo como o solo distribui a água pelo sistema. Deste modo, a condição de saturação do solo, em estado de equilíbrio, é definida por um índice de umidade (W) (Equação 4):

Equação 4 - Índice de Umidade

$$W = \frac{Q}{T} \frac{a}{b \sin \theta}$$



Conforme mencionado por Montgomery e Dietrich (1994), a razão Q/T corresponde ao controle hidrológico, enquanto a razão $a/b\text{sen}\theta$, corresponde ao controle morfológico. De acordo com este modelo, as zonas de saturação ocorrem sempre onde o fluxo de drenagem a montante excede a capacidade do perfil de solo de transmitir este fluxo.

Na concepção inicialmente proposta por O'Loughlin (1986), a discretização da topografia é feita em polígonos irregulares que são definidos a partir da interseção das curvas de nível com as linhas de gradiente máximo. A região à montante do ponto de análise, possuindo comprimento b , delimitada pelas linhas de maior gradiente, perpendiculares às curvas de nível, é denominada de área de contribuição (a) para uma determinada célula.

O modelo hidrológico pode ser também escrito em função da razão de h/z . A Lei de Darcy permite relacionar a condutividade hidráulica com o gradiente hidráulico, havendo uma aproximação para este último termo, considerando apenas o potencial gravitacional (potencial de elevação) na variação do potencial total, uma vez que as variações no potencial relativas aos poros do solo (potencial de pressão) são menores do que aquelas relativas ao relevo.

O gradiente hidráulico (i) corresponde ao quociente entre a carga hidráulica, representada pela diferença altimétrica entre o ponto inicial e o ponto final do escoamento, e o comprimento do meio poroso a ser percorrido (encosta). A aproximação com a condutividade neste caso é bastante razoável, considerando que o modelo é aplicado sempre em áreas de relevo dissecado.

Assumindo que o fluxo superficial e o fluxo na rocha são desprezíveis em vales não canalizados, a literatura afirma que a precipitação efetiva (Q) multiplicada pela área de contribuição será a quantidade de *runoff* que ocorre através do comprimento b na condição de equilíbrio. Portanto, tornou-se necessário acrescentar o comprimento b . Para o modelo hidrológico, o fluxo é expresso pelo produto da precipitação por unidade de tempo e a área drenada à montante. O parâmetro transmissividade (T) é função do produto da permeabilidade saturada pela espessura do solo. É possível colocar o modelo hidrológico em função da razão h/z (Equação 5).

Equação 5 - Modelo Hidrológico em função da razão h/z

$$\frac{h}{z} = \frac{Q}{T} \frac{a}{b\text{sen}\theta}$$

Em que:

h	Altura da coluna d'água no subsolo
z	Espessura do solo
Q	Precipitação Efetiva
T	Transmissividade
a	Área de contibuição
θ	Declividade da vertente
b	Comprimento do contorno (célula)



2.4 ESTIMADOR DE PRECIPITAÇÃO POR SATÉLITE - *TROPICAL RAINFALL MEASURING MISSION* (TRMM)

A baixa densidade de observações meteorológicas em algumas regiões compromete significativamente os estudos relacionados aos sistemas influenciados diretamente pelo regime de precipitação (ROZANTE *et al.*, 2009). Nos locais onde a variação de chuva na paisagem é mais significativa, tais como as áreas montanhosas ou de relevo fortemente dissecado, a densidade de medidores é, em geral, esparsa. Isto se deve às óbvias dificuldades de manutenção e alocação dos equipamentos, embora estas zonas sejam das mais relevantes em virtude da grande variação de valores numa pequena extensão de área (CHEN *et al.* 2001).

Muitos estudos vêm suprindo a carência de dados observados a partir da utilização de técnicas de estimativa de precipitação obtidas a partir de satélites. De acordo com Verlinde (2011), a vantagem do uso de satélites é a cobertura uniforme e contínua de grandes superfícies, independente do tipo de relevo ou dificuldade de acesso para coleta de informações. Além disso, o montante geral da precipitação total da área pode ser determinado de uma maneira mais exata em comparação às medidas pontuais.

Historicamente, informações de vários satélites têm sido compiladas para dar uma melhor compreensão de como a precipitação é distribuída em todo o planeta. Um desenvolvimento contínuo na estimativa da precipitação do espaço culminou em sofisticados instrumentos e técnicas de satélite para combinar dados de múltiplas plataformas e produzir informações de longo prazo úteis para o monitoramento do tempo e do clima (ADLER *et al.*, 2003).

Neste sentido, foi lançada em 1997 a plataforma TRMM, idealizada como um satélite experimental oriundo de parceria entre a NASA e a Agência de Exploração Aeroespacial do Japão (JAXA). O produto excedeu tão bem as expectativas, que seu *status* foi alterado para o de um satélite operacional, utilizado como apoio a diversos tipos de estudos e oferecendo algumas das mais valiosas imagens para acompanhamento, previsão e análise de precipitação.

A missão contava inicialmente com uma combinação entre um radar aerotransportado para medição quantitativa de precipitação e um imageamento realizado por microondas a partir de índices de reflectância - TMI (NESBITT e ZIPSER, 2003). Durante dezessete anos, o satélite TRMM orbitou entre as latitudes de aproximadamente 30° +/-, de ambos os lados do equador, fazendo 16 órbitas por dia. Os instrumentos de bordo monitoraram nuvens, precipitações, fluxo de calor, raios e outros aspectos do ciclo da água.

A bordo do TRMM embarcaram 5 sensores com funções distintas:

- **Imageador de Micro-Ondas (TMI)** – projetado para fornecer informações quantitativas de precipitação sobre uma ampla área de cobertura a partir de



estimativas de vapor d'água no ar, nas nuvens e de intensidade de precipitação;

- **Radar de Precipitação (PR)** – primeiro instrumento espacial concebido para fornecer mapas tridimensionais da estrutura de uma tempestade;
- **Radiômetro no Visível e no Infravermelho (VIRS)** – indicação da chuva se conectando às observações recolhidas por outros sensores semelhantes;
- **Sensor de Energia Radiante da Superfície Terrestre e das Nuvens (CERES)** – monitoramento da energia trocada entre o sol, a atmosfera, a superfície das nuvens e o espaço;
- **Sensor para Imageamento de Relâmpagos (LIS)** – instrumento altamente sofisticado capaz de detectar e localizar um relâmpago na região tropical do globo.

Para este estudo, dentre diversos produtos, foram utilizados o 3B42 e 3B43. O primeiro consiste em uma simulação de 3 em 3 horas da precipitação global com base no TMI numa grade de $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ (lat/lon) estando ativo desde 1998. Já o produto 3B43 é composto a partir de uma média mensal do 3B42, integrando dados de fontes a nível global do CAMS (*Climate Assessment and Monitoring System*) e GPCP (*Global Precipitation Climatology Center*) aos valores do TMI e VIRS. De acordo com NASA (2005) este é o produto que fornece as estimativas mais precisas.

Ao fim de 2014 a missão TRMM foi descontinuada, sendo o sensor completamente desativado em abril de 2015. Atualmente seus dados foram sucedidos por produtos desenvolvidos para a missão de Medição Global de Precipitação (GPM) (<http://gpm.gsfc.nasa.gov>). Conforme as especificações disponibilizadas por NASA (2015) o GPM melhora as capacidades do TRMM a partir do uso dos dois instrumentos (um radar e um radiômetro) mais avançados já desenvolvidos para medir a precipitação a partir do espaço:

GPM Microondas Imager (GMI) – É um radiômetro que usa 13 canais de microondas diferentes (5 a mais que o TRMM) observando a energia dos diferentes tipos de precipitação através de nuvens para estimar tudo, desde chuva pesada até chuva leve e neve em formação. Como o satélite passa sobre a Terra, o GMI constantemente varre uma região 885 quilômetros de diâmetro.

Radar de Precipitação de Duas Frequências (DPR) – O radar do GPM é o único com frequência dupla operando no espaço sendo capaz de criar perfis 3-D e estimativas de intensidade de precipitação que variam de chuva a neve e gelo. As duas frequências do DPR também permitem que o radar infira os tamanhos de partículas de precipitação e oferecer insights sobre as características físicas de uma tempestade. A frequência de banda Ka varre em uma região de 125 quilômetros e está aninhada dentro da varredura mais ampla da frequência da banda Ku de 254 quilômetros.

Além dos sensores utilizados, uma das evoluções mais significativas nos dados GPM é a sua cobertura global mais ampla. Enquanto o TRMM coletou dados em regiões tropicais e subtropicais entre aproximadamente 35° de latitude norte e sul, o GPM



coleta dados entre aproximadamente 65° de latitude norte e sul. Ressalta-se que, diferente dos dados obtidos via pluviômetros, os dados de previsão do tempo são probabilísticos, sugerindo uma possibilidade de ocorrência de determinados fenômenos meteorológicos. A previsão do tempo é um prognóstico das condições atmosféricas que poderão ou não ocorrer para os próximos minutos, horas ou dias adiante. De acordo com Branco (2007) os modelos de previsão numérica, se dividem, conforme sua escala espacial, em:

Global - com resolução da ordem de 200 km orientados para identificação do comportamento geral da atmosfera sobre uma área extensa, visando à análise de fenômenos meteorológicos de larga escala (ditos sinóticos).

Regional ou local - com resolução espacial que varia de alguns metros a cerca de 50 km, buscando identificar com maior detalhe o comportamento da atmosfera sobre uma região específica, sendo úteis à análise de fenômenos meteorológicos de pequena escala. Os produtos TRMM se encaixariam nesta categoria.

Tanto o resultado dos modelos como os dados originais do TRMM foram intensamente verificados em outros trabalhos, buscando uma comparação com os dados medidos por métodos convencionais. A qualidade das estimativas de precipitação TRMM foi, e ainda tem sido abordada por diversos trabalhos. As estimativas 3B43 foram avaliadas por Dinku, *et al.* (2007), que encontraram coeficientes de correlação de 0,92, sendo estes resultados classificados como de excepcional qualidade. Chiu *et al.* (2006) analisaram as estimativas do 3B43 no Novo México (EUA) e encontraram coeficientes de correlação superiores a 0,86.

De acordo com Viana (2009) as estimativas do produto 3B43 mostraram-se plenamente confiáveis, com valores de erro médio quadrático relativo inferiores a 36%. Os melhores resultados do 3B43 decorrem também da calibração das estimativas de pluviômetros. Além disso, os acumulados mensais tendem a diluir as variações encontradas nos dados diários e podem, inclusive, ajudar a identificar pluviômetros com problemas na leitura ou mal localizados

O produto 3B42 em sua forma bruta, por se tratar de simulação em tempo real, costuma encontrar uma grande margem erro em comparação às estimativas convencionais. Especialmente em períodos com quantidades de chuvas elevadas ou quantidades de chuvas muito baixas, o TRMM difere muito dos dados de medição por pluviômetro. Estudos realizados em território nacional destacam a tendência dos produtos TRMM em superestimar os valores gerais de precipitação, principalmente nos meses de verão e primavera, porém há uma tendência de subestimar os valores em eventos extremos (Rozante *et al.*, 2009; Anderson *et al.*, 2013; Collischonn *et al.*, 2008).

Apesar disso, diversos autores afirmam que, considerando-se bacias hidrográficas, as estimativas de precipitação fornecidas pelo TRMM são consistentes e reproduzem com bastante fidelidade o regime de chuvas, sendo hábil em analisar a variabilidade sazonal, representando de forma satisfatória os períodos secos e chuvosos,



considerando inclusive a presença nuvens convectivas (Collischonnet *et al.*, 2007; Nóbrega *et al.*, 2008; Oliveira e Angelis, 2010; Viana, 2010; Fleming *et al.*, 2011).

Verlinde (2011) aponta que devido ao fato de as medições em geral apenas fornecerem informações precisas sobre a precipitação para uma área limitada, a calibração de um pixel TRMM de 25 km contra uma medição de amplitude pontual soa como absurda. Modelar a distribuição do volume precipitado com informações pontuais freqüentemente induz a erros. A distância entre estações é grande (às vezes superior a 100 km). No caso de bacias transfronteiriças, a informação de precipitação é limitada em países vizinhos, e no caso de precipitação sobre mares e oceanos, a informação é praticamente indisponível (Struzik, 2003). Sendo assim, os diferentes modelos que usam este tipo de produto como ponto de partida mostram um desvio significativo. Cabe, contudo, questionar qual a eficiência das previsões apesar dos desvios, em especial quando se tratam de deslizamentos.

Conforme Alves (2017), o índice de alarmes falsos de precipitação é mais elevado nas épocas de seca onde o satélite prevê eventos que acabam por não ocorrer em superfície uma vez que a quantidade de chuva que ocorre nestes períodos é reduzida. Tal fato desabona o uso do produto 3b42 para detecção de determinados eventos sem que haja o uso de algum fator de correção, sendo que a qualidade dos resultados depende da forma que as estimativas serão utilizadas. Ainda neste sentido, Soares *et al.* (2016) afirmam que quanto maiores os períodos temporais de acumulação, melhores são as correlações entre os dados de chuva do satélite e os valores observados em pluviômetros, pois um maior período de tempo permite que erros temporais nas estimativas de chuva se compensem de forma que o total acumulado seja mais próximo do observado.

Um caminho possível apontado por diversos autores seria o uso de uma imagem de melhor resolução para a calibração de dados TRMM. Puri (2011) utiliza um método para estimativa de umidade do solo a partir de dados TRMM em associação ao uso do índice NDVI. Os autores observaram o comportamento da umidade considerando diversos tipos de cobertura e obtiveram bons resultados, validados a partir de dados de campo, com erro inferior a 10% para áreas áridas, semiáridas e zonas com pouca atividade fotossintética.

Almazroui (2011) apresenta um método para calibração do sensor TRMM a fim de privilegiar a detecção de eventos pluviométricos de curta duração. Utilizando o produto 3B42 numa série histórica superior a 10 anos em comparação com dados coletados de maneira direta, o desempenho do sensor foi avaliado em relação às medições convencionais considerando as chuvas intensas características do clima estudado. Como resultado da metodologia aplicada foi possível concluir que o sensor TRMM tende a superestimar os eventos pluviométricos mais intensos para toda a série estudada, num monitoramento que foi realizado ao longo de toda faixa intertropical e em particular nas áreas de maior massa continental.



Para o tipo de aplicação proposta, a tendência a superestimar os dados de pluviometria não se configura como um problema insuperável. Liao *et al.* (2010) buscaram uma interface semelhante à proposta a ser desenvolvida para esta tese. A ideia apresentada consistiu no estabelecimento de uma rede de monitoramento em tempo real para escorregamentos influenciados por fenômenos pluviométricos utilizando como base os dados TRMM e o Modelo Digital de Elevação ASTERDEM. O sucesso foi satisfatório nas previsões simuladas no protótipo de sistema de previsão desenvolvido para o regime climático encontrado na Indonésia, adotada como região de estudo. De modo geral, pode-se afirmar que os dados TRMM apresentam um grande potencial para serem utilizados em avaliações de modelos numéricos e também como dados de entrada de modelos hidrológicos e de umidade do solo.

2.5 MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO

Os Modelos Digitais de Elevação (MDEs) representam matematicamente uma determinada superfície terrestre a partir de uma matriz regular, possibilitando a extração de atributos de terreno e sua visualização tridimensional (Teixeira *et al.*, 1992). Os MDEs podem ser obtidos de diversas maneiras, a partir de aparelhos restituídores, ortofotos, imagens de satélite (ex. ASTER, SPOT e ALOS), por sensores de RADAR (ex. SRTM, ERS, ENVISAT e RADARSAT) e também por altimetria a laser através de sensores aerotransportados (LIDAR), após as devidas calibrações e eliminações de distorções inerentes ao método.

A estereocorrelação de fotos aéreas é um dos métodos mais recorrentes para obtenção de um MDE. Este procedimento é feito através de fotogrametria, que pode ser definida como a ciência responsável pela obtenção de informações a partir de imagens fotográficas. As fotografias aéreas podem ser consideradas como o produto de Sensoriamento Remoto mais recorrente em trabalhos de mapeamento, sendo geradas basicamente a partir de câmaras fotogramétricas acopladas em aeronaves. A obtenção de um MDE a partir deste tipo de dado ocorre por meio de medições de similaridade entre imagens sobrepostas, bastando para isto que sejam parte de blocos de fotografias devidamente aerotrianguladas e orientadas.

A obtenção de MDE's a partir de SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) também é um método bastante consagrado, considerando que estes dados são gratuitos e cobrem todo o globo. As informações que compõem os produtos foram levantadas durante uma missão envolvendo a NASA e as agências espaciais italiana e alemã em fevereiro de 2000 para fornecer cobertura global de elevação com uma resolução de 90 metros, havendo hoje a disponibilidade de resolução de até de 30 metros.

Deve-se atentar ao tipo de aplicação das informações obtidas, uma vez que cada método possui um nível de acurácia limitado que depende diretamente da matriz dos dados utilizados. Segundo Burrough (1988), o termo MDE é, de modo geral, utilizado em modelos que contém dados de elevação. Entretanto, há uma diferenciação



importante no que se refere à aplicação destas informações, configurando o uso dos termos MDT (Modelo Digital de Terreno) e MDS (Modelo Digital de Superfície).

Conforme Cruz e Barros (2012), esta classificação é útil na medida em que se configura como um dos argumentos contra o uso de imagens orbitais para a geração de representações de terreno. De uma forma simplificada, assume-se que os MDS representam a superfície terrestre adicionada por quaisquer objetos existentes sobre a mesma. Em outras palavras, se há árvores ou construções, a superfície representada refere-se ao topo delas. Os MDTs, por outro lado, buscam a representação da superfície real do solo.

Considerando esta diferenciação, torna-se claro que o MDT e o MDS podem ser obtidos de formas distintas, não sendo, necessariamente, um produto direto extraído do mesmo MDE, embora esta seja também uma técnica recorrente. Quando se utiliza um MDE para confecção direta de um MDT é realizado um processo de filtragem que tem por objetivo desconsiderar as células correspondentes às feições artificiais ou naturais que não façam parte da composição topográfica do relevo. Dentre os procedimentos destinados a este fim destacam-se os seguintes métodos:

Declividade: Leva em consideração a diferença de altura entre dois pontos e a declividade do terreno. Se a diferença de altura em função da distância superar um determinado limiar, então os pontos mais altos e próximos, serão identificados como não pertencente ao MDT e são removidos (VOSSSELMAN, 2000).

Superfície: Considera que os pixels pertencentes a uma determinada superfície que responda pela feição real do terreno podem ser usados para classificar os restantes dando origem a uma superfície inicial que ditará a altura real conforme um limiar pré-estabelecido (VOSSSELMAN, 2000).

Bloco Mínimo: Se baseia na diferença de altura entre dois pontos vizinhos, a probabilidade de o ponto mais alto não pertencer ao terreno aumenta com a diminuição da distância linear entre eles (SCHIMALESKY, 2007).

O MDT também pode ser obtido por meio de interpolação de dados topográficos, como pontos cotados e curvas de nível. Existem vários métodos de interpolação destinados a este fim, estando entre os mais conhecidos o Inverso do Quadrado da Distância (IDW), Kriging, ANUDEM (Topogrid / *Topo to Raster*).

Dentre os métodos de interpolação destaca-se aqui o Topogrid, desenvolvido por Hutchinson (1988, 1989), que é bastante utilizado em estudos voltados para hidrologia, permitindo a utilização da rede de drenagem e/ou corpos d'água no processo de interpolação, o que resulta em um considerável aumento da precisão do dado gerado. Este interpolador combina dados locais, e dados globais, gerando uma estrutura de drenagem hipotética, onde as depressões que não estão de acordo com o fluxo gravitacional são removidas.

Esta característica dá ao topogrid um grande peso para confecção dos modelos de predição de zonas susceptíveis à ocorrência de escorregamentos rasos utilizando o



SHALSTAB, uma vez que o MDT constitui a base para a determinação da declividade (θ) e da área de contribuição (a). O levantamento destes parâmetros em campo é dispendioso em diversos sentidos. Sendo assim, os MDTs contribuem de maneira substancial, principalmente nas análises voltadas a grandes áreas de estudo (LUNETTA *et al.*, 1997; MONTGOMERY *et al.*, 1998).

O aumento de precisão dos MDTs proporciona um ganho nos mapeamentos de risco, especialmente no que diz respeito aos inventários e a estimativa de susceptibilidade que utiliza indicadores morfométricos (CHIGIRA *et al.* 2004; HANEBERG *et al.* 2005; JABOYEDOFF *et al.* 2008). Dietrich *et al.* (2001) e Gomes *et al.* (2005) demonstram em diferentes níveis de resoluções adotadas para uma mesma área que, quanto menor a resolução, maior a suavidade do terreno e menor a convergência topográfica, conseqüentemente, menor a discretização das encostas.

A análise realizada com deslizamentos ocorridos em determinado período com a validação em deslizamentos de terras ocorridos em um período diferente permitem, segundo Remondo *et al.* (2003), a inclusão de um critério temporal que permite ir além da simples precisão de ajuste, remontando a um caráter realmente preditivo. Nesta linha existe a expectativa de que seja possível inferir o risco das áreas com base em comparações de momentos temporais distintos, usando MDTs de diferentes épocas (JABOYEDOFF, 2012).

Chigira *et al.* (2004) trabalham com a possibilidade de usar dois inventários para mensurar a susceptibilidade, mas em sua aplicação o primeiro inventário foi realizado apenas a partir de trabalho de campo. Este trabalho caminha nesta direção, na medida em que relaciona Cartas Topográficas a um MDT derivado da missão SRTM e ainda um mapeamento por aerolevantamento realizado após os eventos de novembro de 2008. Embora haja uma sensível diferença de resolução, o resultado baseado na diferença temporal, ainda que pouco preciso, poderá indicar tendências relacionadas à real efetividade das previsões com o uso de quaisquer dados disponíveis, considerando que os dados de grande precisão, que seriam as ideias, encontram-se ainda indisponíveis para maioria do território brasileiro.

2.6 VERIFICAÇÃO DA ACURÁCIA

A previsão espacial de deslizamentos de terra não é uma tarefa fácil devido à natureza complexa do fenômeno que, como visto, depende da interação de diversos parâmetros. Sendo assim, um processo de validação torna-se fundamental na aplicação de qualquer modelo relacionado à susceptibilidade, considerando que é nesta etapa que se mensura a capacidade de previsão para uso futuro em qualquer estudo de riscos naturais ou de gestão (ROODPOSHTI *et al.*, 2016).

A validação consiste basicamente na comparação entre os modelos de predição e dados do “mundo real” a fim de mensurar a acurácia ou o poder de previsão dos métodos utilizados. Considerando o fato de que é impossível validar os mapas de suscetibilidade posteriormente à sua realização, frequentemente recorre-se a



diferentes métodos de verificação indiretos, partindo do pressuposto de que os fatores que condicionaram a instabilidade no passado serão os mesmos futuramente (MARTINS, 2015). Um dos métodos mais usuais consiste na comparação entre uma cicatriz de deslizamento já mapeada e as áreas diagnosticadas como de susceptibilidade elevada (PRADHAN, 2010). No entanto, esta não é uma validação de valor preditivo, mas de "taxa de sucesso". A validação poderia ser mais bem sucedida se realizada em uma população de deslizamento de terra independente daquela usada para construir o mapa (CHUNG *et al.*, 1995).

Remondo *et al.* (2003) afirmam que quando o invés de uma população independente, o mesmo conjunto de escorregamento terrestre é usado, o que é determinado é o quão bem o modelo se encaixa nos dados (bondade de ajuste), mas não quão boa é a previsão (capacidade preditiva). Os autores ressaltam que os mapas de risco devem incorporar algum tipo de avaliação da "probabilidade de ocorrência". Isso só pode ser feito se estiverem disponíveis informações sobre a ocorrência passada em um ou vários períodos - comparáveis àquela para a qual a previsão se destina.

De acordo com Berguería (2006a), uma boa validação permite o aperfeiçoamento dos modelos de predição utilizados, uma vez que auxilia na definição de um patamar de confiança, tendo grande importância na transferência dos dados para o usuário final das informações geradas. Além disso, sem uma proposta de validação, a comparação entre diferentes modelos ou mesmo a comparação de diferentes parâmetros dentro de um mesmo modelo torna-se inviável. Cabe destacar, no entanto, que o "padrão ouro", que expressaria a espacialização real dos elementos investigados, raramente pode ser considerado desprovido de erros. Portanto, neste trabalho, o método de mapeamento das cicatrizes de deslizamentos ganha uma relevância extrema para determinação do sucesso ou fracasso na aplicação do modelo.

Ainda segundo o autor, embora seja um passo crucial na modelagem preditiva, em muitos casos a validação do modelo não recebe a atenção necessária, sendo que apenas estatísticas de precisão básicas são calculadas. Dentre os métodos de validação mais utilizados nos estudos sobre a instabilidade de vertentes destacam-se:

Análise bivariada: um índice combinado de suscetibilidade ou uma probabilidade de ocorrência é obtido a partir da análise da influência de cada variável explanatória. Vários métodos diferentes foram publicados, a partir da estimativa direta (CLERICI *et al.*, 2002) para estimativas bayesianas ou abordagens *fuzzy-logic* (LEE *et al.*, 2002).

Análise de regressão múltipla: uma relação linear é usada para prever uma característica contínua do fenômeno perigoso, como a porcentagem de área afetada, a partir de um conjunto de variáveis explicativas (por exemplo, Carrara, 1983).

Análise discriminante: é determinada uma função que atribui pontuações discriminantes às unidades de estudo. Geralmente, as unidades são classificadas de acordo com as distâncias aos centróides de alguns grupos de resposta fixados a priori, mas regras mais refinadas podem ser usadas num contexto de análise de risco (por exemplo, Lorente *et al.*, 2002).



Modelos lineares gerais: uma extensão de modelos de regressão que permitem funções de resposta não-linear. A técnica mais utilizada é a regressão logística, que produz diretamente uma probabilidade de ocorrência do fenômeno danoso (por exemplo, Bledsoe e Watson, 2001).

De modo geral todos estes métodos correspondem a uma comparação entre a distribuição espacial da instabilidade passada e presente com os fatores condicionantes, selecionados segundo funções paramétricas empíricas, que permitem cartografar a suscetibilidade para áreas onde não foram registradas ocorrências, mas que possuem as condições necessárias para a ocorrência de processos de instabilidade futuros (ALEOTTI e CHOWDHURY, 1999). Sendo assim, enuncia-se claramente qual é a hipótese básica a ser testada e busca-se encontrar a distribuição de uma conveniente função da variável aleatória de interesse, supondo-se que a hipótese básica seja verdadeira (PINTO *et al.*, 1976).

Em um contexto que envolve a susceptibilidade e, por consequência, implica em riscos, os pesquisadores são frequentemente solicitados a estabelecer um limiar de decisão para determinar se um determinado local é seguro ou inseguro, o que norteará as medidas de prevenção a serem implementadas (ROODPOSHTI *et al.*, 2016). Nestes casos é muito comum lidar com uma grande prevalência de falsos negativos (não observações do fenômeno perigoso) na amostra. Uma das diversas maneiras de definir este limiar é a partir da construção de matrizes de confusão e do cálculo de estatísticas de classificação que são tomados como o grau da eficiência do modelo, considerando a proporção de observações corretamente classificadas (BERGUERÍA, 2006).

Uma matriz de confusão corresponde a uma forma de representação da qualidade obtida a partir de uma classificação expressa por meio da correlação de informações provenientes dos dados de referência e dos dados classificados. A partir dela é possível mensurar o coeficiente Kappa, índice que retrata o grau de concordância entre as informações reais e estimadas, atuando tradicionalmente como um atestado de confiabilidade e precisão dos dados classificados. O resultado obtido pelo Kappa varia de zero a um e, conforme Landis e Koch (1973), pode ser interpretado de acordo com a escala abaixo (Tabela 4).

Tabela 4 - Valores de validação conforme o coeficiente Kappa.

Valores de Kappa	Interpretação
<0	Sem correspondência
0-0.19	Baixa Correspondência
0.20-0.39	Correspondência Limítrofe
0.40-0.59	Correspondência Moderada
0.60-0.79	Correspondência Substancial



0.80-1.00

Correspondência Quase Perfeita

Para Berguería (2006a) na maioria dos estudos de classificação comuns (tais como, uso do solo a partir de imagens de satélite), os falsos negativos e os falsos positivos (áreas classificadas observadas como perigosas que não se confirmam) são mais ou menos equivalentes e significam apenas que algo foi classificado no grupo errado. Entretanto, nos estudos de risco, trata-se de um fenômeno raro que pode ou não ter ocorrido dentro do período de estudo, mas que poderá ocorrer no futuro. Falsos positivos, nesse contexto, podem ser erros genuínos de atribuição, ou então áreas reais propensas a riscos que ainda não desenvolveram o fenômeno perigoso. Este é um fato muito importante que deve ser mantido em mente na análise preditiva de perigo, pois em caráter de gestão tem importantes impactos sociais.

É conveniente distinguir, na medida do possível, uma análise probabilística de um estudo estatístico. Conforme Gomide (1976), um modelo probabilístico é essencialmente dedutivo: com base em certas hipóteses, procura-se determinar quão frequentemente um evento ocorre. Essa distinção entre abordagens indutiva e dedutiva deixa implícitos os conceitos de amostra e universo: um estudo estatístico tenta descrever todo o conjunto de possíveis ocorrências (universo ou população) a partir da observação de uma pequena porção de ocorrências (amostra), ao passo que o modelo probabilístico assume o conhecimento de todo o conjunto de possíveis ocorrências para deduzir a frequência de certos eventos particulares, se aproximando de modo mais direto das análises de risco (PINTO *et al.*, 1976). Este tipo de análise evita o problema de superestimação das informações geradas considerando que o fato de não haver ocorrido um determinado evento catastrófico nos últimos 10 anos não altera a probabilidade de ocorrência do mesmo nos próximos cinco anos.



3 MATERIAIS E MÉTODOS

Os procedimentos necessários para a aplicação do modelo de previsão de áreas susceptíveis a escorregamentos rasos nas encostas (SHALSTAB) a partir do uso de dados pluviométricos espacializados foram divididos em duas linhas principais, que correspondem aos dois recortes espaciais analisados nesta tese. Conforme relatado no referencial teórico, a Bacia do Rio Itajaí é historicamente foco de movimentos de massa que vem causando prejuízos ao longo das últimas décadas. Dentre os desastres mais recentes, o ocorrido na Sub-Bacia do Ribeirão Baú foi o mais relevante, com um número expressivo de perda de vidas humanas.

Inicialmente foi analisada a Bacia do Rio Itajaí como um todo, considerando um escopo geral para a análise do comportamento da coesão conforme o acontecimento de um evento extremo, no caso o ocorrido em Novembro de 2008. Para tanto, foi necessário o uso de dados pluviométricos de resolução temporal e espacial compatíveis com a escala do evento. Sendo assim, foram consideradas duas fontes de informação para a verificação do comportamento da chuva no intervalo analisado: os dados satelitários da plataforma TRMM e os dados oriundos de estações pluviométricas disponíveis à época da cobertura do evento. A bibliografia ressalta a necessidade de calibração dos dados TRMM e este estudo considerou uma calibração a partir da proposição de um *downscaling*, considerando as diferenças destes em relação às estações pluviométricas. Uma vez calibrados, ambos foram utilizados para avaliação do comportamento da coesão numa relação espaço temporal com o evento ocorrido na Bacia do Itajaí em Novembro de 2008.

Num segundo momento, a análise se volta à área mais afetada pelos deslizamentos no intervalo temporal analisado, sendo que há um processo de refinamento das cicatrizes mapeadas para validação dos dados, bem como um cálculo de estimativa de volumes relativos mobilizados, visando estabelecer uma relação direta com a intensidade das chuvas. Nesta etapa os dados utilizados foram os das estações pluviométricas e os mapas derivados do MDT de 1 metro para o refinamento dos resultados alcançados na etapa anterior. A Figura 4 apresenta um fluxograma que simboliza os passos realizados em cada etapa e sinaliza os dados de entrada para cada procedimento, visando elucidar a metodologia utilizada. Há ainda neste tópico uma etapa inicial para descrição da área de estudo, considerando as características físicas relativas à Bacia do Itajaí com base em dados secundários levantados a partir de pesquisa bibliográfica.

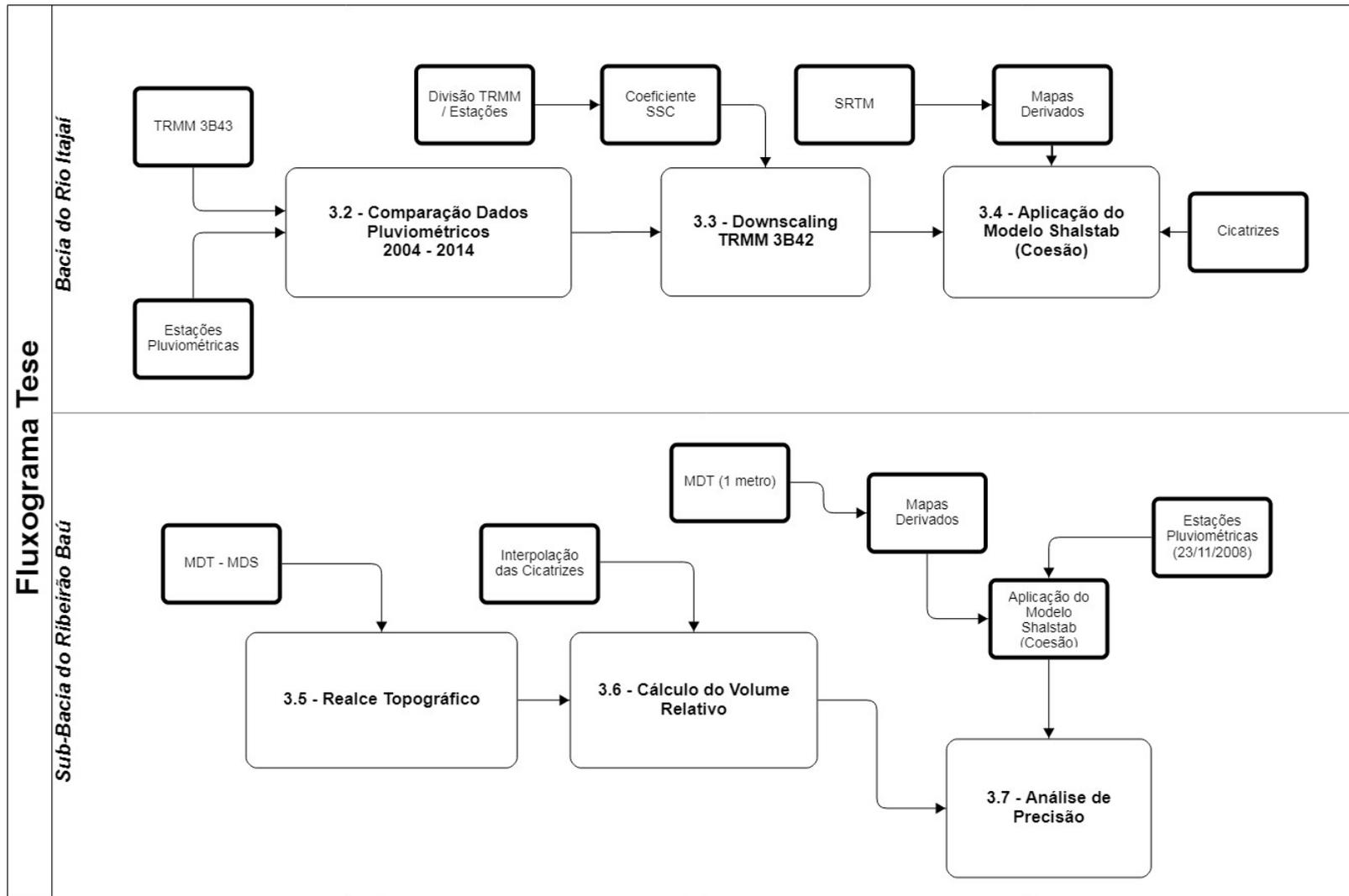


Figura 4 - Fluxograma da metodologia proposta.



3.1 ÁREA DE ESTUDO

Conforme estabelecido inicialmente, a área de estudo compreende a bacia hidrográfica do rio Itajaí, a maior do estado de Santa Catarina, com uma extensão aproximada de 15.000 km² (Figura 5). Considerando uma visão sistêmica, a escolha de uma bacia hidrográfica se justifica como unidade de análise espacial, uma vez que pode ser encarada como um ciclo aberto alimentado pela precipitação e dependente de formas geomorfológicas complexas que permitem a interação ambiental de praticamente todos os elementos que compõem a paisagem, incluindo desde os mamíferos de topo de cadeia aos processos pedogenéticos formadores do solo.

Além da relevância sistêmica, a área se destaca por seu relevo de formas complexas e pela expressiva presença de componentes característicos do Bioma da Mata Atlântica. Formada pela união dos Rios Itajaí-Açu, Itajaí do Sul e Itajaí do Oeste, a Bacia do Itajaí possui como afluentes de maior destaque o Rio Itajaí do Norte, o Rio Benedito e o Rio Luis Alves pelo lado esquerdo e os Rios Neisse, Warnow, Encano, Garcia e Itajaí-Mirim pelo lado direito. Os elementos topográficos mais proeminentes correspondem às Serras da Moema e de Jaraguá ao norte, à Serra Geral ao oeste e às Serras da Boa Vista, dos Faxinais e do Tijucas ao sul.

Formada por 53 municípios a maior parte da população da bacia é considerada urbana, oriunda de um processo de colonização iniciado no princípio do século XIX. Conforme Frank (1995), a ocupação da região foi inicialmente motivada para concentrar grandes contingentes imigratórios entre o planalto e o litoral de Santa Catarina. Consideradas como áreas centrais, as colônias de Blumenau (estabelecida a partir de 1850) e Brusque (1860) marcaram o início da vinda de imigrantes italianos, que constituíram diversos outros núcleos coloniais numa atividade rural intensa que entrou em declínio a partir da década de 30, mantendo-se representativa apenas na parte mais alta da bacia. A autora chama atenção para o fato de que esse processo de ocupação teve, em grandes extensões, o efeito de rarefazer a cobertura vegetal e reduzir a espessura da matéria orgânica no solo, minimizando a taxa de infiltração de modo que, intensidades de precipitação progressivamente mais baixas passaram a provocar taxas escoamento cada vez mais elevadas favorecendo a disseminação de movimentos de massa.

A industrialização intensificou-se nas primeiras décadas do século XX, sendo que as atividades dominantes na região de Blumenau são o setor têxtil e o metal-mecânico. Recentemente ganharam força o setor de comércio e demais atividades e serviços associados ao complexo do Porto de Itajaí, alvo de recente modernização que foi alçado a uma das principais estruturas de exportação do Brasil, sendo o segundo maior em movimentação de contêineres. Outras atividades de destaque na bacia são a indústria de transformação de pescados e o turismo de temporada.

Como área de estudo mais detalhada, dentro da Bacia do Itajaí, considerou-se a Sub-Bacia do Ribeirão Baú, com uma área de 56,82 km², a qual parte do limite coincide



com a demarcação do município de Ilhota em sua porção noreste. A escolha se deu em virtude, principalmente, da elevada ocorrência de desastres e vítimas fatais durante os deslizamentos em novembro de 2008. O Ribeirão Baú pertence à bacia do Rio Luiz Alves, como afluente de sua margem direita.

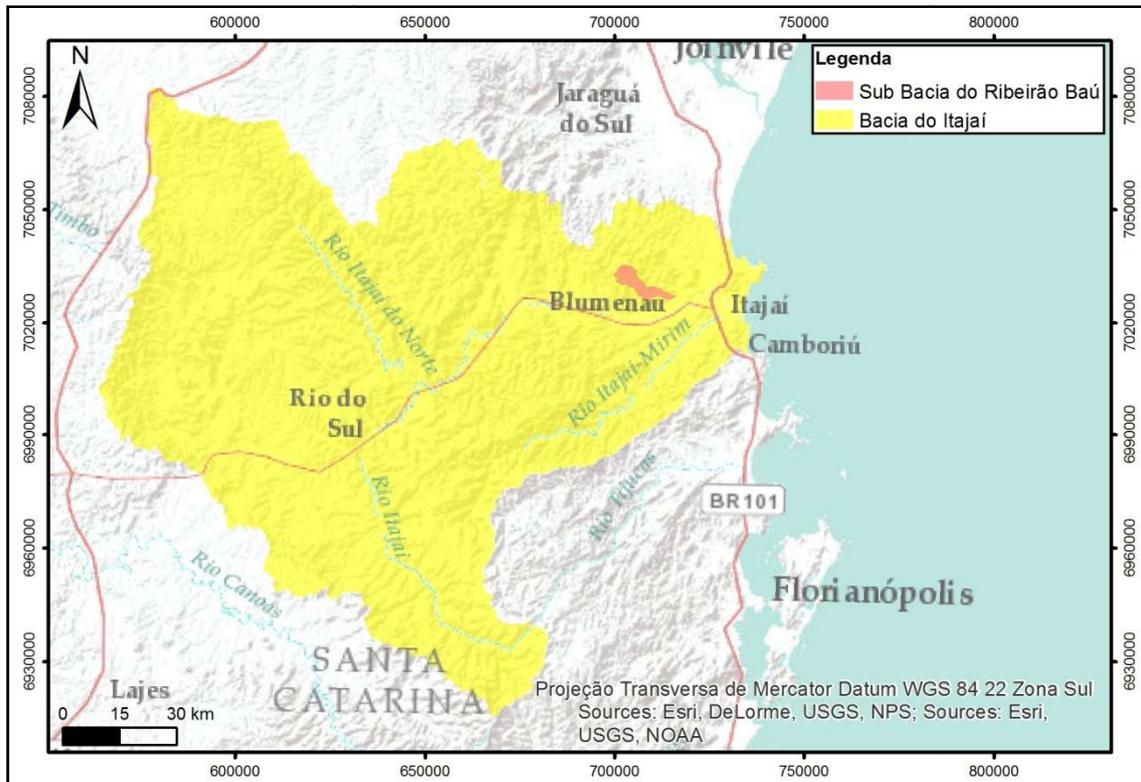


Figura 5 - Localização da Bacia do Rio Itajaí e da Sub-Bacia do Ribeirão Baú.

3.1.1 CLIMA

O clima na bacia do Itajaí é, de modo geral, caracterizado por uma temperatura média anual que varia entre 19 e 21° C, com um verão de característica quente e úmida e um inverno ameno, sem a atuação marcante de baixas temperaturas, havendo uma incidência muito baixa de geadas (VIBRANS, 2003). O sistema pertence ao tipo Cfa (temperado úmido de verão quente), na classificação de Köppen ou Subtropical segundo a classificação de Strahler. Em nível local há uma presença marcante do fator orográfico, sendo que as pluviosidades mais intensas são observadas nos relevos montanhosos que barram os ventos úmidos provenientes do oceano e contribuem para elevação dos totais de precipitação pluviométrica anual (IBGE, 2003b).

Silva e Severo (2003) chamam atenção para o fato de que, no Vale do Itajaí, a precipitação de origem convectiva predomina no verão enquanto que a frontal atua de modo mais marcante no inverno. O verão detém as maiores médias de precipitação dada à ação da convecção tropical que, impulsionada pelo aumento das temperaturas, influencia diretamente nas condições climáticas (MONTEIRO e MENDONÇA, 2005). Já as precipitações frontais de inverno se devem, segundo os autores, à atuação das



massas de ar proveniente das áreas mais ao sul, que dominam as condições de tempo nesta região do país.

Genericamente a precipitação média anual varia entre 1400 e 1700 mm, com uma estação chuvosa principal no verão (janeiro a março) e uma estação chuvosa secundária de setembro e outubro. Um período menos chuvoso ocorre entre abril e agosto. Nesse intervalo, embora o regime seja dominado pela atuação de sistemas frontais marcados por baixas taxas de precipitação, temporais com chuvas fortes, granizo e ventos intensos podem ocorrer, principalmente quando um Vórtice Ciclônico estiver atuando junto às massas de ar, em especial nos meses de julho e agosto (HERRMANN, 2001). Lourenço *et al.* (2014) definem os vórtices atuantes nas regiões sul e sudeste do Brasil como sistemas fechados de baixa pressão oriundos do Oceano Pacífico, que se formam na alta troposfera, atravessando os Andes e possuindo uma vida média que varia consideravelmente, uns duram apenas algumas horas, outros mais de duas semanas.

Conforme relatado por Bauzys (2010), no estado de Santa Catarina, os ventos de sudeste a nordeste, provenientes dos anticiclones sobre o Atlântico Sul, transportam muita umidade do oceano para o litoral. Em novembro de 2008, houve a combinação entre fenômenos de circulação marítima e vórtice ciclônico. Esses fenômenos, combinados com a chuva precedente dos meses anteriores e o volume excessivo de chuva em 2 a 3 dias, mais a elevação do nível do mar, desfavorável ao escoamento da água dos rios para o oceano, foi o que ocasionou condições climáticas propícias para as grandes enchentes e milhares de escorregamentos ocorridos naquele período.

3.1.2 GEOLOGIA

É fato que o substrato geológico é determinante para as características superficiais de uma área, sendo fator de controle na formação do relevo e limitante para espessura do solo, controlando, portanto, dois dos principais fatores que contribuem de maneira direta para a deflagração de movimentos de massa em qualquer contexto analisado. O mapa geológico utilizado para a caracterização da Bacia do Itajaí é fruto do relatório do Projeto Gerenciamento Costeiro (IBGE, 2003a) e pauta-se em informações obtidas em campo, bem como na bibliografia geológica disponível à época, servindo de base para diversos trabalhos posteriores desenvolvidos na região.

Conforme as informações disponibilizadas pelo relatório supracitado, compõem o cenário geológico da presente área em estudo, três domínios principais que serão descritos conforme suas características estratigráficas e subdivididos nas unidades correspondentes especificadas na Figura 6.

3.1.2.1 Domínio Pré-Cambriano

Conforme IBGE (2003a), o domínio pré-cambriano tem como sua formação mais representativa o Complexo Granulítico Santa Catarina (ou Complexo Luiz Alves), o



mais antigo da região, que se estende por cerca de 5.000 km² sendo caracterizado pela intensa presença de zonas de cisalhamento nos contatos com as formações vizinhas. Esse tipo de comportamento deu origem aos vales alongados e estreitos que caracterizam a parte mais alta da Bacia do Itajaí, condições que favorecem tanto a presença dos deslizamentos translacionais, quando a formação das corridas de detritos que elevam o potencial destrutivo dos movimentos de massa. Litologicamente predominam os gnaisses granulíticos e os quartzitos em menor proporção, em uma associação com o Complexo Barra Velha.

Outras formações relevantes do pré-cambriano são o Conglomerado Baú, e as Formações Gaspar e Campo Alegre que compõem o Grupo Itajaí, ocupando uma extensão de 1.200 km² entre o Complexo Luis Alves e o Grupo Brusque. Composto por uma maioria de rochas sedimentares, o grupo Itajaí conta com a ocorrência majoritária de arenitos, havendo a presença de conglomerados, sobretudo na porção inferior, indicando uma sucessão continental - transicional - marinha. Apesar de ser uma formação bem mais recente que a anterior, o relevo segue a tendência dissecada do Complexo Luiz Alves, porém com solos mais rasos numa espessura média de 3 metros.

Ainda no contexto do domínio pré-cambriano temos o Grupo Brusque, que se estende por 1.200 km² da linha de costa até o contato com as formações da Bacia do Paraná, e as formações graníticas do Arroio Capivari, Cabeceira dos Cedros, Faxinal, Guabiruba, Imaruí-Capivari, Subida, Valsungana e Rio do Rastro.

3.1.2.2 Bacia do Paraná

No contexto da Bacia do Paraná, há destaque para a Formação Botucatu, constituída basicamente por arenitos que se distribuem no contorno da escarpa da Formação Serra Geral (IBGE, 2003a). Suas características litológicas e sedimentares são típicas de deposição eólica em clima desértico. Segundo o autor o arenito também predomina nas formações Campo Mourão e Taciba, ambas do grupo Itararé. As sequências de folhelhos e argilitos são predominantes nas formações Teresina, Irati e Serra Alta que tiveram origem comum, provavelmente em ambiente marinho de águas rasas.

A Formação Serra Geral constitui uma espessa sequência de basaltos cujo extravasamento vulcânico tem uma relação íntima com a abertura do Atlântico Sul e a consequente separação dos continentes da América do Sul e África. Completam o contexto da Bacia do Paraná as unidades Palermo e Rio bonito, ambas de formação sedimentar. Estas guardam uma relação de origem a partir da compensação isostática ocorrida com o derretimento de geleiras no período Permiano (DAEMON e QUADROS, 1970).



3.1.2.3 Cobertura Sedimentar Quaternária

A unidade é formada basicamente por depósitos aluvionares - areias, cascalheiras e sedimentos siltico-argilosos, inconsolidados, depositados em planícies de inundação, terraços e calhas da rede fluvial atual (IBGE, 2003a). Por localizarem-se em áreas mais planas e baixas a característica desta unidade guarda pouca relação com o tipo de movimento de massa investigado neste trabalho, havendo uma correspondência direta com os eventos de inundação.

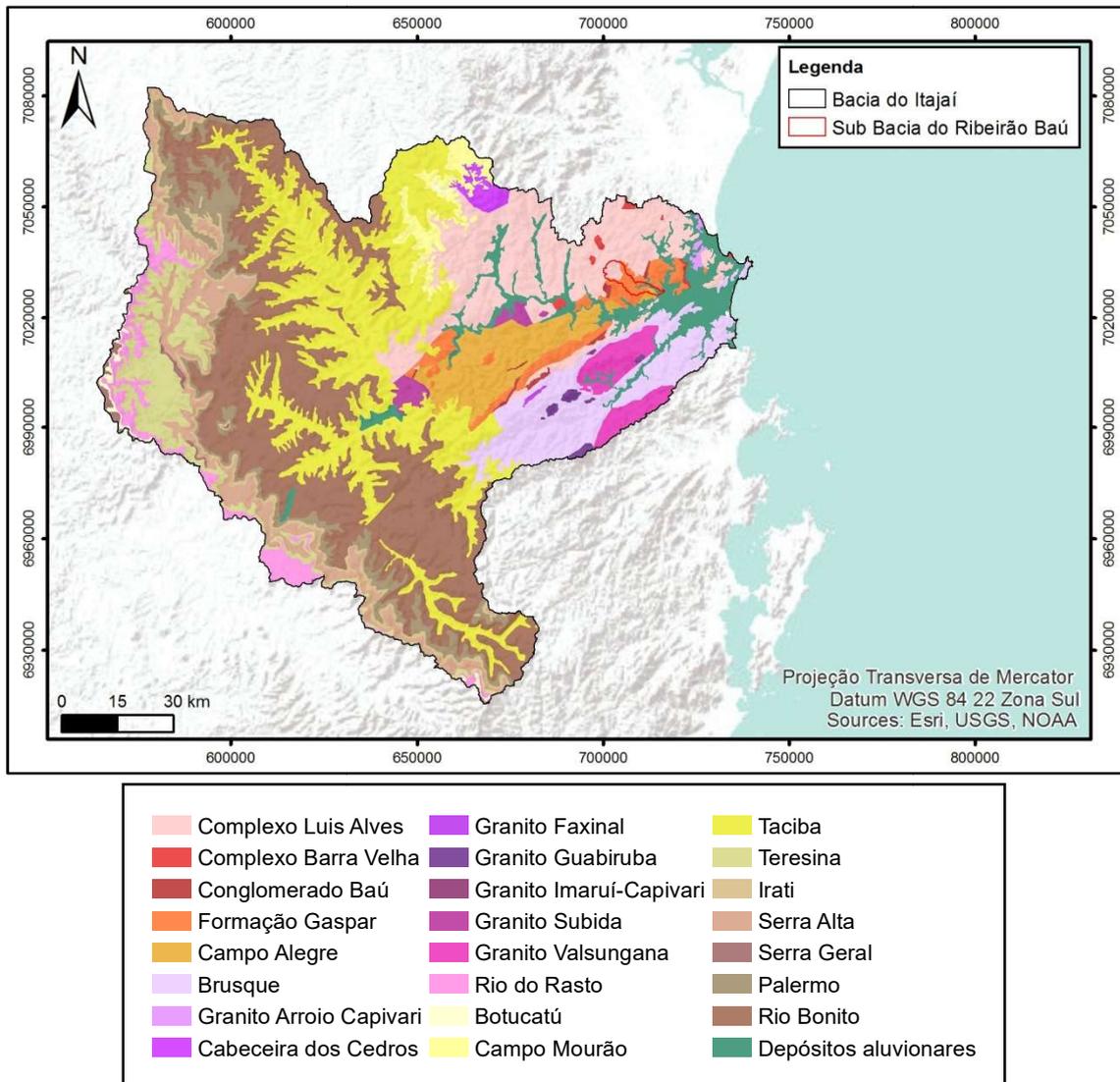


Figura 6 - Geologia para a área da Bacia do Itajaí.



3.1.3 GEOMORFOLOGIA

A geomorfologia é um fator chave para entender a dinâmica dos escorregamentos de massa independente da área estudada. Os processos geológicos são responsáveis pela evolução do relevo da região gerando formas características que, associadas às condições climáticas vigentes, definem processos superficiais específicos para os diferentes tipos de terrenos que ocorrem na área.

Conforme Marinho *et al.* (2012) as características da região facilitam a entrada de grande quantidade de umidade oriunda do oceano Atlântico, o que favorece a ocorrência de eventos associados a fortes chuvas, que em muitos casos resultam em desastres naturais. Nota-se ainda que, conforme salienta Vibrans (2003), os três domínios geológicos principais, retratados neste trabalho com base no Projeto Gerenciamento Costeiro (IBGE, 2003b), determinam também as três grandes unidades geomorfológicas, conforme a Figura 7.

Domínio Pré-Cambriano - Corresponde à porção oriental das serras litorâneas com fortes contrastes topográficos do embasamento catarinense (Formação Luiz Alves) marcada por vales profundos encaixados pelos principais cursos d'água e um relevo muito movimentado, havendo a predominância das classes montanhosa, forte ondulada e ondulada.

Bacia do Paraná– Visualizada na porção ocidental do planalto apresenta uma zona de rochas predominantemente sedimentares e altiplanos escalonados com as suas escarpas (Rio do Sul, Laurentino e Presidente Getúlio) num espectro de relevo mais amplo que, apesar de movimentado, também contempla áreas planas em zonas de contato marcadas abruptamente.

Cobertura Sedimentar Quaternária – Contempla as planícies aluviais da zona sedimentar recente com os meandros dos Rios Itajaí-Açu e Mirim em áreas de planície de deposição encaixadas entre as formações litológicas mais resistentes, em especial no leque aluvial, na medida em que ocorre a proximidade com a zona litorânea.

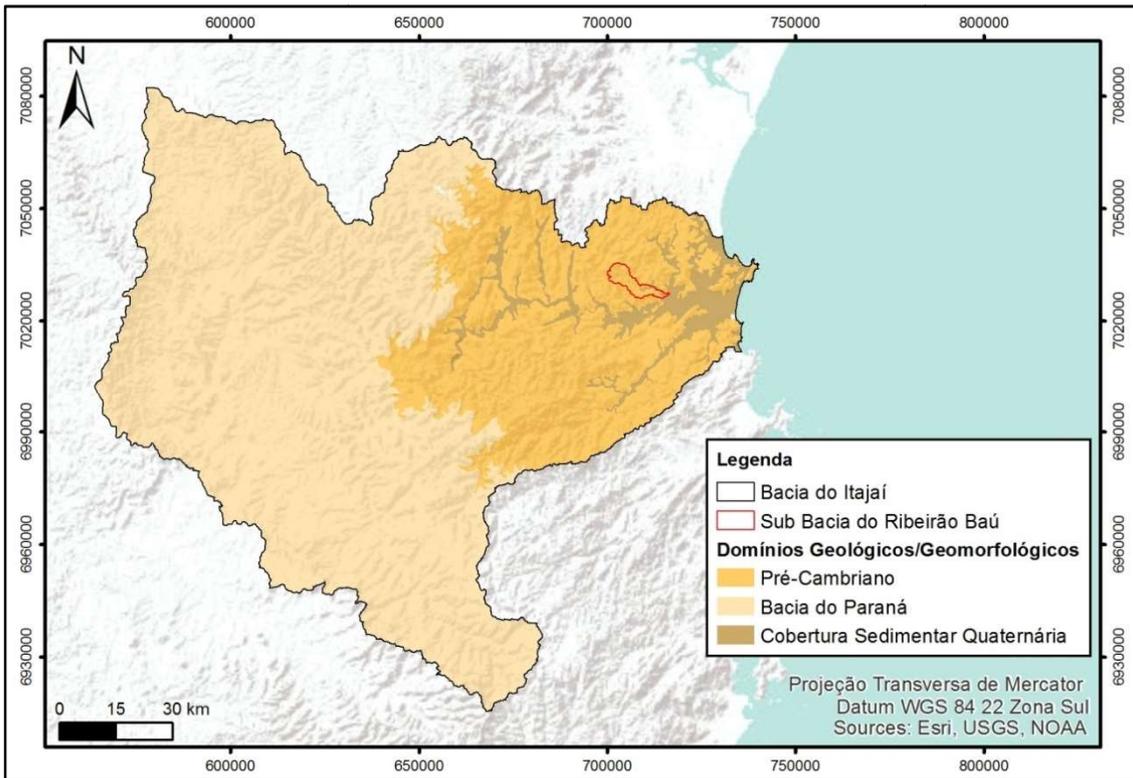


Figura 7 - Domínios geológicos / geomorfológicos da área de estudo.

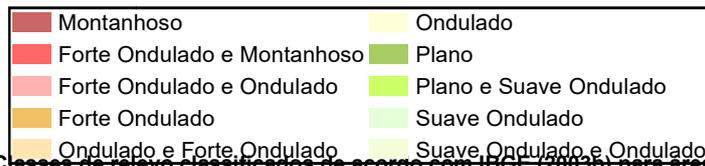
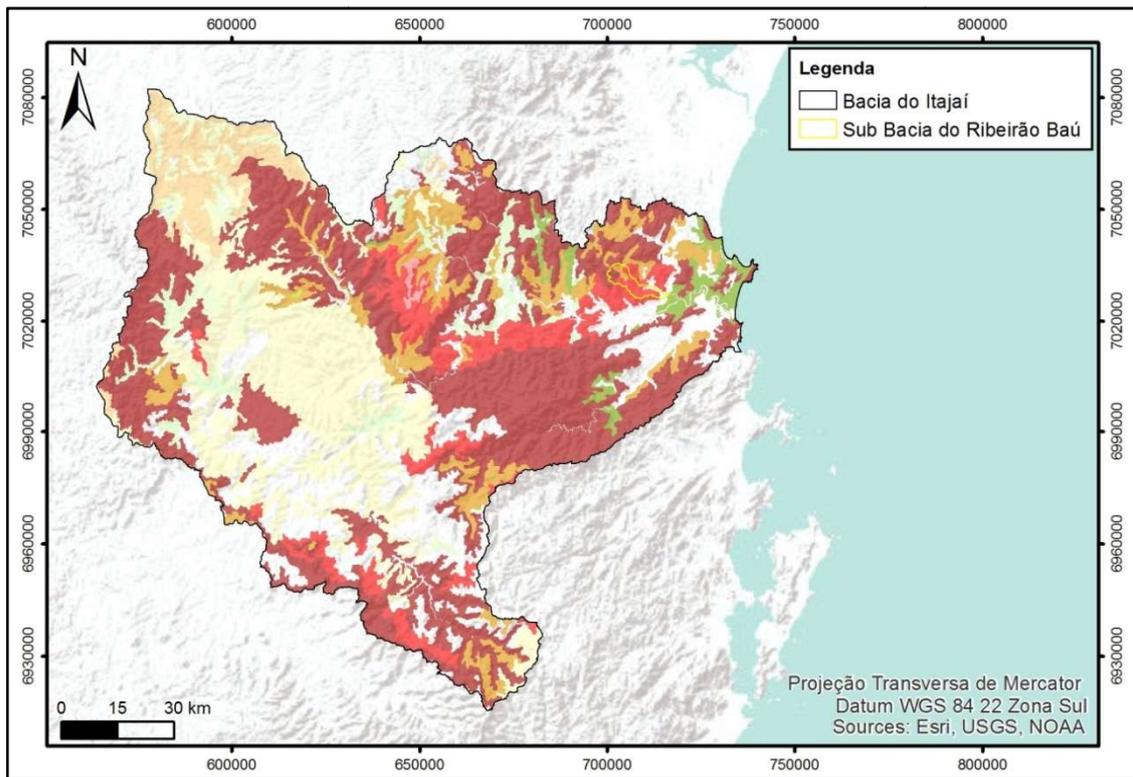


Figura 8 - Classes de relevo classificadas de acordo com IBGE (2003b) para área de estudo.



3.1.4 SOLOS

As características pedológicas determinam a resistência ao cisalhamento da encosta e influenciam diretamente no grau de saturação das camadas. O principal fator a ser considerado é a espessura do manto de intemperismo, pois, como visto, ao atingir a superfície da rocha a água passa a seguir o caminho preferencial de contato, formando uma zona lubrificada que favorece os movimentos gravitacionais de massa. Em trechos de relevo dissecado, onde as encostas são íngremes e retilíneas, os horizontes de solo são bastante delgados, comumente apresentando espessuras pouco variáveis e contatos subparalelos à superfície do terreno, num cenário que favorece a ocorrência preferencial de escorregamentos translacionais rasos (LOPES, 2006).

Conforme indicado por Porto (2003), as ocorrências sofrem influência marcante do tipo de solo, em especial no que diz respeito a seu material de origem. O material intemperizado passível de movimentação pode tanto ter sido formado sobre a rocha de origem (in situ), dando origem a solos residuais, quanto ter sido transportado, dando origem a solos sedimentares. Considerando o contexto geotécnico, como indica Sbroglia (2015), nos solos residuais não existe um contato ou limite direto entre o solo e a rocha que o originou, ocorrendo uma transição gradual, o que normalmente reflete no aumento da resistência e na redução da compressibilidade com o aumento da profundidade. Já para os solos sedimentares os depósitos são menos consolidados e não ocorre uma transição gradual o que implica diretamente numa situação de maior risco. Com base no Projeto Gerenciamento Costeiro (IBGE, 2003c), descrevem-se a seguir as classes de solo que predominam na área de estudo:

Argissolo Vermelho-Amarelo - A textura desta classe de solo é argilosa ou muito argilosa, predominando nas porções central e leste da bacia e se dividindo de modo homogêneo entre as unidades geológicas do Pré-Cambriano e Bacia do Paraná por relevos que variam de suave a forte ondulado. A área de ocorrência se associa a altimetrias relativamente baixas, sendo solos com relativo desenvolvimento, onde é possível notar a formação dos horizontes A, B e C, e que se relacionam, por essas características, com as formações residuais, sendo, portanto, menos susceptíveis a movimentos gravitacionais de massa.

Cambissolo - Os cambissolos, ao contrário dos argissolos, se caracterizam por serem solos ainda em formação, com a presença de horizontes pouco desenvolvidos que, considerando o material de origem, podem ser considerados em sua maioria como solos sedimentares. Corrobora com este quadro o fato de que, conforme Bauzys (2010), a maioria dos escorregamentos detectados no evento de 2008 ocorreu nesta classe pedológica. Na localidade há uma subdivisão entre Cambissolos Háplicos e Húmicos. Os Cambissolos Háplicos correspondem à classe predominante na Formação Bacia do Paraná com pouca presença nas unidades do Pré-Cambriano,



associando-se às formas de relevo ondulado a montanhoso onde os horizontes de textura argilosa atingem uma profundidade média que varia de 60 a 150 cm. Já os Cambissolos Húmicos ficam restritos às Formações da Bacia do Paraná associando-se a solos litólicos em relevos ondulados a forte ondulados onde a profundidade média dos horizontes não ultrapassa os 60 cm.

Neossolo – Esta classe é produto de um processo de pedogênese ainda menos avançado que o dos cambissolos, correspondendo a solos pouco evoluídos, rasos, com horizonte A diretamente assentado sobre a rocha dura ou sobre horizonte C. Na Bacia do Itajaí encontram-se os subtipos litólico, quartzarênico e flúvico. O primeiro tipo ocorre em associação aos cambissolos e afloramentos rochosos, estando presente tanto na formação Bacia do Paraná, quanto na formação Pré-Cambriano, em relevos forte ondulado a montanhosos com um horizonte A que varia de 15 a 40 cm. Já os subtipos quartzarênico e flúvico localizam-se junto ao leque aluvial litorâneo na foz da bacia e à Cobertura Sedimentar Quaternária, em relevos planos em associados a gleissolos, estruturando-se em horizontes que não ultrapassam os 60 cm de profundidade.

Gleissolo Háplico – Corresponde à classe de solo que predomina nas coberturas sedimentares em várzeas de relevo plano margeando rios, ou em locais de depressão e planícies aluvionais sujeitas a inundações. O aporte de materiais erodidos e água de drenagem constituem condicionantes importantes da natureza desses solos, que se formam em terrenos baixos, de recepção ou trânsito de produtos transportados, onde, por consequência, a probabilidade de ocorrência de movimentos gravitacionais de massa é muito baixa.

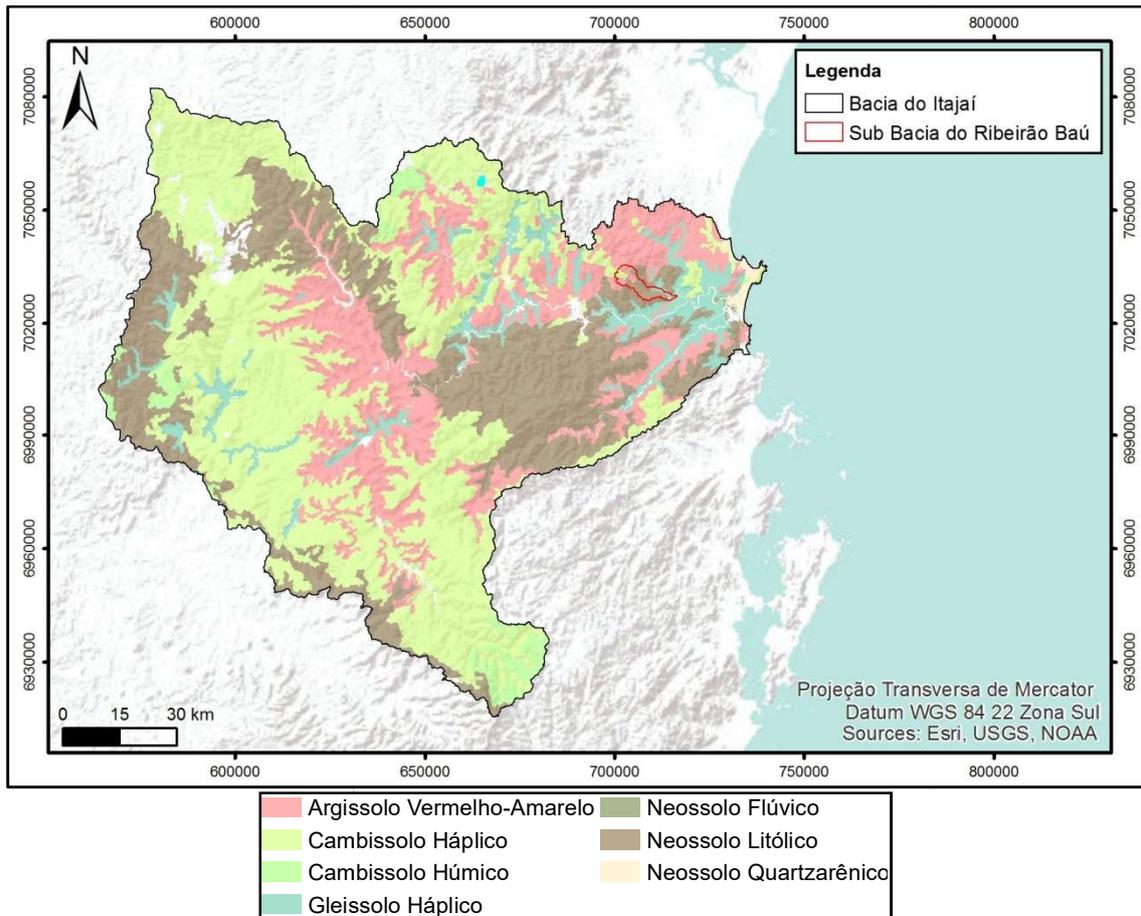


Figura 9 - Classes de solo encontradas na área de estudo conforme IBGE (2003c).

3.1.5 VEGETAÇÃO – USO E COBERTURA DO SOLO

Diversos estudos consideram a importância da influência da cobertura da terra na estabilidade de taludes. Esta pode ser explicada pela interferência nos processos hidrológicos e efeitos mecânicos. Dentre os principais parâmetros, Bergueria (2006b) considera que a vegetação desempenha um papel importantíssimo uma vez que modifica significativamente o fluxo hidrológico do solo interceptando a água da chuva, facilitando a infiltração e aumentando os índices de evapotranspiração.

Estas características reduzem as taxas de umidade do solo no longo prazo alterando as condições iniciais que precedem um evento extremo. Além disso, as raízes e poros aumentam a condutividade do solo possibilitando a elevação da capacidade de acumulação de água num curto período de tempo. Devido a este fato muitos autores defendem a relevância da cobertura vegetal para redução da incidência de escorregamentos (WU e SWANSTON, 1980; BLIJENBERG, 1998; CANNON, 2000).

Numa primeira aproximação é possível perceber que, devido ao histórico de ocupação, a bacia do Itajaí possui uma cobertura de solo bastante heterogênea, com áreas intensamente antropizadas e fragmentos florestais pouco influenciados pela atividade humana (florestas primárias intocadas) além de remanescentes explorados e alterados de forma mais ou menos intensiva (florestas primárias alteradas). Além



destes, são importantes as formações florestais secundárias (surgidas após desmatamento) com ou sem uso agrícola, de idade e estado de desenvolvimento diversos, entremeadas por lavouras, pastagens, reflorestamentos e áreas urbanas (VIBRANS, 2003).

Conforme o Mapa de Vegetação do IBGE (2004) e os dados do Projeto Gerenciamento Costeiro (IBGE, 2003c), sintetizados na adaptação da Figura 10, a classe de cobertura predominante na bacia corresponde à área atropizada, onde é possível encontrar:

- Fragmentos de formações campestres nativas a associadas à resquícios de floresta subtropical na área da formação geológica Bacia do Paraná;
- Fragmentos de floresta tropical, em especial nas áreas do contexto Pré-Cambriano; e
- Formações pioneiras, como o mangue e a restinga, na foz do Itajaí e em outras pequenas áreas associadas aos sedimentos do quaternário.

Visando complementar os dados analisados, bem como auxiliar na metodologia de detecção das cicatrizes, para área da sub-bacia do ribeirão baú foi confeccionado um mapa de uso do solo com base na interpretação das Fotos Aéreas disponibilizadas como produtos oriundos do levantamento aerofotogramétrico realizado pelo Governo do estado de Santa Catarina, por meio da Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável (SDS) no ano de 2009, sendo as mesmas que serviram de base aos dados topográficos utilizados. O mapeamento pode ser visualizado na Figura 55 em conjunto com os demais resultados.

Genericamente, os usos antrópicos mais recorrentes para a área de estudo são as culturas de milho, banana, reflorestamento, pastagens e arroz irrigado. Quanto às áreas que preservam as formações florestais naturais há o destaque para as fitofisionomias descritas a seguir.

Floresta ombrófila mista – É popularmente como mata-de-araucárias, definida como uma formação típica da região que aparece em fragmentos mais representativos nas áreas norte e sul em associação a formações florestais subtropicais e tropicais perenifólias, onde, nas altitudes maiores que 800 metros, é interrompida pela presença de campos naturais.

Floresta ombrófila densa / Floresta tropical pluvial – Formações florestais características do Bioma Mata Atlântica apresentam-se na bacia como uma grande mancha na região centro-oeste estando presente tanto na formação geológica Bacia do Paraná, quanto na do Pré-Cambriano. De maneira comum, esta floresta é definida pela sua estrutura complexa, de aspecto exuberante e úmido, com muitas lianas e epífitas e apresentando riqueza de espécies distribuídas em três estratos distintos: superior, formado por árvores de troncos grossos que atingem até trinta metros de altura, intermediário, com densidade alta, constituído por indivíduos de dez a quinze metros de altura, com copas mais fechadas, e inferior, composto por ervas e arbustos. Embora localizada em zona de clima subtropical, esta floresta mostra todas as



características da floresta pluvial tropical: grande riqueza específica (recentemente foram registradas 359 espécies arbóreas e arbustivas, pertencentes a 72 famílias, num trecho de mata de 5.000 ha conforme levantado na Serra do Itajaí, município de Blumenau (SEVEGNANI *et al.*, 2003), existência de vários estratos, de altos valores de biomassa, de muitos cipós e lianas, de epifitismo, de alto grau de endemismo e de espécies raras, de grande especialização das relações entre flora e fauna e dominância de vetores animais nas síndromes de polinização e dispersão das plantas (VIBRANS, 2003).

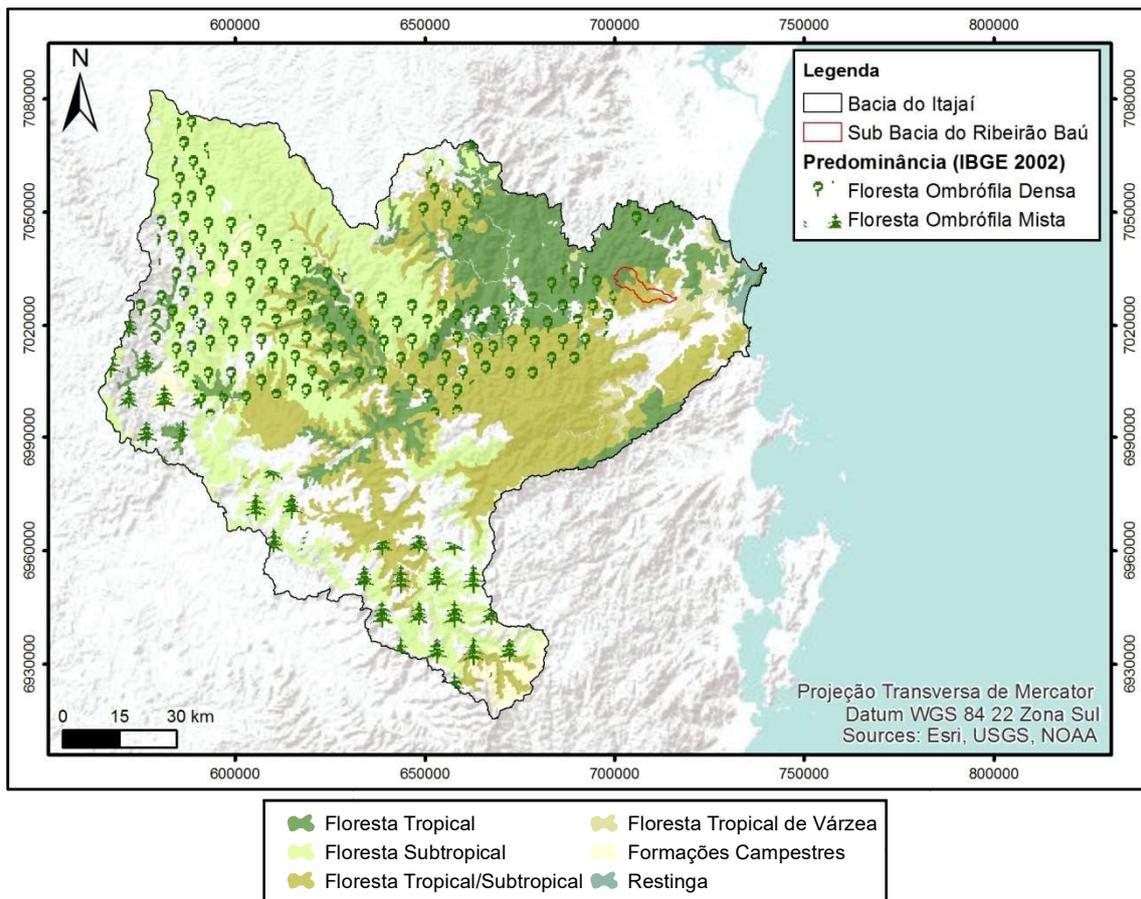


Figura 10 - Vegetação predominante na Bacia do Itajaí com base na síntese dos dados do Mapa de Vegetação do IBGE (2004) e do Projeto Gerenciamento Costeiro (IBGE, 2003c).

3.2 COMPARAÇÃO- ESTAÇÕES X TRMM

Para avaliar a deflagração dos movimentos de massa de modo dinâmico considerando uma relação espaço temporal faz-se necessário o uso de informações pluviométricas compatíveis com a resolução espacial no intervalo analisado. Conforme relatado inicialmente, o foco desta análise foi o evento extremo acontecido em Novembro de 2008 na Bacia do Itajaí, em especial na Sub-Bacia do Ribeirão Baú. A análise considerou o uso de fontes diversificadas de informação englobando tanto os dados de estações pluviométricas disponíveis à época do evento quanto dados satelitários da plataforma TRMM disponibilizados em tempo real (3B42) para o intervalo analisado. Conforme visto na bibliografia consultada e também poderá ser observado nos



resultados desta tese, os dados TRMM necessitam de correção considerando a baixa resolução espacial em relação às medições pontuais. Sendo assim, foi necessário recorrer a um processo de compatibilização entre as informações em diferentes escalas, conhecido na literatura como *downscaling*.

A comparação entre os dados foi realizada a partir das médias mensais para as estações, os produtos satelitários e as correções com base nas poligonais vetorizadas como cicatrizes (conforme o descrito no Tópico 3.4.1) e também no polígono correspondente à delimitação da Bacia do Rio Itajaí. Os cálculos foram realizados em ambiente ArcGIS a partir da ferramenta *Zonal Statistics*.

3.2.1 AQUISIÇÃO DOS DADOS PLUVIOMÉTRICOS

Tanto os dados de estações quanto os satelitários consistem em séries mensais de 2004 a 2014 e séries diárias no intervalo de 15 a 25 de novembro de 2008, considerando a fase mais crítica do grande evento de deslizamento descrito no Tópico 2.2.3 do referencial teórico. Os dados pluviométricos das estações foram obtidos a partir de contato direto com a EPAGRI/CIRAM (Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina / Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina) disponibilizados no formato *.mdb (Access Database)* e integrados com dados disponíveis na plataforma *hidroweb* da Agência Nacional de Águas (ANA), conforme a Figura 11.

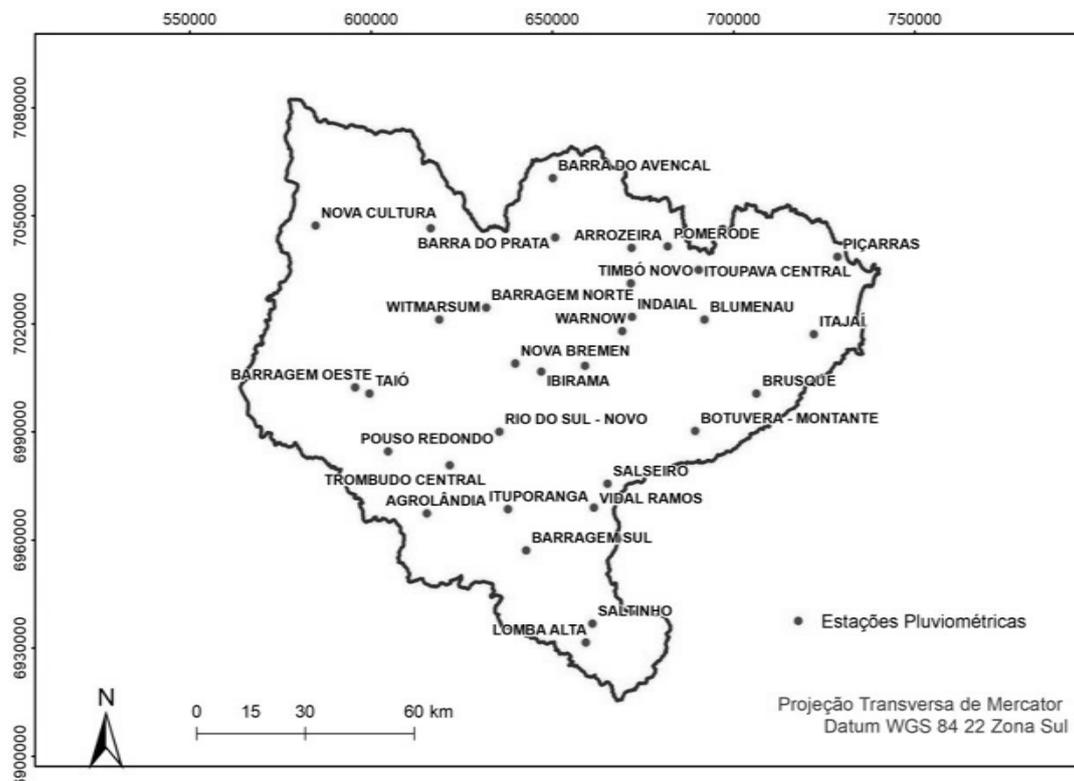


Figura 11 - Estações pluviométricas consideradas para avaliações diárias e mensais na Bacia do Rio Itajaí (Fonte: Hidroweb/ EPAGRI).



É importante ressaltar que existem mais estações que as consideradas na análise, porém, as 32 selecionadas possuem dados compatíveis com a série considerada. Estes, por sua vez, não passaram por qualquer tipo de tratamento, considerando os valores expressos conforme o banco de dados disponibilizado. Neste contexto, a série mensal de 2004 a 2014 possui descontinuidades, considerando que nem todos os meses possuem registro em todos os anos contemplados. Entretanto, a série diária de 15 a 25 de novembro foi considerada de modo completo, sendo que as estações que não dispunham de dados para algum dos dias analisados foram descartadas.

A detecção das condições de chuva que podem desencadear deslizamentos de terra requer uma informação de precipitação em escala de detalhe que esteja disponível continuamente no tempo e no espaço. Sendo assim, os dados de pluviosidade utilizados nesta etapa consideram, além das estações pluviométricas supracitadas, os produtos 3B42 e 3B43, ambos oriundos da plataforma TRMM. A unidade de medida utilizada foi a de milímetros por dia, dado o formato de entrada do algoritmo de estabilidade utilizado.

O produto 3B42 baseia-se em dados brutos sem correção ou correlação entre outras fontes, sendo disponibilizados com uma resolução temporal de 3 horas. Já o 3B43 que consiste em uma média mensal da precipitação global. Ambos são disponibilizados numa grade de $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ (lat/lon) e podem ser obtidos gratuitamente a partir do link <<https://pmm.nasa.gov/data-access/downloads/trmm>>. O formato de aquisição foi o *Network Common Data Form* (NetCDF), cujo acesso e compartilhamento são orientados a matrizes, permitindo o acesso e conversão direta no software ArcMap para qualquer formato raster a partir da ferramenta *Multidimension Tools*.

O produto 3B43 foi o considerado para a comparação mês a mês com as estações durante a série, na expectativa de ser utilizado como calibração para os dados de maior resolução temporal. Para adequação dos dados 3B42 com as observações diárias de pluviômetros, foi necessária a conversão das estimativas a cada três horas em acumulados diários. Nesta etapa, um dia corresponde ao somatório das oito estimativas disponibilizadas nos horários sinóticos, entre as 9h00 do dia anterior até as 6h00 do dia da leitura (hora local), sendo a precipitação deste período atribuída ao dia anterior. Estes ajustes tornaram as estimativas 3B42 compatíveis com os horários das leituras diárias realizadas nos pluviômetros, conforme o critério adotado pela ANA, possibilitando então, a comparação entre os dados a ser realizada conforme os tópicos posteriores.

3.3 DOWNSCALING – SSC

Ao se empregar um *downscaling* em regiões tropicais úmidas deve-se considerar as relações menos marcantes entre chuva, vegetação e elevação em comparação com as regiões temperadas. A variável chave nas zonas intertropicais deve ser aquela que influencia os padrões de precipitação e para o qual os dados substitutos estão disponíveis em uma resolução maior do que a precipitação do satélite. Anders e



Nesbitt (2015) destacaram variáveis significativas que influenciam o gradiente de precipitação nos trópicos. Em escala local, a precipitação seria influenciada por variáveis hidrometeorológicas, a saber, ventos dominantes, umidade atmosférica e modelos convectivos. Teoricamente, se o padrão de precipitação foi historicamente consistente no espaço e no tempo, a relação entre o satélite e o pluviômetro deve seguir uma tendência similar. Neste sentido, mesclar os dados do pluviômetro para calibrar a precipitação de satélites nos trópicos seria útil, como o processo feito por Yatagai *et al.* (2014).

Neste sentido, Mahmud *et al.* (2018) propõem a expansão deste conceito para desenvolver um método de *downscaling* espacial adequado para as zonas intertropicais. O processo proposto foi capaz de produzir um mapa de precipitação de alta resolução com melhor precisão quantitativa utilizando produtos da plataforma TRMM e GPM. Além disso, foi efetivo em diminuir o conjunto de dados futuros sem a entrada de pluviômetros. A área de estudo dos autores considerou o sudeste da Malásia, onde os eventos extremos, provocados por fenômenos climáticos conhecidos como monções, são bastante recorrentes e podem ser considerados como um padrão climático da região.

A maior parte da fusão atual ou anterior, ou outros métodos de melhoria da resolução espacial, requerem um conjunto de dados múltiplos ou as informações substitutas *in-situ*. A hipótese é que em regiões tropicais úmidas de baixa variabilidade sazonal de chuvas, a razão de polarização entre as medições anteriores do satélite e do solo é consistente e, portanto, pode ser usada como coeficiente para estimar os valores precisos da precipitação dos conjuntos de dados futuros de precipitação de satélites. Se o coeficiente específico do local estivesse disponível em uma grade menor, uma estimativa em escala fina da precipitação do satélite seria alcançável.

Seguindo a metodologia proposta pelo autor supracitado, a precipitação mensal da área na resolução de 90 metros (visando a compatibilidade com o SRTM) foi gerada usando a rede de pluviômetros e o método de interpolação *topo toraster*, conforme descrito no Tópico 3.2.1. Enquanto isso, os dados de precipitação de satélites do produto 3b43 foram redimensionados da resolução original de 0,25° para a mesma resolução das interpolações, mantendo os valores originais. Dois tipos de conjuntos de dados de precipitação foram produzidos: um para o satélite e outro para os pluviômetros de solo, ambos com a mesma resolução. Este processo foi feito para o conjunto de dados de 2004 a 2014.

Dando continuidade ao procedimento proposto, os dados de precipitação satelitários redimensionados foram divididos pelo produto das estações pluviométricas. Este processo foi realizado em escala mensal. Após o procedimento, novas imagens foram produzidas, onde cada pixel tinha um valor específico de razão de polarização mensal. O segundo passo foi calcular a taxa média de polarização para cada pixel. O resultado deste processo pode ser considerado como um coeficiente sazonal específico local (*Site-Specific Coefficient*), ou SSC. Ao final obtiveram-se 12 imagens de coeficiente



único, cada uma representando o coeficiente de base mensal de *downscaling* de janeiro a dezembro.

Um valor de SSC de 1,0 representa uma condição perfeita em que nenhuma modificação ocorre. Enquanto isso, um valor de SSC maior que 1,0 indica uma superestimativa e vice-versa. A próxima etapa do processo foi aplicar o SSC derivado a um conjunto de dados, no caso para o mês de novembro de 2008. Cada valor de pixel para os dados TRMM brutos, oriundos do produto B42 foi dividido pelo SSC correspondente derivado da etapa 2. Nesta etapa, porém, nota-se que o problema dos eventos extremos, identificado já na bibliografia consultada, era apenas amenizado e de certa forma mantinha uma distância bastante grande em relação aos dados dos pluviômetros. Tal problema deriva da pequena presença de eventos extremos na série, já que estes não se repetem numa frequência elevada como o ocorrido na área de estudo considerada por no estudo desenvolvido por Mahmud *et al.* (2018).

Foi considerado então o uso do *downscaling* via SSC não só para a média geral dos Novembros de toda a série, mas também considerando apenas o Novembro de 2008, onde o evento extremo foi registrado. Conforme foi possível observar no resultado, este obteve valores mais próximos aos dados de estação e, portanto, possibilitou um grau de acerto mais efetivo.

1.1.1 RELAÇÃO CICATRIZES X CHUVA

Para que fosse possível realizar uma comparação significativa entre os dados satelitários e os dados das estações pluviométricas foi necessário considerar a relação entre as médias pluviométricas para a bacia como um todo e as médias apenas para as áreas consideradas como cicatrizes. Tal procedimento se justifica com base no fato de que a proposta de monitoramento da susceptibilidade apoiado na coesão considera a chuva como fator dinâmico e deve, portanto, entender como se dá a distribuição pluviométrica de modo especial nas áreas mais sensíveis, que, de modo geral, corresponderiam às cicatrizes de deslizamento uma vez que estas são áreas que potencialmente já estiveram sujeitas a um processo de desestabilização.

Na pesquisa em questão foram consideradas as médias mensais tanto das estações quanto das imagens oriundas do produto 3B43, sendo que foi realizada uma comparação mês a mês da série completa a partir da ferramenta Zonal Statistics do software ArcGIS. Considerando que os dados pluviométricos das estações são representados de forma pontual, os mesmos foram interpolados a partir do módulo Topo to Raster deste mesmo software, visando contemplar o espaço numa grade matricial contínua que permita extrapolar os valores para as áreas onde originalmente não haveria informação. Além disso, a análise considerou também médias diárias relativas a cada mês da série, levando em conta o fato de que este formato pode ser utilizado como fator determinante para a deflagração dos movimentos de massa analisados neste estudo e pode refletir um caráter dinâmico da coesão no longo prazo, como exemplificado no trabalho de Guimarães *et al.* (2017), que utilizou a série TRMM para calcular a coesão numa série contínua no município de Paraty – RJ.



1.1.2 DETECÇÃO DE ÁREAS INSTÁVEIS - NOVEMBRO DE 2008

Esta etapa considera uma simulação a ser realizada utilizando os dados disponíveis à época do evento de novembro de 2008, considerando os dias mais críticos para avaliar em que medida a metodologia proposta seria capaz de prever os movimentos gravitacionais ocorridos no período. Os parâmetros utilizados inicialmente na Bacia do Itajaí foram os valores gerais e a expectativa é que um teste com dados topográficos e pluviométricos de pior qualidade possam dar um indicativo de como o modelo se comportaria utilizando fontes mais refinadas.

Deste modo, os dados de precipitação do TRMM 3B42 foram utilizados no formato diário e comparados com as estações, sendo as cicatrizes utilizadas como parâmetro de validação para cada dia. Num segundo momento a simulação considerou os dados TRMM tratados pelo SSC de Novembro de 2008. Todos os produtos utilizados consideraram a resolução espacial dos dados morfométricos utilizados, sendo que o objetivo não seria uma taxa de acerto global, e sim uma relação de cronologia entre as áreas consideradas instáveis pelo modelo e as cicatrizes mapeadas. A meta foi uma intersecção para verificar quais cicatrizes teriam sido formadas nas condições pluviométricas do momento analisado, considerando a coesão num caráter dinâmico conforme a chuva para a série de 15 a 25 de Novembro de 2008.

3.4 APLICAÇÃO DO MODELO SHALSTAB

Conforme citado no referencial teórico, a aplicação dos modelos de predição deve prezar pela precisão e confiabilidade carecendo de fontes confiáveis para validação, já que as áreas de risco mapeadas podem ser um dano em potencial que em determinado momento será deflagrado. É fato ainda que o principal gatilho para que o risco se materialize é a chuva, o que implica que mesmo em áreas com alguma vulnerabilidade o terreno continuará estável até que o limiar de precipitação necessário para alcançar o nível de coesão crítica seja alcançado.

Dito isto, o modelo SHALSTAB orientado para coesão permite detectar as áreas instáveis conforme as condições pluviométricas no período considerado e, portanto, viabiliza uma análise que imprime um caráter temporal dinâmico, já que, em via de regra, mesmo as áreas mais instáveis necessitam de um nível determinado de chuva para se configurarem num deslizamento de fato. Para tentar aumentar o grau de precisão das informações o modelo foi alimentado pelos dados de estações pluviométricas e também por dados satelitários que estariam disponíveis em tempo real no período de 15 a 25 de Novembro de 2008, considerando os dados do produto TRMM 3B42.

A confirmação da ocorrência do deslizamento se materializa nas cicatrizes que podem ser mapeadas e utilizadas como fonte de validação. Sendo assim, nesta etapa o primeiro processo realizado foi o mapeamento das cicatrizes para validação do modelo, buscando não uma taxa de acerto absoluto, mas sim a detecção das instabilizações que poderiam ser atribuídas ao evento de 2008. O modelo foi



confeccionado para cada um dos dias do período, considerando o cruzamento com todas as cicatrizes mapeadas que seriam interceptadas por qualquer das classes de instabilidade em cada um dos dias. Uma vez detectada a área mais afetada, no caso a Sub-bacia do Ribeirão Baú, a validação foi realizada nas cicatrizes que de fato poderiam ser atribuídas às chuvas do período analisado. A Figura 12 apresenta os passos seguidos para aplicação do algoritmo orientado para a coesão.

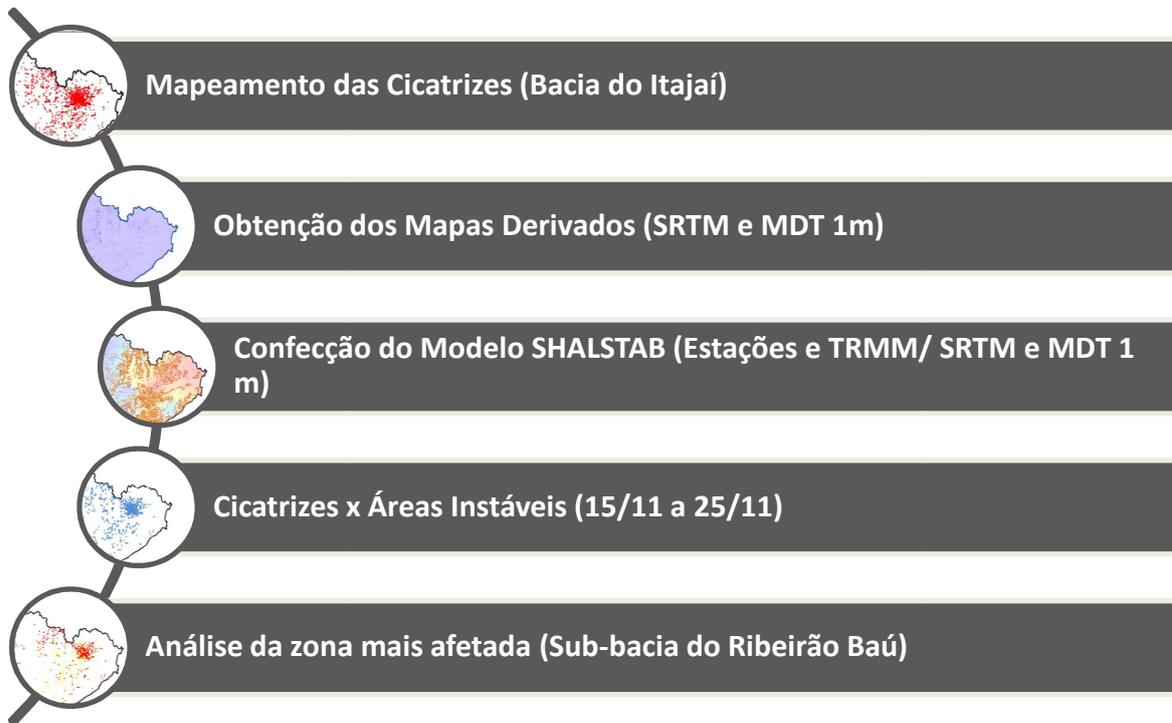


Figura 12 - Procedimentos realizados para a aplicação do modelo SHALSTAB orientado para a coesão considerando os aspectos espaço temporais.

3.4.1 MAPEAMENTO DE CICATRIZES

Devido à remoção da cobertura vegetal e consequente exposição do solo ou rocha com a deposição de material transportado ao longo da vertente, os processos de movimentação de massa apresentam formas específicas, conhecidas na literatura especializada como cicatrizes (MCKEAN *et al.*, 1991). Um mapa ou inventário destas feições é bastante útil para entender os diferentes fatores associados ao fenômeno estudado, em especial no que diz respeito aos deslizamentos translacionais. Seu registro pode ser efetuado mediante o levantamento no terreno pelo investigador e/ou através de métodos secundários de aquisição de dados como, por exemplo, a interpretação de fotografias aéreas ou de imagens de satélite.

De modo geral as cicatrizes apresentam-se com uma geometria definida, formada pela cabeceira (onde se inicia o escorregamento), pelo corpo, ao longo da faixa afetada pela remoção e transporte de material e pela base, onde se deposita o material transportado (ZARUBA e MENCL, 1982; HANSEN, 1984). São estas as principais fontes utilizadas para a validação de modelos de susceptibilidade, visto que as



cicatrices dos eventos já ocorridos expressam tendências diretamente relacionadas à estabilidade do local e, portanto, podem servir como um indicativo de sucesso para as predições.

Considerando a natureza dos terrenos onde ocorrem os deslizamentos o uso de dados de sensoriamento remoto vem sendo a principal alternativa metodológica para suprir a demanda por informações desta natureza (MARTIN *et al.*, 2002). As observações de campo têm grande relevância para a detecção das cicatrizes mais recentes. Porém, as fotografias aéreas e os dados satelitários possibilitam observar com alguma precisão as quebras de dossel na vegetação de maior porte, as manchas de solo exposto nas vertentes e as trilhas de fluxo e depósitos de detrito abaixo das cicatrizes (PRADHAN, 2010).

Mckean *et al.* (1991) afirmam que os dados obtidos por sensoriamento remoto podem ser utilizados para avaliar as consequências diretas dos escorregamentos através da identificação e mensuração da área de abrangência do fenômeno. Além da identificação das cicatrizes, essa tecnologia também pode contribuir, de forma significativa, no mapeamento dos condicionantes do processo, que são a cobertura vegetal, o uso da terra, a forma das vertentes, o tipo de relevo, etc. O realce dos dados pode facilitar a interpretação das imagens de sensoriamento com a minimização ou maximização de alguns elementos facilitando a identificação das feições de interesse.

Grande parte dos trabalhos para a detecção de escorregamentos utiliza fotografias aéreas devido à maior resolução espacial, muito embora também existam trabalhos realizados com a utilização de dados TM Landsat com resolução de 30 m, como McKean *et al.* (1991), Manfre (2015) e outros. As fotos aéreas permitem o mapeamento dos detalhes, como formas e dimensões das áreas potenciais, assim como as cicatrizes deixadas pela movimentação do material. Entretanto, mesmo em uma resolução refinada muitos fatores dificultam o desenvolvimento de estimativas precisas da densidade e volume dos deslizamentos correspondentes às feições mapeadas, principalmente por conta da incapacidade de visualização sob o dossel da floresta (PYLES e FROEHLICH, 1987, BRARDINONI *et al.*, 2003). Para a área de estudo esse problema é bastante relevante, considerando que a maior parte das cicatrizes está vinculada às áreas cobertas por mata atlântica, reflorestamento ou mata de araucárias, todas associadas à vegetação de elevado porte arbóreo.

As cicatrizes para toda a Bacia do Rio Itajaí, assim como o uso do solo para a Bacia do Ribeirão Baú, foram vetorizadas por método de interpretação visual com base no levantamento aerofotogramétrico realizado pelo Governo do Estado de Santa Catarina, por meio da Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável (SDS), que desenvolveu um projeto para a obtenção de dados geográficos de alta precisão no ano de 2010, com uma resolução espacial de 0,39 m. O acesso a esses e dados (e ainda aos dados do MDE e MDT extraídos das mesmas informações) foi realizado a partir do link <<http://sigsc.sds.sc.gov.br>>. Para compatibilização das cicatrizes com os dados de menor resolução (para o caso das



grades de 90 m) o produto da vetorização foi convertido para o formato raster compatível e reamostrado para viabilizar a integração a partir das ferramentas de conversão do software ArcGIS. Este processo foi necessário por conta da resolução das imagens onde as cicatrizes foram vetorizadas, já que num único pixel SRTM podem ser encontradas diversas feições dada a diferença dos produtos.

3.4.2 OBTENÇÃO DOS MAPAS DERIVADOS

Os MDT's buscam uma aproximação com o relevo real, sendo, portanto, uma representação aproximada do terreno a partir da qual é possível estimar uma série de parâmetros úteis às análises hidrológicas envolvidas na previsão de deslizamentos. Afora este fato, a precisão destas estimativas é bastante variável visto que, embora a maioria dos deslizamentos de terra ocorra em encostas, taludes de estrada e rodovias ou em áreas montanhosas, há registros de deslizamentos de terra em áreas de declive relativamente baixo. Esta etapa foi realizada para os dois recortes estudados em processos praticamente idênticos e deste modo, visando evitar a repetição de informações, os processos relativos à confecção destes produtos será apresentada em apenas um tópico.

Para estimar as variáveis espaciais topográficas para toda a Bacia do Itajaí foi utilizado como dado de entrada para a bacia do Itajaí o produto da missão SRTM obtido do sítio do CGIAR-CSI (<http://srtm.csi.cgiar.org/>), tratado de forma a resolver o problema da falta de informação existentes nos dados SRTM originais, entre outros, que dificultam a correta obtenção das propriedades hidrológicas. Jarvis *et al.* (2008) destacam que os procedimentos aplicados possibilitaram uma melhoria significativa desses dados, especialmente para aplicação em modelos hidrológicos que necessitam de superfícies de fluxo contínuo. Este mesmo produto foi utilizado por Ramos (2017) para aquisição de dados morfométricos para todo o território brasileiro, adequando-se com sucesso à aplicação do modelo TRMM na cobertura de grandes áreas.

O levantamento aerofotogramétrico também foi utilizado, tendo sido obtidas as cenas do MDT e do MDS correspondentes à cobertura da Sub Bacia do Ribeirão Baú, com resolução espacial de 1m. A partir do MDT, foram estimados os parâmetros de declividade e área de contribuição. Para o refinamento do mapeamento das cicatrizes, o MDS das mesmas cenas também foi utilizado. Para evitar erros hidrológicos (depressões), que impediriam o cálculo correto da direção de fluxo, utilizou-se a ferramenta *Fill Sinks*, disponível na extensão TauDEM em ambiente ArcGIS (PELLETIER, 2008).

Para o tratamento dos dados de elevação que demandavam interpolação direta, que serão descritos mais a frente, foi utilizado o módulo *Topo to Raster*, no software ArcMap. As rotinas foram adotadas com o intuito de minimizar as anomalias causadas pela influência dos valores onde há dados em detrimento das áreas que serão estimadas, visando à obtenção de modelos hidrológicamente corretos. Seguindo a metodologia proposta por Freitas (2012) é possível realizar ajustes para obtenção de



dados morfométricos mais próximos da realidade. Modificações feitas nos valores dos parâmetros de interpolação do módulo, conforme a Tabela 5, possibilitam minimizar o efeito escada, criando declividades menos acentuadas e mais constantes ao longo da encosta e, conseqüentemente, melhorando o mapa de fluxo acumulado, parâmetros fundamentais para confecção do SHALSTAB.

Tabela 5 - Parâmetros utilizados no Topo to Raster (Adaptado de Freitas, 2012).

Parâmetro	Valor	Descrição
Margem em células	20	Distância em células para interpolar além da extensão de saída especificada e limite
Menor valor z para ser utilizado na interpolação	(em branco)	Limitar o menor e o maior valor para interpolação
Maior valor z para ser utilizado na interpolação	(em branco)	-
Aplicação da drenagem	<i>enforce</i>	O tipo de aplicação da drenagem na interpolação. Utilizado para remoção de depressões no canal de drenagem quando desejado.
Tipo do dado primário	<i>spot</i>	O tipo de dado de entrada com informações de elevação dominante
Número máximo de interações	40	Número máximo de interações da interpolação. Valores acima de 30 limpam pequenas depressões. Já valores acima de 45 raramente tem utilidade na limpeza de mais depressões
Penalidade de Rugosidade	0,5	Utilizado para suavizar a interpolação.
Fator de erro de discretização	1	Utilizado para ajustar a intensidade da suavização. Valores menores resultam em menos suavização.
Erro padrão vertical	0	A quantidade de erro aleatório nos valores de z do dado de entrada
Tolerância 1	0	Essa tolerância reflete a acurácia e densidade dos pontos de elevação em relação à drenagem.
Tolerância 2	200	Essa tolerância previne que a drenagem ultrapasse barreiras com altitudes irreais.



3.4.2.1 Declividade

A declividade pode ser entendida como a medida de inclinação do relevo em relação ao horizonte, sendo que se relaciona diretamente com a velocidade de transporte de massa sólida ou líquida (SESTINI, 1999). Conforme Fernandes e Amaral (1996) as declividades superiores a 30° possuem maior susceptibilidade de deslizamento. Acima dos 60°, como a camada de solo estabilizada é menos profunda, a susceptibilidade diminui sensivelmente. Em áreas de cabeceiras de drenagem onde a dissecação do relevo é mais elevada, a rocha base pode ficar exposta, havendo assim uma susceptibilidade inerente que aumenta concomitantemente com a declividade (TRICART, 1972; THOMAS, 1979).

De acordo com Lopes (2006), os perfis retilíneos tendem a apresentar maiores declividades, em geral, que as áreas convexas, sendo mais suscetíveis a escorregamentos do tipo translacional. Encostas côncavas apresentam, em média, maiores espessuras de solos e por serem zonas de convergência de fluxo de água, possuem grande volume de material a ser mobilizado (colúvio ou tálus), potencializando uma ruptura mais profunda (Dietrich *et al.*, 1986).

Em alguns estudos, a declividade vem sendo utilizada como o principal (ou mesmo o único) parâmetro de caráter topográfico incorporado aos estudos de previsão e definição de áreas instáveis gerando, com frequência, distorções na análise dos escorregamentos (Fernandes *et al.*, 2001). Como consequência dessa interpretação áreas de menor declividade, inicialmente são definidas como de baixa susceptibilidade e mostram, com frequência, a presença de escorregamentos no campo, principalmente na forma de corridas de massa (Guimarães, 2000). Para este trabalho a declividade foi estimada automaticamente pelo método de Zvenbergen e Torne (1987) diretamente a partir dos MDT em ambiente SIG, com o arquivo de saída gerado em radianos.

3.4.2.2 Área de Contribuição

A área de contribuição corresponde ao valor da área relativa da bacia à montante de cada pixel específico (a/b), desempenhando um papel significativo na avaliação da suscetibilidade à ocorrência de deslizamentos, visto que se relacionam diretamente com a concentração dos fluxos de água e com a consecutiva saturação dos solos (MOORE *et al.*, 1991; BEVEN E KIRKBY, 1979; DIETRICH *et al.*, 1995; O'LOUGHLIN, 1986).

Vários são os métodos para determinação da área de contribuição. Existem os que calculam a área de contribuição considerando que todo o fluxo a montante é transferido para um único pixel à jusante (O'CALLAGHAN e MARK, 1984; DESMET e GOVERS, 1996; MILDE *et al.*, 1999; entre outros), e os que distribuem proporcionalmente o fluxo para os pixels à jusante (QUINN *et al.*, 1991; FREEMAN, 1991; TARBOTON, 1997).



Tarboton (1997) realizou comparações entre diversos procedimentos que determinam a área de contribuição e constatou que o método denominado multi-direcional desenvolvido por Quinn *et al.* (1991) produz melhor resultado para o cálculo da área de contribuição nas porções côncavas do relevo. Esse método realiza a distribuição de fluxo de forma proporcional entre as células localizadas à jusante, de acordo com a declividade local. Como estas porções do relevo são as mais susceptíveis a ocorrência de escorregamentos, este foi o método utilizado neste estudo. No método D-Inf (D^∞), desenvolvido por Tarboton (1997), a direção do fluxo está entre os valores 0 e 2π de uma das faces triangulares, ao todo são nove triângulos, um central e oito periféricos, onde cada triângulo compreende parte de três pixels. Para a representação dos mapas visando facilitar a visualização, os dados relativos à acumulação de fluxo foram apresentados após a aplicação de um logaritmo (\log_{10}) a partir da ferramenta *Map Algebra* do software ArcMap.

3.4.3 APLICAÇÃO DO MODELO SHALSTAB

Combinando os dois modelos descritos (hidrológico e de estabilidade), obtém-se a Equação 6 referente a quantidade de precipitação (Q) ou fluxo de carga constante para desencadear o deslizamento.

Equação 6 - Modelo de susceptibilidade orientado à precipitação, considerando a coesão do solo.

$$Q = \frac{T}{a/b} \operatorname{sen}\theta \frac{C'}{\rho_w g z \cos^2 \theta \tan \phi} + \frac{\rho_s}{\rho_w} \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \phi} \right)$$

O modelo SHALSTAB utiliza três variáveis topográficas: área de contribuição (a), o comprimento de contorno unitário (b) e declividade (θ). Nos estudos de encostas naturais e taludes os parâmetros de propriedade dos solos são essenciais para qualquer análise quantitativa de sua estabilidade (Wolle, 1980; Guidicini e Nieble, 1984; Abramson *et al.*, 2002). São consideradas cinco variáveis de propriedades do solo: a densidade do solo (ρ_s), o ângulo de atrito (ϕ), a transmissividade (T), a coesão (C') e a profundidade (z); gerando como resultado uma estimativa de precipitação (Q), a qual o solo resistiria mantendo sua estabilidade. Alguns módulos permitem ainda adicionar a coesão oriunda das raízes vegetais presentes no solo às quais há uma grande sensibilidade considerando as profundidades mais rasas.

Vários estudos utilizam o modelo de maneiras diferentes buscando estimar a susceptibilidade de acordo estas demais variáveis. Podemos ter como variável dependente no modelo SHALSTAB qualquer parâmetro que fornecerá o valor crítico em que o escorregamento irá ocorrer.

Alguns dos parâmetros utilizados possuem valores considerados genéricos que são automaticamente atribuídos pelo módulo com base em estimativas globais foram utilizados para a primeira parte do estudo, quando considerados os dados de menor resolução. Outros, em especial os dados topográficos, devem ser preenchidos no formato de matriz conforme levantamentos realizados em campo, consultas



bibliográficas ou estimativas pré-existentes oriundas de produtos de sensoriamento remoto, como no caso deste estudo. Para aquisição de dados precisos uma etapa de campo se torna imprescindível, uma vez que não é possível inferir de maneira remota as características intrínsecas a cada tipo de solo, que variam em função de uma gama de fatores que impossibilita este tipo de estimativa. Entretanto, os parâmetros de propriedade dos solos são difíceis de se obter sendo necessários levantamentos exaustivos e de custo elevado para que se possa determiná-los espacialmente. Sendo assim, uma opção viável é levantar este tipo de dado em pesquisas realizadas anteriormente, desde que advindas de fontes confiáveis e executadas a partir de metodologias conhecidas.

3.4.3.1 Coesão Crítica

Neste estudo a variável considerada para investigação contemplou os níveis de coesão necessários para que, em estado de equilíbrio, ocorra um grau de instabilidade no terreno suficiente para desencadear um escorregamento de encosta. O parâmetro pode ser expresso como o resultado da soma entre a coesão real (devido às ligações intergranulares e/ou cimentação química) e a coesão aparente ou capilaridade (devido à pressão de sucção gerada nos poros dos solos não saturados, na interface ar – água) (LOPES, 2006). A coesão mais sensível a variações com o grau de saturação do solo é a aparente, pois com aumento da saturação por precipitações intensas, há uma diminuição ou mesmo desaparecimento da pressão de sucção, diminuindo a componente coesão e acarretando um decréscimo no fator de segurança, podendo provocar instabilização da encosta, deflagrando escorregamentos (IPT, 1988).

Para utilização do modelo SHALSTAB, considerando os valores de coesão do solo, a Equação 6 pode ser rearranjada de acordo com o disposto na Equação 7, orientando os cálculos para a coesão crítica dos solos como parâmetro de instabilidade.

Equação 7 - Combinação dos modelos hidrológico e de encosta em função da coesão crítica de instabilidade do solo.

$$C_{critico} = \rho_w g z \cos^2 \theta \tan \phi \left[\frac{aQ}{bT \sin \theta} - \frac{\rho_s}{\rho_w} \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \phi} \right) \right]$$

O módulo SHALSTAB obtém os níveis críticos de coesão a partir dos *grids* da média pluviométrica diária, área de contribuição e declividade, bem como, dos valores do ângulo de atrito e da densidade do solo introduzidos a partir de um campo específico. É importante ressaltar que os valores de coesão são proporcionais às taxas de susceptibilidade. Sendo assim, quanto menor a taxa de coesão crítica maior a probabilidade de ocorrência de um escorregamento raso acontecer. A relação de estabilidade na paisagem é mostrada a partir de valores de tolerância expressos em KPascal que variam de acordo com os graus de intensidade até as áreas incondicionalmente estáveis.

A adaptação do algoritmo para o cálculo da coesão crítica foi realizada a partir de um módulo desenvolvido em linguagem C e integrado ao software de geoprocessamento AbiliusGeo, desenvolvido junto ao Departamento de Geografia da Universidade de



Brasília no Laboratório de Sistemas de Informações Espaciais (LSIE/UnB) para apoio em diversas rotinas personalizadas de geoprocessamento em nível de pesquisa acadêmica. O software deu apoio ainda na etapa de validação já que o módulo permite o cálculo de vários modelos em série, considerando uma margem de variação mínima e máxima em intervalos pré-estabelecidos que possam ser preenchidos no momento da confecção do modelo, conforme a Figura 13.

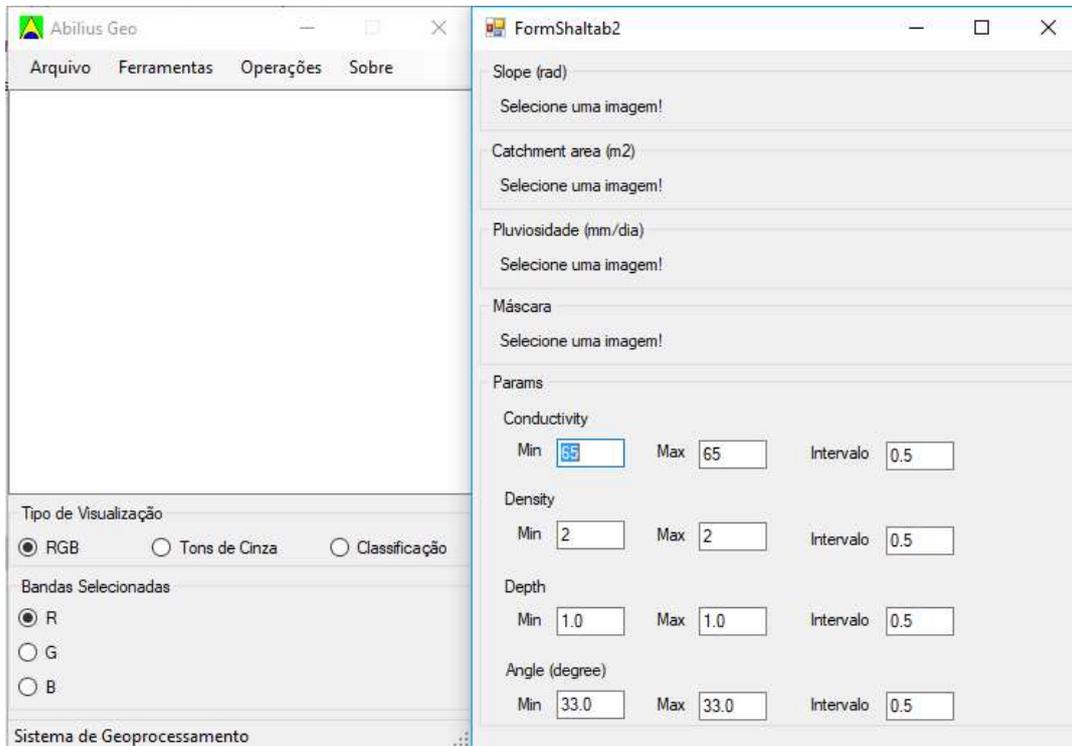


Figura 13 - Interface do software Abilius GEO utilizado para o cálculo do SHALSTAB orientado para coesão.

Para a segunda parte deste estudo (que considera somente a sub-bacia do Ribeirão Baú e o MDT de melhor resolução) a fonte de dados de solo utilizada foi o levantamento de parâmetros realizados por Sbroglia (2015) em parceria com o Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres (CEPED) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), onde foram coletadas amostras deformadas e indeformadas. Foram realizados ensaios e uma investigação de campo para verificação da espessura média de ruptura dos perfis de cisalhamento. Conforme a metodologia desenvolvida por Dias (1995), a partir da sobreposição do mapa pedológico, litológico e das curvas de nível a autora realizou estimativas de unidades geotécnicas para a sub-bacia do ribeirão Báu, individualizando as unidades de solo com as mesmas características geotécnicas a partir das quais os valores mensurados foram agrupados.

Considerando os dados de entrada requisitados e a média dos parâmetros para todos os solos ensaiados divididos nas classes geotécnicas propostas, os dados utilizados foram o ângulo de atrito igual a $25,7^\circ$ e densidade do solo igual a $1,7 \text{ g/cm}^3$. A profundidade considerada foi de 2 metros, pois conforme Sbroglia (2016), este foi o valor que alcançou resultados mais próximos numa análise mais detalhada da suscetibilidade a ocorrência de deslizamentos translacionais rasos com uma posterior



validação do modelo. A Tabela 6 apresenta os dados utilizados conforme as etapas do estudo.

Tabela 6 - Valor dos parâmetros utilizados como entrada no SHALSTAB.

Parâmetro	Etapas 1–Dados SRTM	Etapa 2–Dados MDT
Transmissividade (T)	2,7 m/h (65 mm/dia)	2,7 m/h (65 mm/dia)
Profundidade do Solo (z)	1 m	2 m
Densidade do Solo (ρ)	2	1,7
Ângulo de Atrito (φ)	33 °	25,7°
Comprimento de Contorno Unitário (b)	90 m	1 m
Área de Contribuição (a)	metros	metros
Declividade (θ)	radianos	radianos

Já os ensaios realizados para validação consideraram uma análise combinatória de parâmetros de solo, onde as classes foram estabelecidas para gerar intervalos variáveis de densidade do solo (1 g/cm³ a 2 g/cm³ variando em 0,5), profundidade do solo (1m a 5m variando em 2) e ângulo de atrito (25° a 45° variando em 10). A análise combinatória dos intervalos deu origem a 27 modelos SHALSTAB que foram somados ao resultado da modelagem derivada dos dados de entrada iniciais e estruturados em ensaios (E) servindo de subsídio para a etapa de validação no modelo de maior resolução elaborado para a Sub-Bacia do Ribeirão Baú.



Tabela 7 - Ensaio relativos aos parâmetros de solo para análise de acurácia do modelo SHALSTAB orientado para coesão crítica.

E1	T (65) ρ (1,7) z (2) Φ (25,7)	E15	T (65) ρ (1,5) z (3) Φ (35)
E2	T (65) ρ (1) z (1) Φ (25)	E16	T (65) ρ (1,5) z (3) Φ (45)
E3	T (65) ρ (1) z (1) Φ (35)	E17	T (65) ρ (1,5) z (5) Φ (25)
E4	T (65) ρ (1) z (1) Φ (45)	E18	T (65) ρ (1,5) z (5) Φ (35)
E5	T (65) ρ (1) z (3) Φ (25)	E19	T (65) ρ (1,5) z (5) Φ (45)
E6	T (65) ρ (1) z (3) Φ (35)	E20	T (65) ρ (2) z (1) Φ (25)
E7	T (65) ρ (1) z (5) Φ (45)	E21	T (65) ρ (2) z (1) Φ (35)
E8	T (65) ρ (1) z (5) Φ (45)	E22	T (65) ρ (2) z (1) Φ (45)
E9	T (65) ρ (1) z (5) Φ (45)	E23	T (65) ρ (2) z (3) Φ (25)
E10	T (65) ρ (1) z (5) Φ (45)	E24	T (65) ρ (2) z (3) Φ (35)
E11	T (65) ρ (1,5) z (1) Φ (25)	E25	T (65) ρ (2) z (3) Φ (45)
E12	T (65) ρ (1,5) z (1) Φ (35)	E26	T (65) ρ (2) z (5) Φ (25)
E13	T (65) ρ (1,5) z (1) Φ (45)	E27	T (65) ρ (2) z (5) Φ (35)
E14	T (65) ρ (1,5) z (3) Φ (25)	E28	T (65) ρ (2) z (5) Φ (45)

3.5 ANÁLISE DE DETALHE (SUB-BACIA DO RIBEIRÃO BAÚ)

Com base nos resultados da aplicação do SHALSTAB orientado para a coesão em toda a Bacia do Rio-Itajaí verificou-se que a maior taxa de eventos potencialmente ocorridos no intervalo estudo corresponderia à Sub-Bacia do Ribeirão Baú. Neste sentido, optou-se por fazer uma análise mais refinada nessa área, considerando um incremento na precisão das cicatrizes mapeadas e o uso de dados morfométricos mais precisos, visando, neste caso, uma análise relativa à acurácia do modelo. É importante salientar que uma análise da acurácia do modelo para toda a Bacia do Itajaí não faria sentido já que a maior parte das cicatrizes mapeadas não foi formada



necessariamente entre 15 e 25 de novembro de 2008. Já para área do Ribeirão Baú nota-se uma correspondência direta entre o que foi mapeado e o evento de chuva extrema, o que, neste caso, possibilita considerar uma relação direta entre a chuva e os movimentos deflagrados.

Em setembro de 2017 foi realizada uma visita na área da bacia do Itajaí, visando conhecer com maior grau de proximidade e realizar registros fotográficos das áreas mais afetadas pelos eventos de novembro de 2008, sendo que o roteiro contou com visitas aos municípios de Rio dos Cedros, Pomerode, Ilhota, Luiz Alves, Blumenau e Gaspar. Para os pontos visitados em campo houve o apoio e orientação de pesquisadores da Universidade Federal de Santa Catarina para chegar aos pontos mais relevantes, considerando que a universidade possui um programa de pesquisa bastante relevante na região estudada. Ressalta-se que devido ao tempo decorrido a verificação em campo das cicatrizes mapeadas foi bastante prejudicada, já que além da dificuldade de acesso aos locais afetados, houve o tempo para recuperação da vegetação. Neste sentido, o apoio com base no conhecimento prévio da região foi ainda mais relevante viabilizando a visita em pontos realmente significativos.

3.5.1 REALCE TOPOGRÁFICO PARA INTERPRETAÇÃO DAS CICATRIZES

Um grande desafio para o mapeamento de cicatrizes está na dificuldade de discernir onde se iniciam os depósitos e qual a área que de fato perdeu material em virtude do deslizamento. Buscou-se sanar esta questão com base na análise do MDT de 1 metro de resolução extraído das orthofotos, que em tese deveria dar a noção de profundidade necessária para o discernimento entre as áreas mais e menos profundas, considerando a topografia do local após o deslocamento do material.

Notou-se, porém, que a suavização, oriunda da desconsideração das árvores e demais elementos “alheios” a topografia local, dificulta a percepção das rupturas onde efetivamente se iniciam as cicatrizes e depósitos. Esse efeito é ainda mais relevante quando se considera a vegetação característica local, onde o porte da vegetação florestal é bastante elevado, conforme citado. No intuito de anular o efeito desta suavização, passou-se então a considerar o uso do Modelo Digital de Superfície, que permite apreender a rugosidade do terreno a partir dos elementos que não necessariamente compõem a morfometria do relevo, tais como edificações e vegetação.

Neste sentido, foi possível notar que há uma diferença na altura geral, que pode ser atribuída à vegetação, evidenciando uma ruptura na porção final do perfil. Considerando a exposição da área em virtude da movimentação de material deslizado, observa-se que, o que inicialmente poderia ser interpretado visualmente como depósito, na realidade também faz parte do “corte” característico da cicatriz que deverá ser mapeada.

É fato que, embora o MDS permita uma melhor distinção entre as áreas que efetivamente perderam solo para formar a cicatriz, um eventual cálculo de volume não



deve considerar a diferença de altimetria proveniente de elementos que não façam parte da topografia local. Visando solucionar este problema procedeu-se à extração da diferença entre o MDT e o MDS, obtendo um produto ainda mais claro em relação ao limite das cicatrizes. O resultado do cálculo configura-se como uma separação entre o que foi suavizado para extração do MDT e o que de fato compõe o terreno considerando o MDS, havendo assim uma clara distinção entre o início e o fim da área que perdeu a camada de solo em função da movimentação gravitacional de sua massa.

Ao ignorar elementos como sombra e textura inerentes à imagem de superfície, a visualização dos limites é favorecida, possibilitando um significativo ganho de precisão na delimitação das cicatrizes, o que, por sua vez, aumenta a credibilidade dos dados como fonte de validação de modelos que visam à predição, adicionando um parâmetro que vai além da simples interpretação do avaliador e aumentando sensivelmente a precisão.

3.5.2 CÁLCULO DO VOLUME

De posse de limites bem definidos para as cicatrizes, foi possível formular um método para o cálculo do volume aproximado de perda de solo. Considerando a diferença entre o MDT e o MDS, a área classificada como cicatriz foi extraída a partir de uma máscara, visando à configuração de zonas sem informação. Em seguida foi realizada uma interpolação no produto da subtração entre MDS e MDT, para simular o que seria a superfície anterior aos deslizamentos que deram origem as feições mapeadas.

Deste modo, a área detectada como cicatriz foi preenchida artificialmente, possibilitando assim calcular uma estimativa de “antes e depois” que se aproximaria do volume perdido pela movimentação do material deslizado. O volume passaria a ser então a zona negativa do perfil, ou seja, a área que sofre a perda de solo a partir da movimentação gravitacional, o que futuramente poderá ser usado como mais um indicador de credibilidade para o modelo de predição adotado, considerando que se espera uma perda maior de volume nas zonas classificadas como mais susceptíveis. O cálculo do volume foi realizado a partir da ferramenta *surface difference* do módulo *3D Analyst* do software ArcMap, seguindo o procedimento ilustrado na Figura 14.

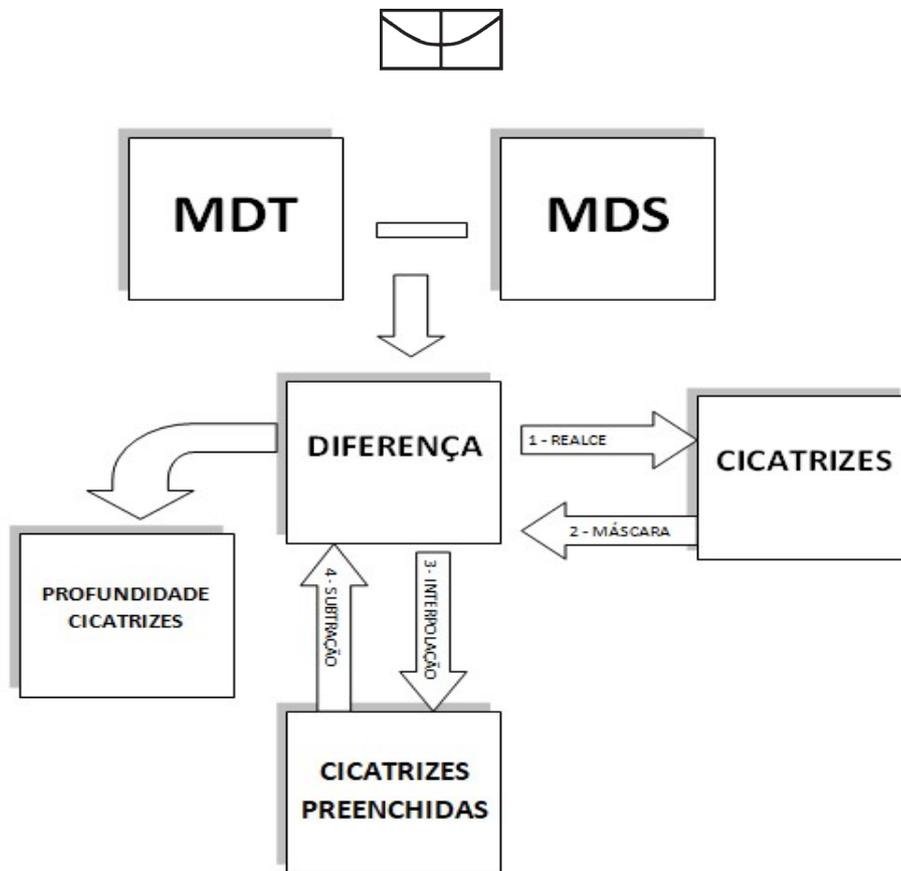


Figura 14 - Rotina para o cálculo do volume relativo com base na diferença entre MDT e MDS.

A relação quantitativa freqüência-volume para deslizamentos de terra induzidos pela chuva no período e a relação entre precipitação e magnitude dos deslizamentos de terra são questões importantes a serem consideradas na realização de estudos para avaliação do risco, em especial quando se pensa em prejuízos materiais e vidas humanas (Hungret *al.*, 1999). Conforme estudo realizado por Dai (2001) mesmos as menores baixas e prejuízos são geralmente associadas a deslizamentos de terra com volumes relativamente grandes. De acordo com o autor em levantamento realizado para Hong-Kong num monitoramento de 6 anos, a absoluta maioria dos deslizamentos registrados se situavam em volume numa faixa entre de 0,01 a 100,000 m³, sendo que 90% dos movimentos de massa movimentaram menos que 50 m³ de solo. No entanto, o volume deslizado teria uma correlação direta com o período anterior de precipitação sendo que os escorregamentos de maior volume corresponderiam às chuvas de maior duração e, por conseqüência, seriam mais previsíveis. Sendo assim, as cicatrizes foram divididas em grupos que consideraram cortes em relação ao volume para verificar o sucesso na taxa de detecção entre considerando as cicatrizes mapeadas pelo método proposto, conforme a estimativa de volume mobilizado, conforme a Tabela 8.



Tabela 8 - Hierarquização das cicatrizes de acordo com a estimativa de volume calculada.

Valor de Corte	Nº de Cicatrizes (em polígonos)
Todas as cicatrizes mapeadas	1344
Maiores que 1 m ³	925
Maiores que 10 m ³	757
Maiores que 50 m ³	654
Maiores que 100 m ³	600
Maiores que 500 m ³	434
Apenas as maiores que 1.000 m ³	347

Após o estabelecimento dos recortes volumétricos, os mesmos foram analisados em relação à pluviometria nas séries mensais de modo geral e nos valores diários em relação ao evento de novembro de 2008. As médias foram consideradas para as áreas de cicatrizes em relação à sub-bacia do Ribeirão Baú.

3.5.3 ANÁLISE DE PRECISÃO

A comparação geral para todos os produtos foi realizada com base em dados relativos ao percentual de área classes de susceptibilidade em relação às áreas mapeadas como cicatrizes. É comum que após a construção de um modelo que envolva risco, um limiar de corte seja definido para dividir a variável de resposta contínua, em duas ou mais classes de perigo, para que o modelo seja útil em um contexto de tomada de decisão.

Berguería (2006a) chama atenção para o fato de que embora isso não seja estritamente necessário (uma variável contínua é certamente mais informativa do que uma escala categorizada), a maioria dos usuários finais irá lidar melhor com um mapa com uma legenda com etiquetas como "seguro", "provavelmente seguro" e "inseguro" do que com um valor numérico crítico. O autor ressalta ainda que a seleção de um limiar e a categorização da variável resposta não devem ser uma característica do próprio modelo, mas um resultado do uso do modelo em um contexto específico.

De modo paradoxal, pensando em cobertura de área, neste tipo de abordagem o modelo mais eficiente seria prever todos os lugares como seguros, já que os verdadeiros positivos serão irrelevantes em relação aos verdadeiros negativos. Pensando em nível de acerto, bastaria prever todas as áreas como instáveis para uma precisão absoluta. Apesar disso, este tipo de medida de eficiência do modelo é a única estatística de precisão relatada em muitos estudos, o que constitui um importante



inconveniente para avaliar e comparar as diferentes abordagens (BERGUERÍA, 2006a).

A análise anterior permitiu a definição do melhor recorte para que fosse possível confeccionar um mapa final considerando dados morfométricos de alta qualidade e o evento pluviométrico mais significativo em relação ao evento de novembro de 2008. Deste modo, um produto final para a Sub-Bacia do Ribeirão Baú foi confeccionado a partir da aplicação do SHALSTAB para coesão, considerando os dados de estações para o dia mais chuvoso de Novembro de 2008, os dados médios para os parâmetros de solo de entrada do modelo e os dados morfométricos na resolução de 1m.

O cálculo da acurácia do modelo orientado para a coesão foi realizado a partir do uso do Coeficiente Kappa, que varia de 0 a 1, sendo crescente conforme o sucesso da taxa de acerto. O procedimento para o cálculo pode ser realizado tanto pela comparação de classificações, quanto a partir de análise pontual, considerando pontos de controle. Para esta pesquisa, o segundo método foi considerando mais apropriado levando em conta o caráter pontual da representação das cicatrizes, que embora possam ser interceptadas pelas classes do modelo, dificilmente tem seus limites definidos com precisão já que as classes de instabilidade em geral extrapolam as áreas que já foram mobilizadas uma vez que sua função é prever o risco de novas movimentações.

Sendo assim, as cicatrizes serviram como base para confecção de uma malha de randômica de 30 pontos (Figura 15) amostrada a partir da ferramenta *Create Random Points* em ambiente ArcGIS. Para considerar as taxas de acerto não só dentro da classe de cicatriz, mas também levar em conta a presença de falsas indicações (áreas estáveis mapeadas como instáveis e vice e versa), foi gerada uma segunda malha amostral para as áreas que não correspondiam a zonas mapeadas como cicatriz. Ambas as malhas foram exportadas para o *software* Envi e utilizadas como “verdade” para geração da matriz de confusão nas ferramentas de pós-classificação. Nessa análise, todas as classes de instabilidade do modelo foram consideradas. O módulo implementado pelo Envi para o cálculo da matriz de confusão gera ainda como saída a taxa de acerto global (*overall*) que também serve como um indicativo de efetividade do recorte analisado.

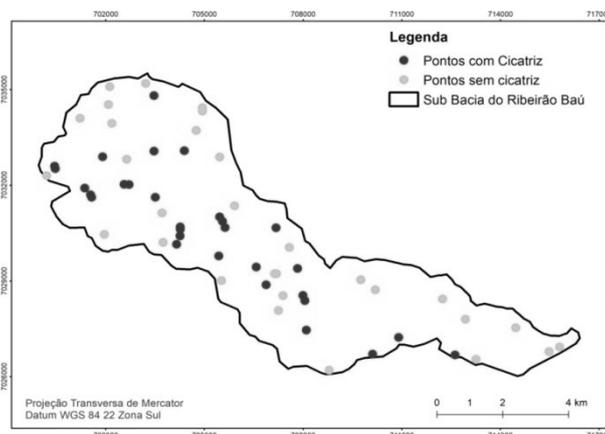


Figura 15 - Malha amostral de pontos utilizados para validação a partir do coeficiente Kappa.



4 RESULTADOS

4.1 DESLIZAMENTOS - ESTAÇÕES X TRMM

Na análise comparativa das séries históricas de 2004 a 2014, com base no produto 3B43, foi possível notar que a tendência relatada em estudos anteriores se repete na área de estudo, sendo que o satélite TRMM foi capaz de representar bastante bem a sazonalidade, embora o Sul do país, de clima temperado, não possua uma estação seca tão bem definida devido à atuação frequente de sistemas frontais. Entre os principais sistemas atmosféricos que ocorrem nessa região, podem-se citar as frentes frias e os sistemas convectivos de mesoescala (SCM) (SILVA DIAS, 1996).

Apesar das particularidades, a série promove uma distinção bem evidente nas médias diárias entre o período seco, de abril a agosto, e o período úmido, de setembro a março, obedecendo à tendência diária vista também nas estações. A abordagem considerou dados diários por ser este o formato adotado para a modelagem de estabilidade adotada, sendo portando, o recorte preferencial para análise. Isso já é um indício forte de que o dado de satélite é relativamente consistente, sendo possível inferir aspectos do regime hidrológico a partir do mesmo, corroborando com o relatado por Collischon (2006). A Figura 16 apresenta as médias diárias calculadas para as duas séries considerando o total do intervalo analisado.

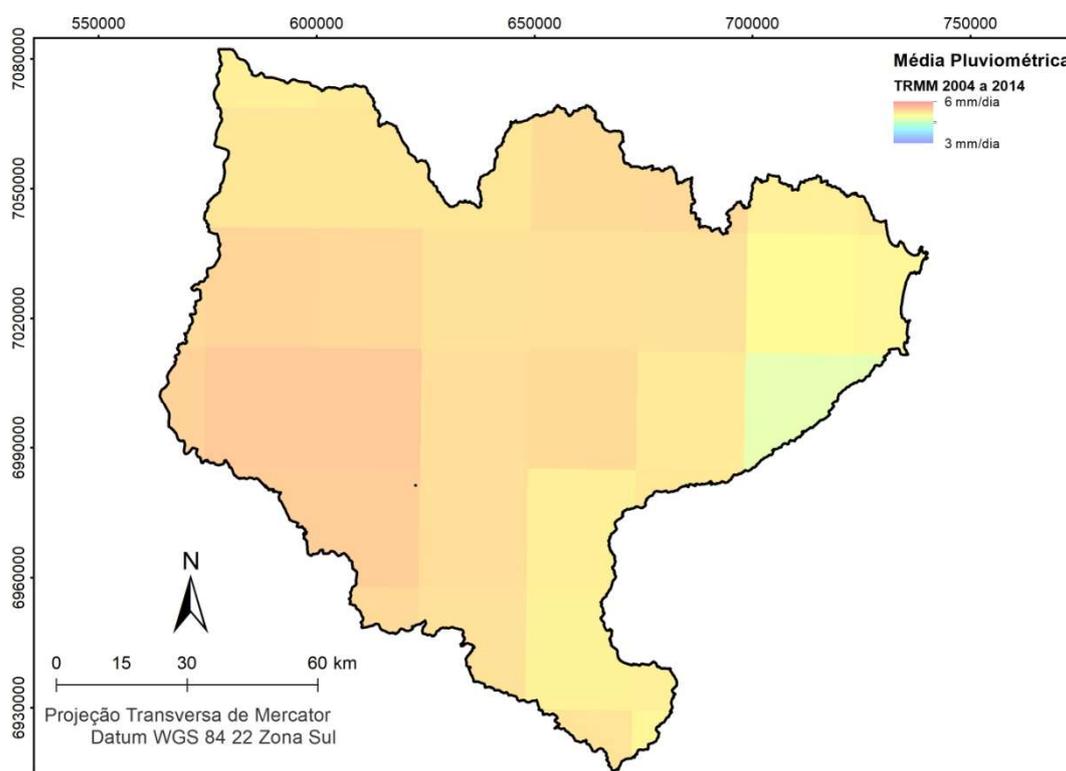
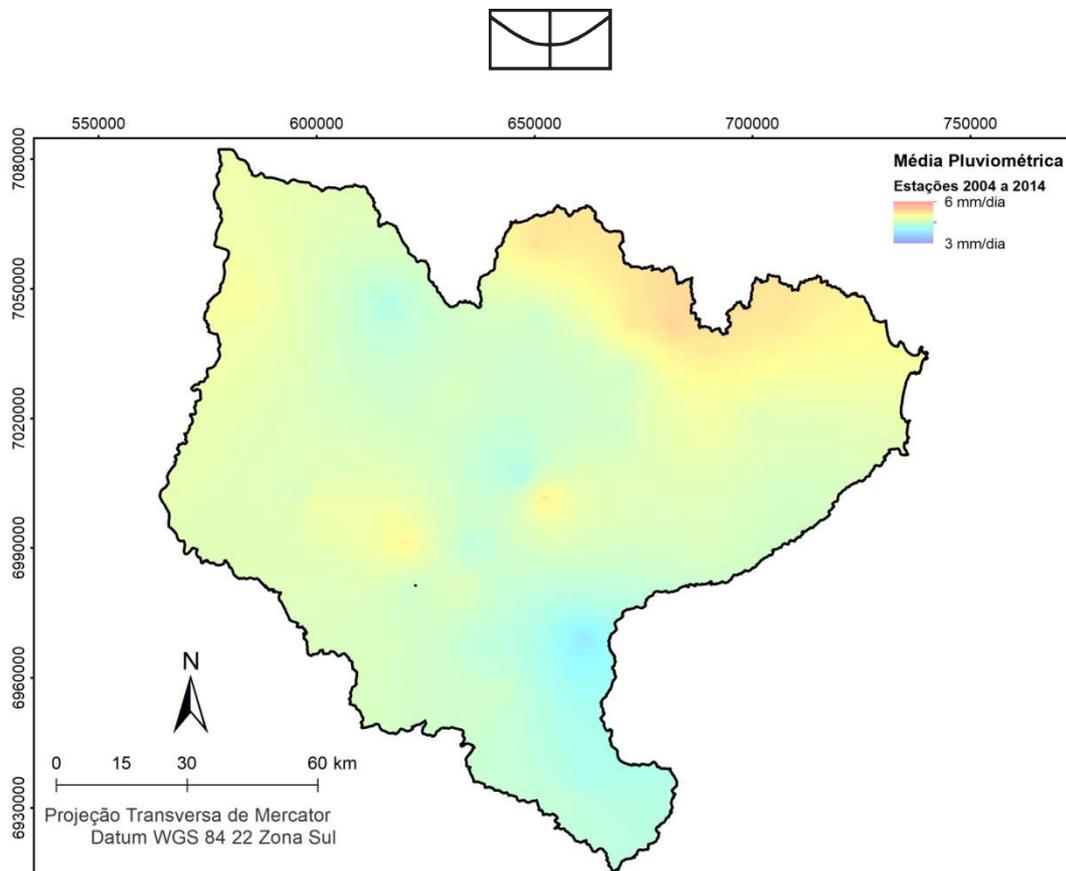


Figura 16 - Médias diárias interpoladas para as duas séries na Bacia do Itajaí considerando o total do intervalo analisado a partir das estações pluviométricas e do produto TRMM 3B43.



No geral o TRMM superestima levemente as precipitações nos meses mais secos, havendo, porém, uma diferença marcante nas médias diárias gerais dos meses de fevereiro para mais e novembro para menos, notadamente marcados pela presença de precipitações de volume mais acentuado, conforme a dinâmica climática da zona em estudo. Esse padrão concorda com os trabalhos de Franchito *et al.* (2009) e de Oliveira *et al.* (2014), segundo os quais existe a tendência dos dados do TRMM subestimarem as maiores precipitações e de superestimarem as menores precipitações. Entretanto, esses autores consideram as médias mensais e em relação aos valores diários podem trazer distorções já que quanto menor o período de tempo de acumulação, a estimativa de chuva está mais sujeita à grande variabilidade temporal desse fenômeno. Um maior período de tempo permitiria que erros temporais nas estimativas de chuva ao longo desse período de tempo se compensem de forma que o total acumulado no período seja mais próximo do observado.

Dando prosseguimento ao proposto na metodologia foram mapeadas as cicatrizes de possíveis áreas de deslizamentos conforme o método de interpretação visual das orthofotos obtidas a partir do aerolevanteamento. No total 0,58% do total da área de estudo foi identificada como zona instável (Figura 17) e as áreas se concentram de modo geral nas regiões oeste e leste da bacia, que correspondem às áreas mais escarpadas, sendo que na última se concentraram as maiores movimentações ocorridas no evento de novembro de 2008.

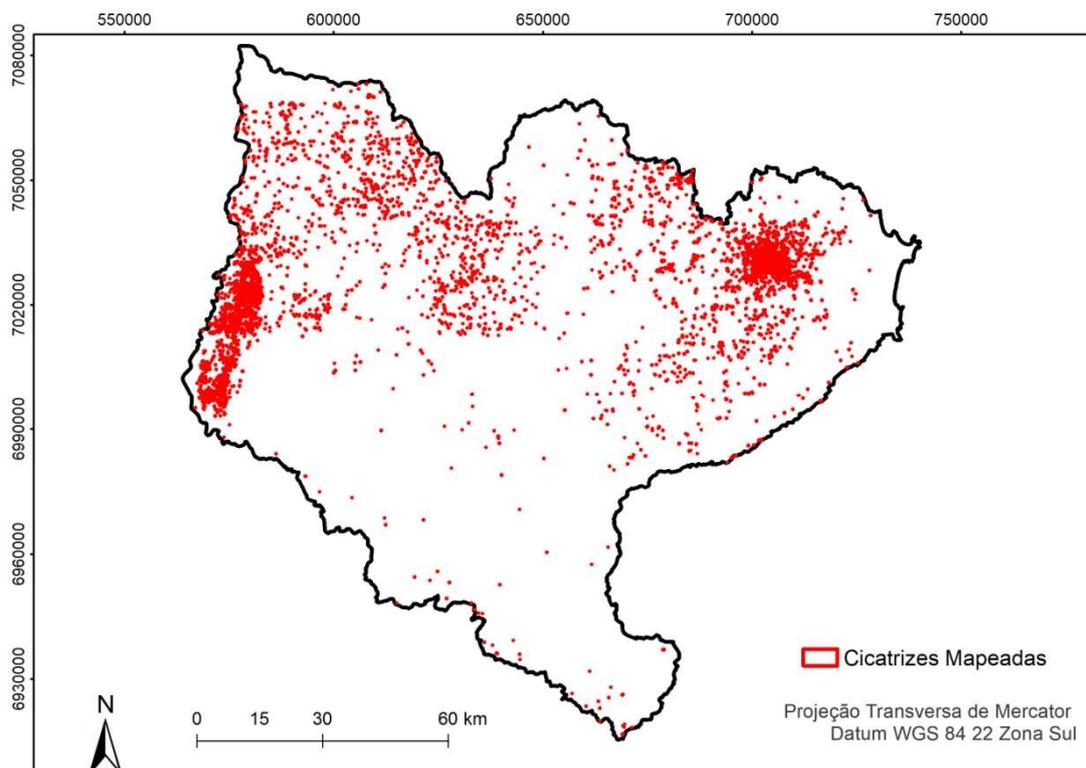


Figura 17 – Representação pontual das cicatrizes vetorizadas para a Bacia do Rio Itajaí com base nas imagens de aerolevanteamento do ano de 2010.



Conforme o esperado, de acordo com as características descritas nos Tópicos 3.1.2 e 3.1.3, a maioria das cicatrizes foi detectada nas zonas correspondentes às classes de relevo montanhosas e forte onduladas. Quanto à geologia a presença mais marcante esteve no Complexo Luiz Alves e Conglomerado Baú, além da Formação Gaspar e das Unidades Serra Alta, Serra Geral e Rio Bonito.

Considerando a dinâmica em relação à pluviometria e as áreas de instabilidade, foi realizada uma comparação com as médias em milímetros, mês a mês, a partir das áreas mapeadas como cicatrizes (que tem grande probabilidade de representar zonas de instabilidade) e com toda a área da Bacia do Rio Itajaí, conforme a Figura 18 e as demais figuras subsequentes.

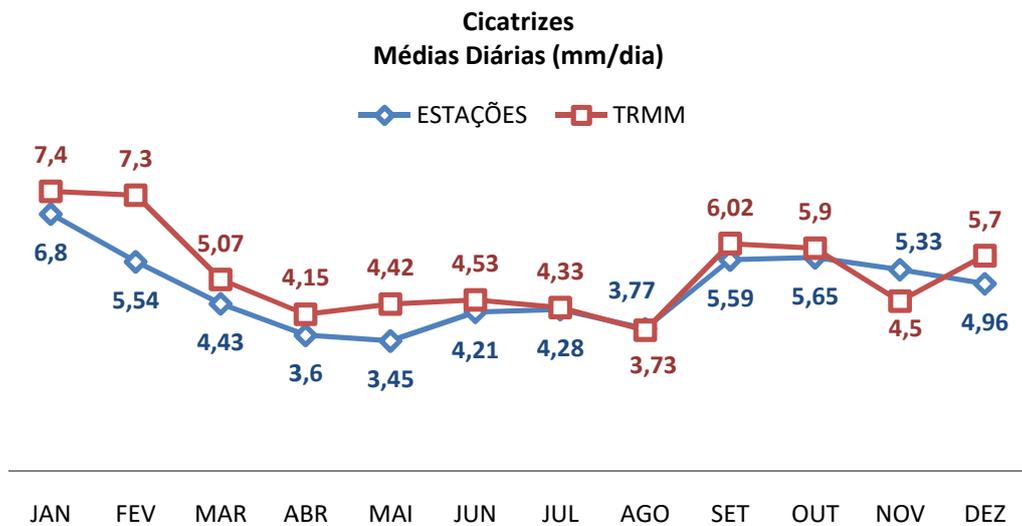


Figura 18 - Média histórica de 2004 a 2014 considerando a comparação dos produtos mensais 3B43 em relação ao total mensal ds estações pluviométricas (calculadas no interior das áreas mapeadas como cicatrizes em toda a Bacia do Rio Itajaí), ambas convertidas para valores diários

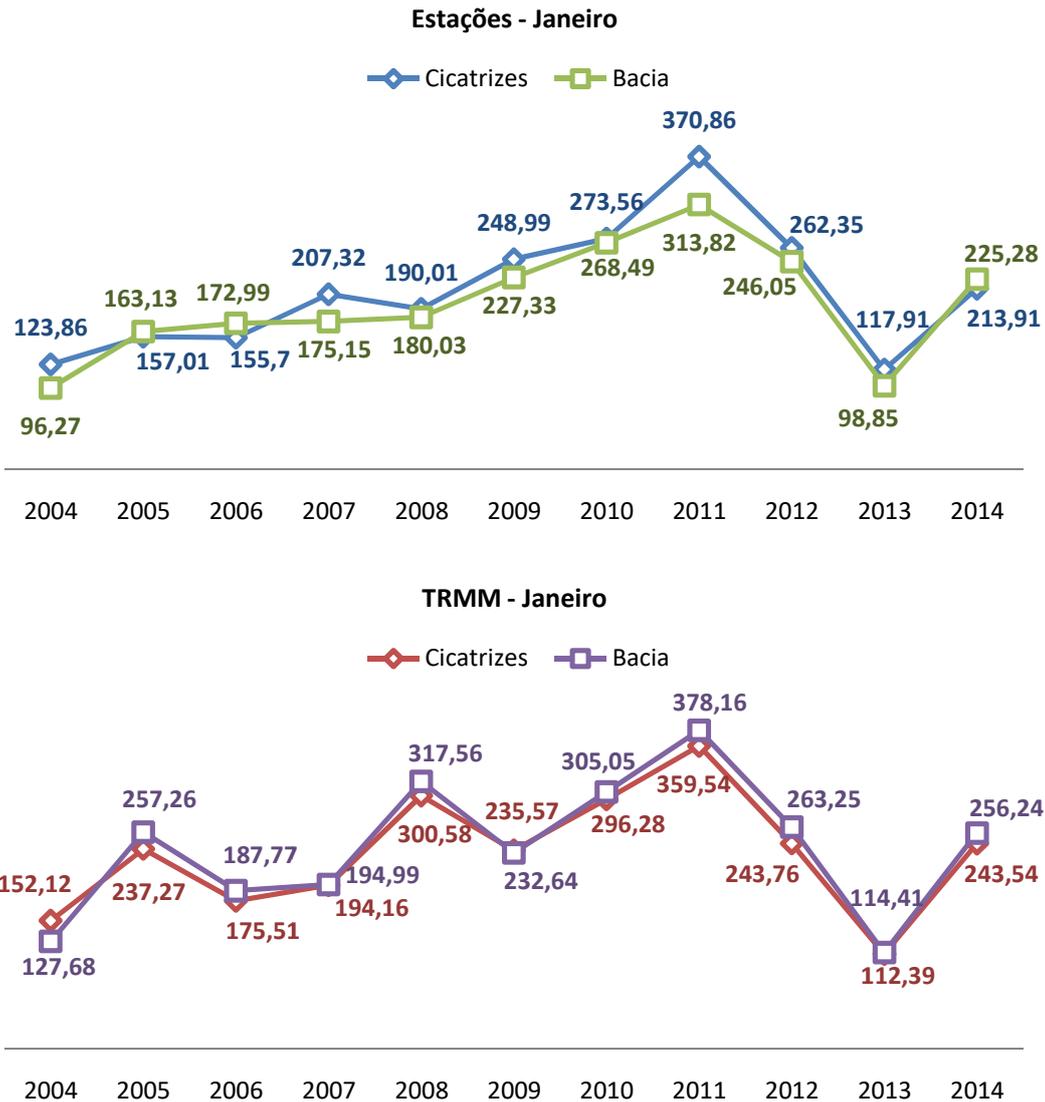


Figura 19 - Série mensal de 2004 a 2014 considerando as médias das estações e do produto TRMM 3b43 no mês de Janeiro (mm/mês).

Para o mês de Janeiro (Figura 19) a série apresentou um comportamento que vai de encontro ao resultado esperado nas estações, onde as áreas mapeadas como cicatrizes apresentam médias pluviométricas superiores à bacia de modo geral. Já no TRMM, os valores para a bacia no geral foram mais altos. Entretanto, nos picos pluviométricos o comportamento obedeceu o esperado, com os valores para as áreas instáveis superando a média geral. Numa comparação entre os dois produtos, nota-se que a metade inicial da série no TRMM apresenta valores médios superestimados, em especial para o ano de 2008. Já a partir do ano de 2009 os valores seguem uma tendência semelhante a das estações.

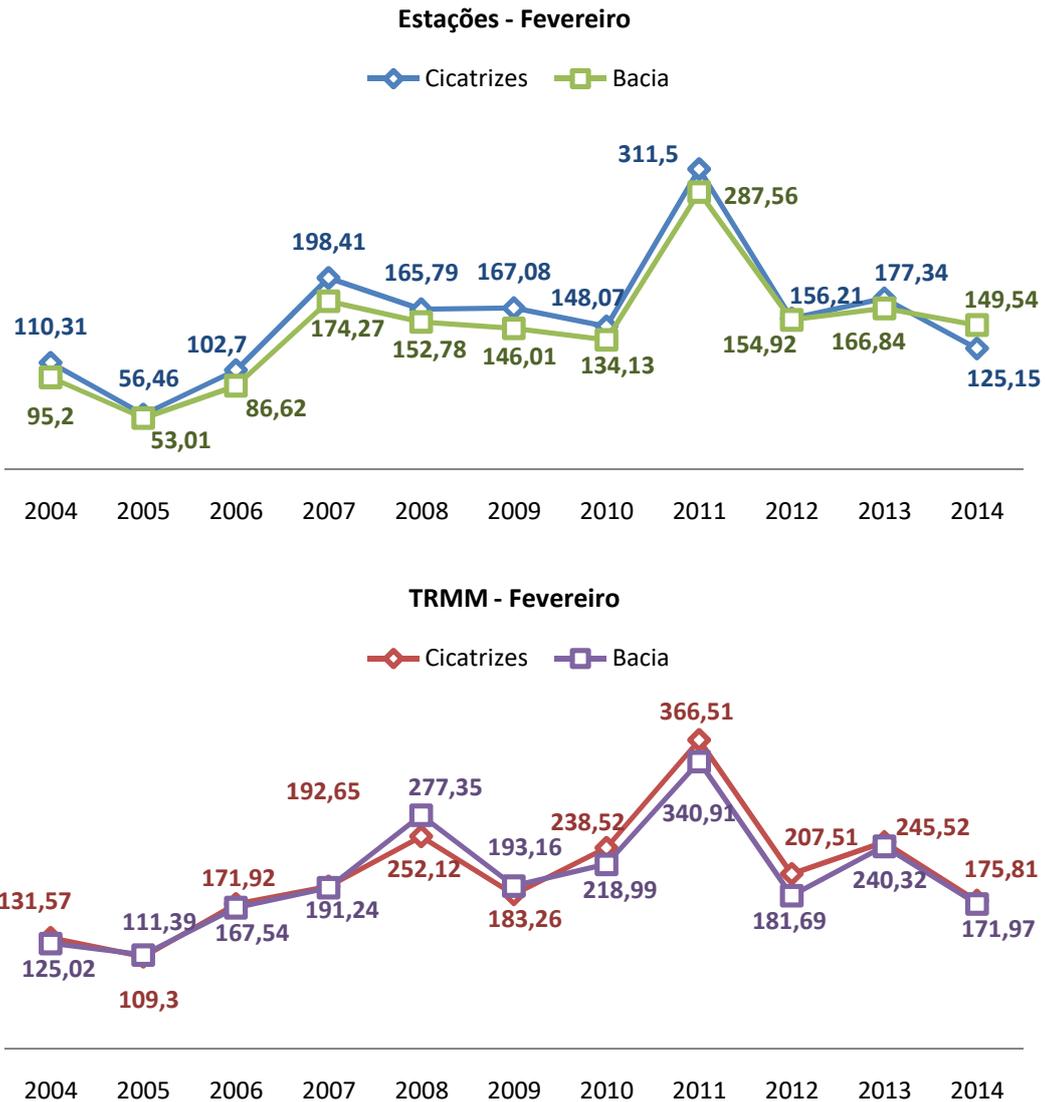


Figura 20 - Série mensal de 2004 a 2014 considerando as médias das estações e do produto TRMM 3b43 no mês de Fevereiro (mm/mês).

No mês de Fevereiro, conforme a Figura 20, a pluviosidade nas áreas mapeadas como cicatrizes foi mais marcante tanto para as estações quanto para o TRMM, sendo que, embora superestimados no dado satelitário, os valores mantiveram a mesma tendência. É notável que nas médias mensais, o ano de 2011 também é marcante no pico das médias mensais guardando relação com o descrito no Tópico 2.2.3, em especial na Figura 1, que traz os decretos de calamidade pública, em geral associados a eventos extremos de chuva na região.

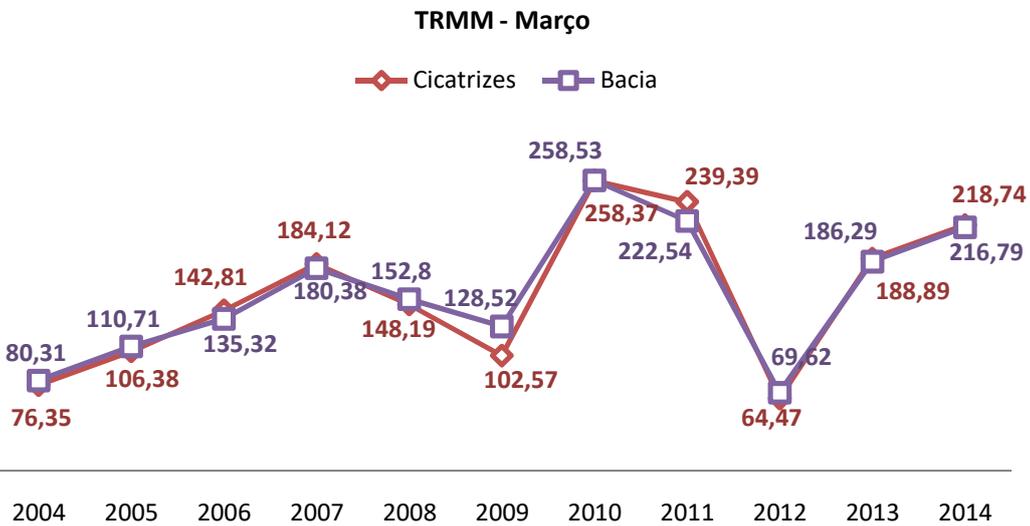
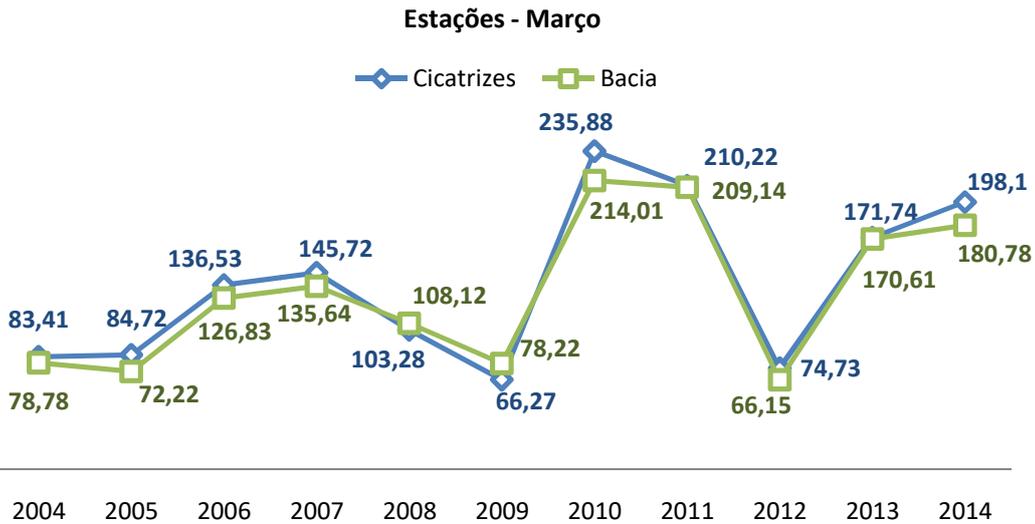


Figura 21 - Série mensal de 2004 a 2014 considerando as médias das estações e do produto TRMM 3b43 no mês de Março (mm/mês).

Em Março (Figura 21) a tendência de pluviosidade mais elevada nas áreas mapeadas como cicatriz se mantém para a maioria da série oriunda dos dados de estações e em pouco mais da metade dos dados TRMM. Nota-se que, obedecendo a sazonalidade, as médias alcançam valores menos elevados e os picos, situados no ano de 2010, alcançam taxas com aproximadamente 100 mm a menos que no mês anterior para ambas as séries.

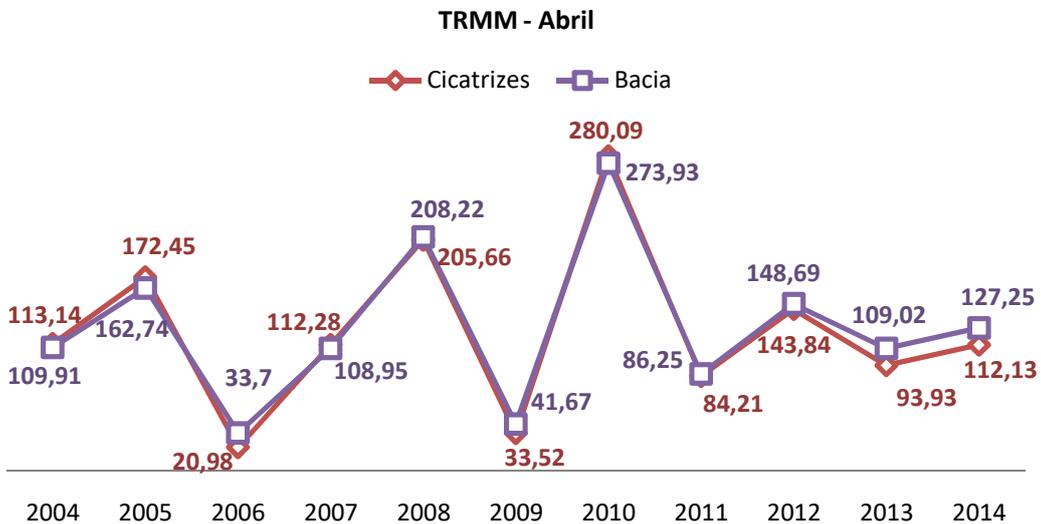
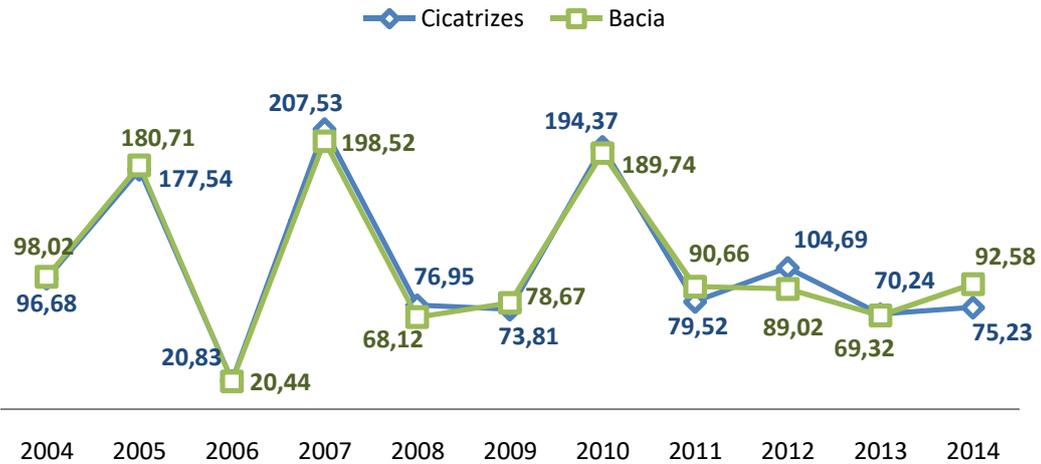


Figura 22 - Série mensal de 2004 a 2014 considerando as médias das estações e do produto TRMM 3b43 no mês de Abril (mm/mês).

Para o mês de Abril (Figura 22) a totalidade das estações mantem médias superiores para as cicatrizes em relação à média geral da bacia, não havendo qualquer grande discrepância. Para os dados satelitários a diferença é quase imperceptível o que revela uma possível generalização dos dados devido ao tamanho do pixel TRMM em relação à área mapeada como cicatriz, considerando que em eventos localizados próximos a um ponto de medição o valor pode ser ignorado se contido num pixel de área homogênea. No geral as tendências se mantiveram próximas, sendo que a curva para as cicatrizes manteve um desenho semelhante considerando a totalidade da série.



Estações - Maio



TRMM - Maio

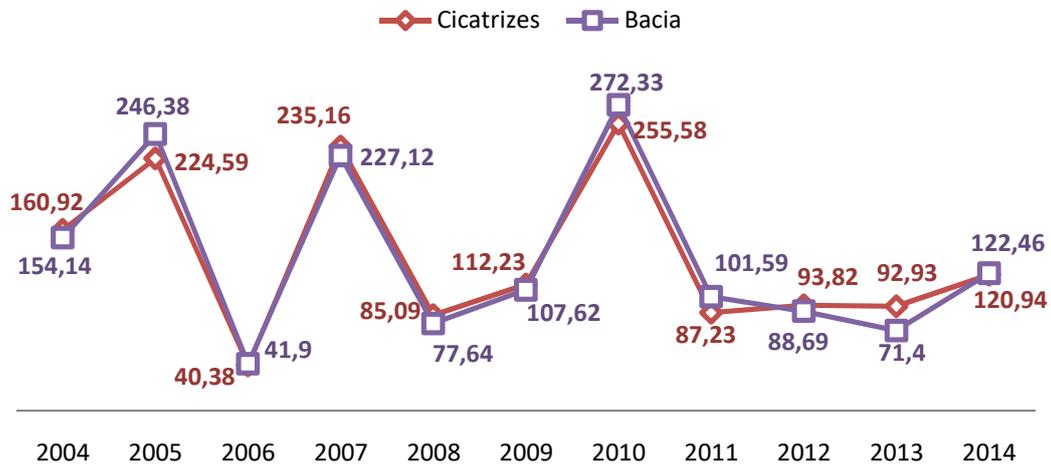
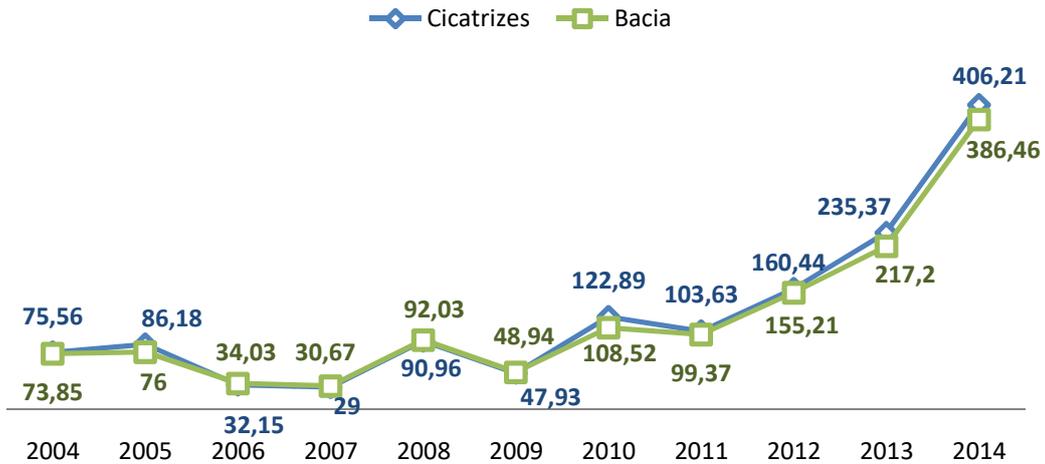


Figura 23 - Série mensal de 2004 a 2014 considerando as médias das estações e do produto TRMM 3b43 no mês de Maio (mm/mês).

No mês de Maio (Figura 23), os valores do TRMM mantêm a tendência de superestimativa relatada na literatura para os meses mais secos, considerando que embora mantenha valores mais elevados que as estações para a maioria das séries anteriores, no mês de maio, a diferença é mais marcante. Nota-se ainda que a tendência de valores mais elevados para as cicatrizes em relação às médias para toda a bacia é menos marcante tanto para as estações quanto para os dados satelitários.



Estações - Junho



TRMM - Junho

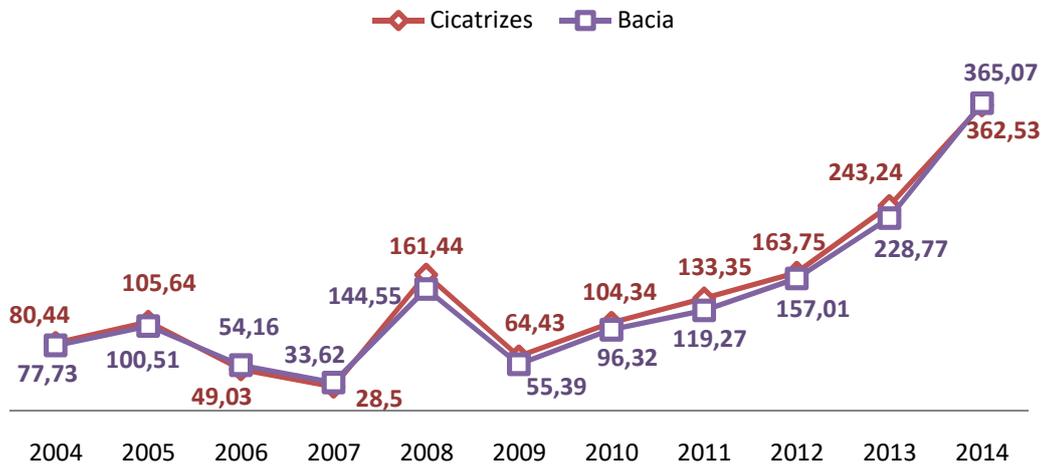


Figura 24 - Série mensal de 2004 a 2014 considerando as médias das estações e do produto TRMM 3b43 no mês de Junho (mm/mês).

Junho (Figura 24) apresenta uma marcante anomalia pluviométrica detectada tanto pelas estações quanto pelos dados satelitários. Neste período, conforme dados da defesa civil, alguns municípios da bacia informaram ao órgão estadual terem expedido o decreto de emergência, com destaque para Timbó e Rio dos Cedros. Nota-se que, embora o TRMM continue superestimando os dados em toda a série, no mês de ocorrência do evento extremo o valor de pluviometria é estimado num patamar significativamente mais baixo em relação às estações. Este comportamento vai de encontro às conclusões dos estudos anteriores citados no Tópico 2.4. Para as estações, os valores médios para as cicatrizes retomam discretamente a tendência de registro dos valores mais elevados o que não se reflete nos dados satelitários.

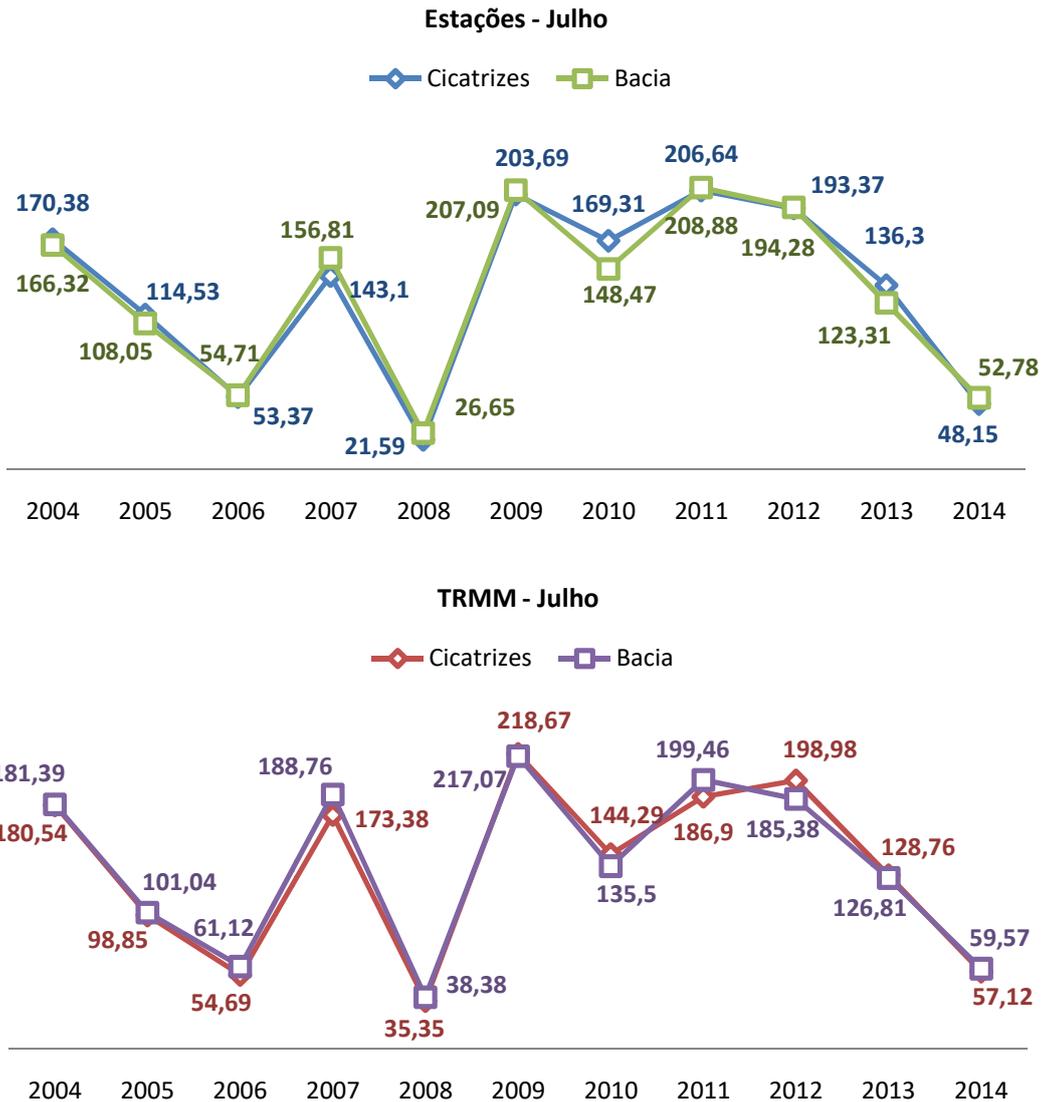


Figura 25 - Série mensal de 2004 a 2014 considerando as médias das estações e do produto TRMM 3b43 no mês de Julho (mm/mês).

Para o mês de Julho (Figura 25) os registros possuem picos e vales de registro praticamente idênticos, havendo um valor discretamente mais elevado para as cicatrizes no ano de 2010 para as estações e uma inversão entre cicatrizes e bacia no TRMM para o ano de 2012. Nota-se nestas séries a presença de um maior número de médias (2005, 2010, 2011 e 2013) onde os valores das estações ultrapassam os satelitários, não necessariamente nas maiores precipitações.

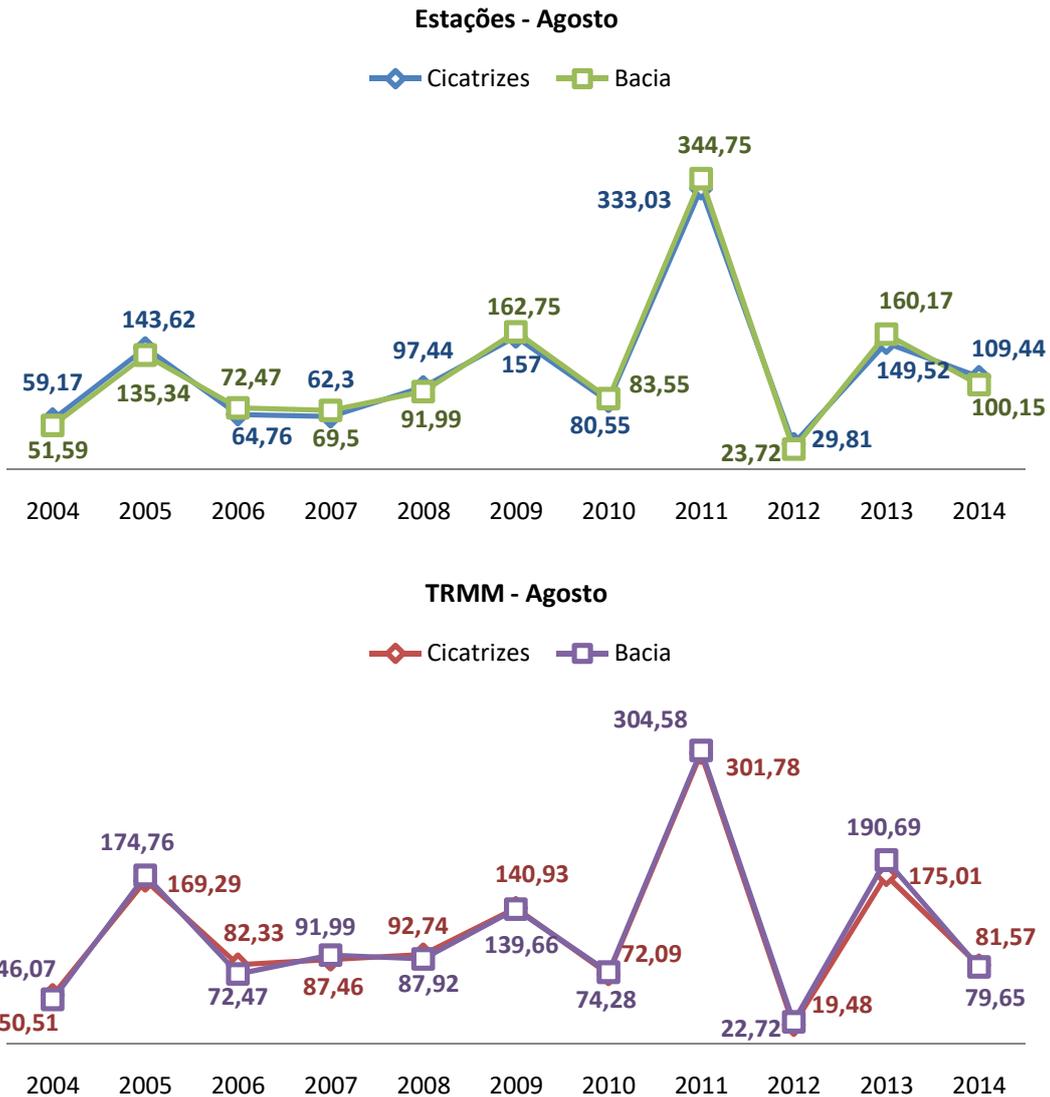


Figura 26 - Série mensal de 2004 a 2014 considerando as médias das estações e do produto TRMM 3b43 no mês de Agosto (mm/mês).

Conforme a Figura 26, nota-se em Agosto de 2011 a presença de mais um evento pluviométrico que destoa da tendência dos valores para ambas as séries, estando associado ao evento climático que se estendeu até o início do mês de setembro. As chuvas deste período resultaram em uma cheia no Rio Itajaí-Açu que assolou o vale, causando grandes danos e foi responsável pela maioria dos decretos de calamidade expressos para este ano na Figura 1. Verifica-se novamente que o valor anômalo é registrado com médias superiores nas estações o que pode revelar uma tendência, considerando que, nos meses onde é esperada uma pluviosidade mais elevada o TRMM mantém os valores superestimados mesmo nos picos, o que não ocorre nos meses que em tese seriam menos chuvosos, configurando padrões fora do comum.

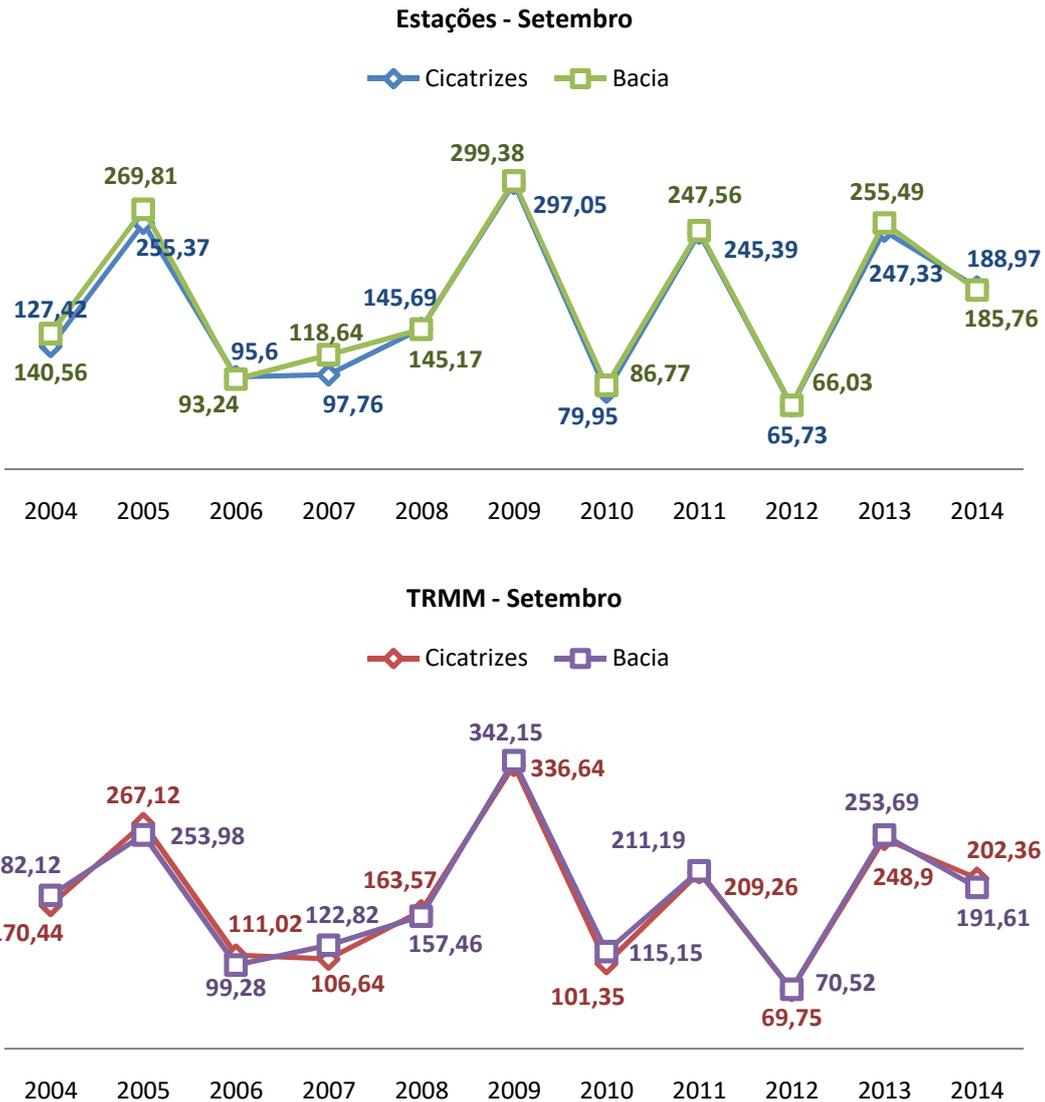


Figura 27 - Série mensal de 2004 a 2014 considerando as médias das estações e do produto TRMM 3b43 no mês de Setembro (mm/mês).

Observa-se no mês de Setembro (Figura 27) uma retomada geral dos índices pluviométricos mais elevados nas duas séries, obedecendo ao comportamento esperado de acordo com a sazonalidade, embora isso não implique numa retomada de padrões mais elevados para as áreas instáveis mapeadas. A tendência de superestimativa presente nos dados TRMM não é tão marcante de modo geral, embora no ano de 2009 a série satelitária tenha detectado um evento extremo com um acréscimo significativo em relação às estações, rompendo com o padrão que subestimava os picos nos meses anteriores.

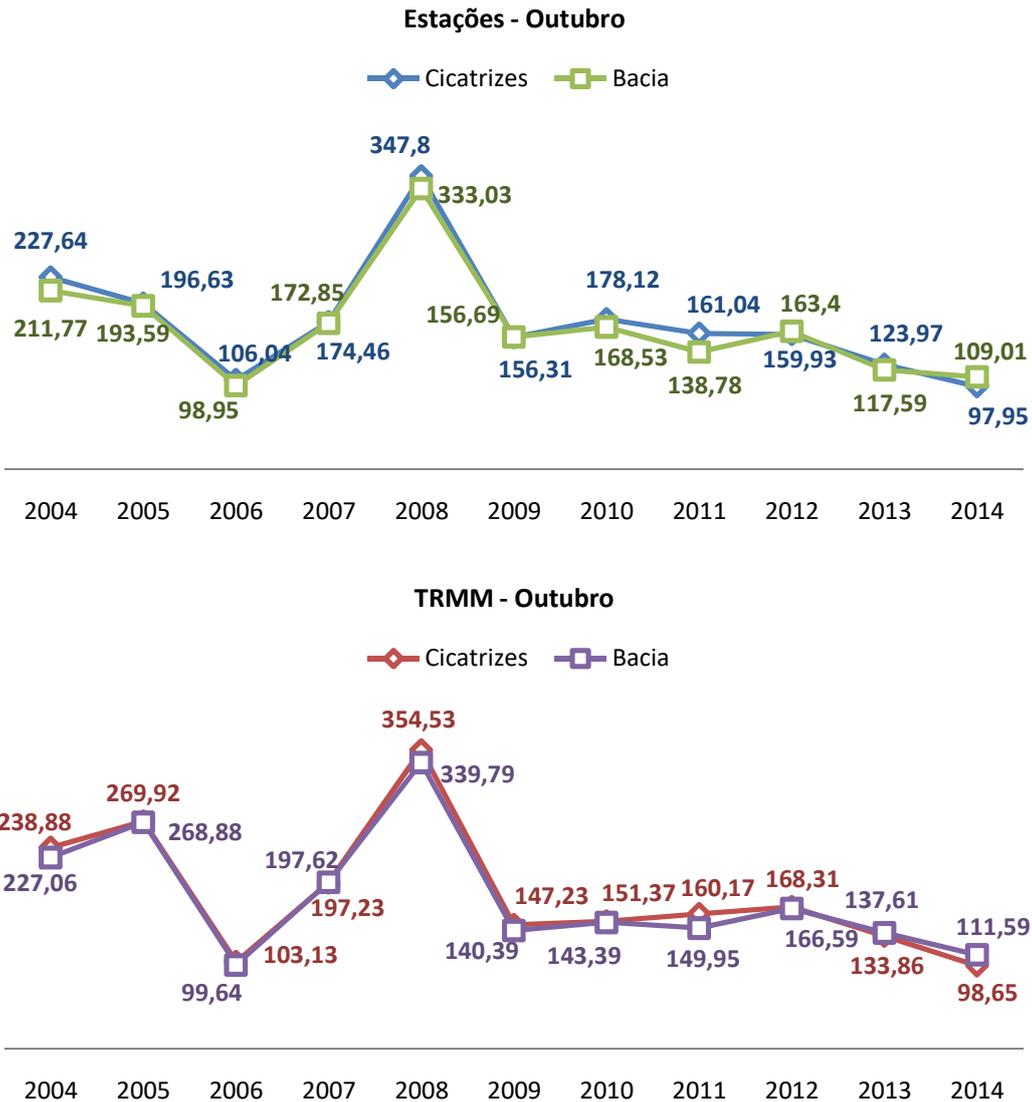


Figura 28 - Série mensal de 2004 a 2014 considerando as médias das estações e do produto TRMM 3b43 no mês de Outubro (mm/mês).

Em Outubro (Figura 28) a tendência de valores mais elevados para as áreas mapeadas como cicatrizes é marcante para a maioria dos anos nas duas séries, havendo um comportamento bastante semelhante nos picos e vales registrados a partir do ano de 2006. Os valores mais elevados registrados no ano de 2008 já guardam relação com o evento ocorrido em Novembro, considerando que conforme a literatura as chuvas pretéritas também tem uma participação relevante na deflagração dos movimentos de massa. O ano de 2005 na série TRMM apresenta um valor significamente mais relevante em relação às estações e o pico da série é ligeiramente mais elevado.

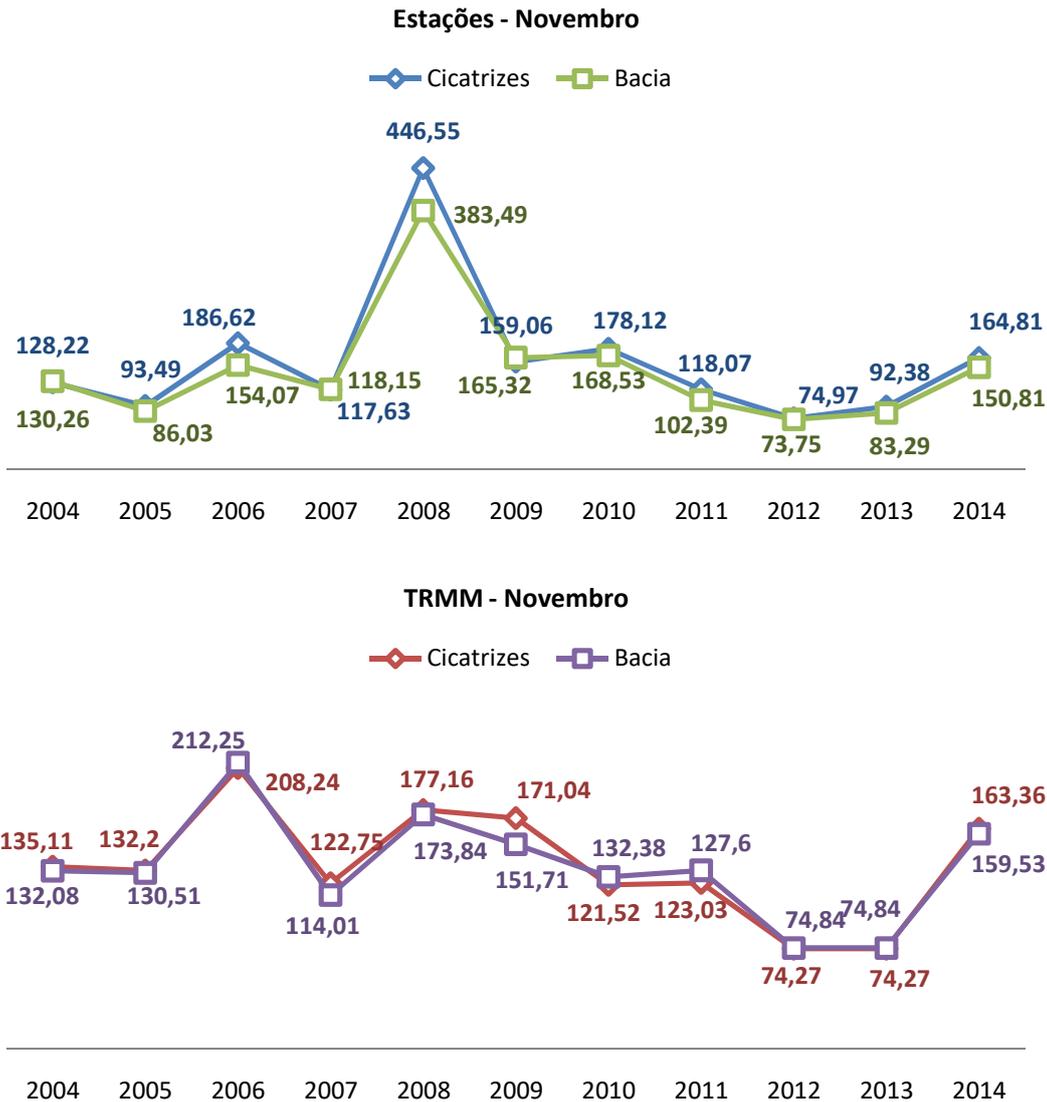


Figura 29 -Série mensal de 2004 a 2014 considerando as médias das estações e do produto TRMM 3b43 no mês de Novembro (mm/mês).

O mês de Novembro (Figura 29) é que possibilita verificar a maior discrepância nas duas séries, justamente no ano de 2008, onde se verifica a maior das anomalias pluviométricas do período analisado. Considerando as estações, o comportamento corresponde ao que se espera uma vez que a maior média pluviométrica dentre todas as séries é registrada no ano de 2008, correspondendo ao evento extremo que serviu de gatilho para o maior desastre registrado na história do Vale do Itajaí. As cicatrizes para o mês de Novembro nesta série se mantêm acima da média geral da bacia, com uma diferença superior a 60 mm/mês para o ano de 2008 o que corrobora com a tendência de que a média da chuva seria mais marcante para as áreas instáveis.

Já a série TRMM mais uma vez apresenta uma falha crítica justamente na detecção do evento mais extremo da série. Tal fato acaba indo de encontro ao citado na literatura que reforça o lado ruim dos dados usados para calibração dos dados TRMM, em especial no produto 3B43, que por utilizar dados globais pode ignorar eventos que fujam de modo muito marcante do padrão esperado. Isto não significa que os valores



de detecção sejam inadequados, apenas reforça o discurso de que o uso destes dados deve considerar também a calibração por dados locais que podem de fato diminuir a distância em relação a processos localizados em alguns casos específicos, em especial quando se consideram pontos que estariam fora do comportamento esperado.

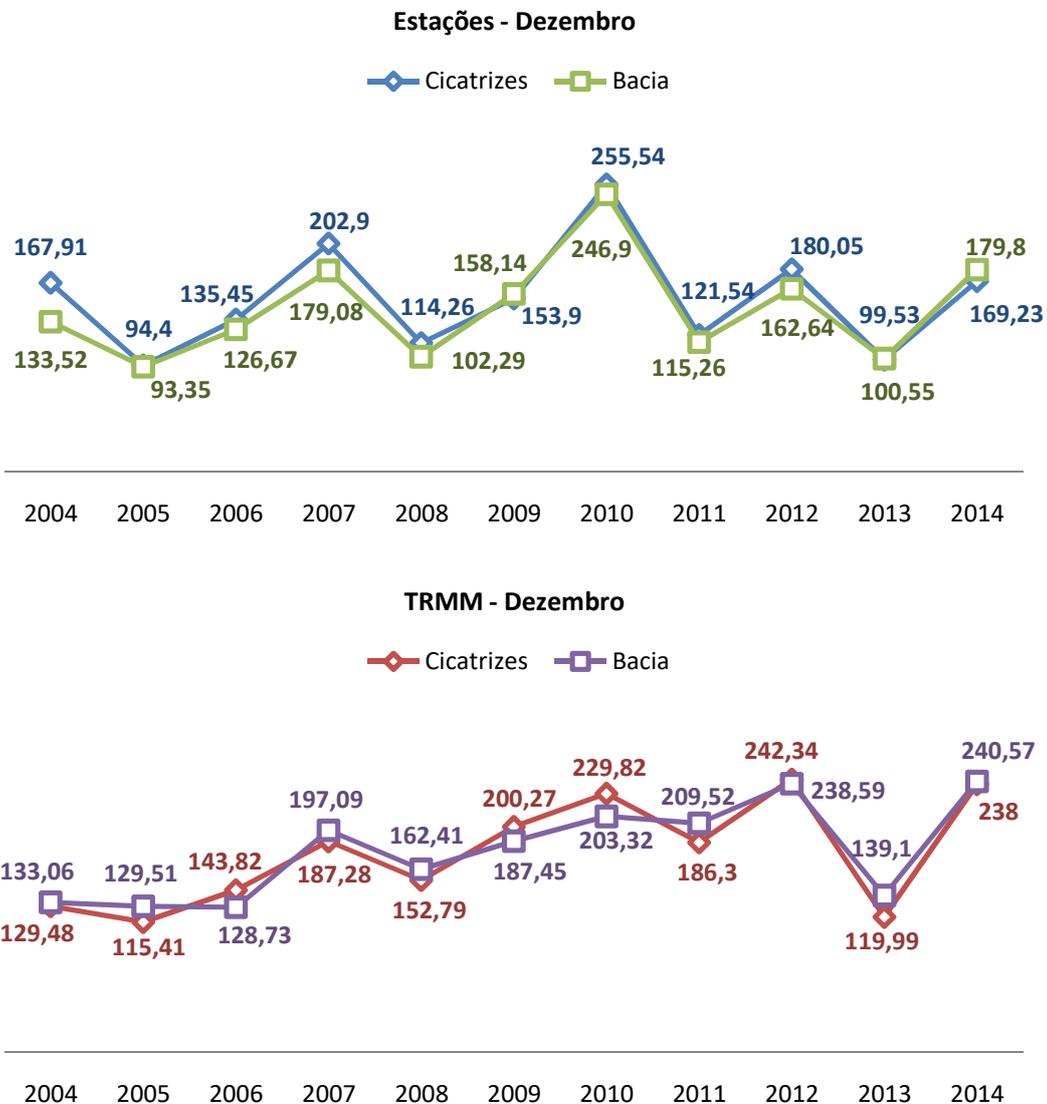


Figura 30 - Série mensal de 2004 a 2014 considerando as médias das estações e do produto TRMM 3b43 no mês de Novembro (mm/mês).

Para o mês de Dezembro (Figura 30), notadamente os valores de precipitação na série TRMM não seguem um padrão coerente na bacia, sendo que o pico registrado em 2010 também não está presente, embora conte com um valor aproximado levando em conta o comportamento de modo geral. Para a série satelitária o pico estaria no ano de 2012, este sim bastante discrepante em relação às estações o que reforça a demanda de calibração dos dados, mesmo no contexto mensal que em tese já passa por tratamento, em especial nos meses mais chuvosos que respondem pelas maiores divergências na série analisada. Ainda assim é importante ressaltar que se tratam de



médias em valores mensais que apresentam apenas tendências, mas não implicam na invalidação do uso destes dados para o fim proposto nesta pesquisa.

4.2 DOWNSCALING SSC

Considerando os resultados obtidos na comparação entre os dados satelitários e os dados de solo realizado no Tópico 4.1, foi realizada uma etapa de correção baseada na metodologia descrita no Tópico 3.3. Esta foi desenvolvida justamente com base no padrão de erros detectado a fim de aproximar os dados TRMM aos valores medidos localmente nas estações pluviométricas. Ressalta-se que, a nível nacional, esta é a modalidade de monitoramento pluviométrico que ainda conta com a rede de informações melhor sistematizada. O resultado do procedimento para os 12 meses na série de 2004 a 2014 pode ser visualizado na Figura 31, onde é possível notar que os meses com maior polarização na série correspondem aos meses da estação chuvosa, onde a presença de eventos extremos acaba sendo mais elevada e tendo maior peso no âmbito geral.

A maior amplitude de polarização do SSC se deu no mês de Fevereiro que, conforme a Figura 20, apresenta variações numa média geral de 50 mm/mês no TRMM em relação às estações. Os meses de Janeiro, Março, Abril, Maio, Dezembro e Outubro também apresentam polarizações relevantes. Entretanto, o mês de Novembro, que apresenta pontualmente a maior discrepância na série analisada, não possui um índice de polarização dos mais acentuados. Isso reforça a tese de que a simulação satelitária possui um relativo sucesso para detecção dos valores de pluviosidade que sigam um padrão esperado, porém, perde em precisão ao tratar de anomalias ou eventos que fujam de maneira muito expressiva dos valores regulares na série histórica.

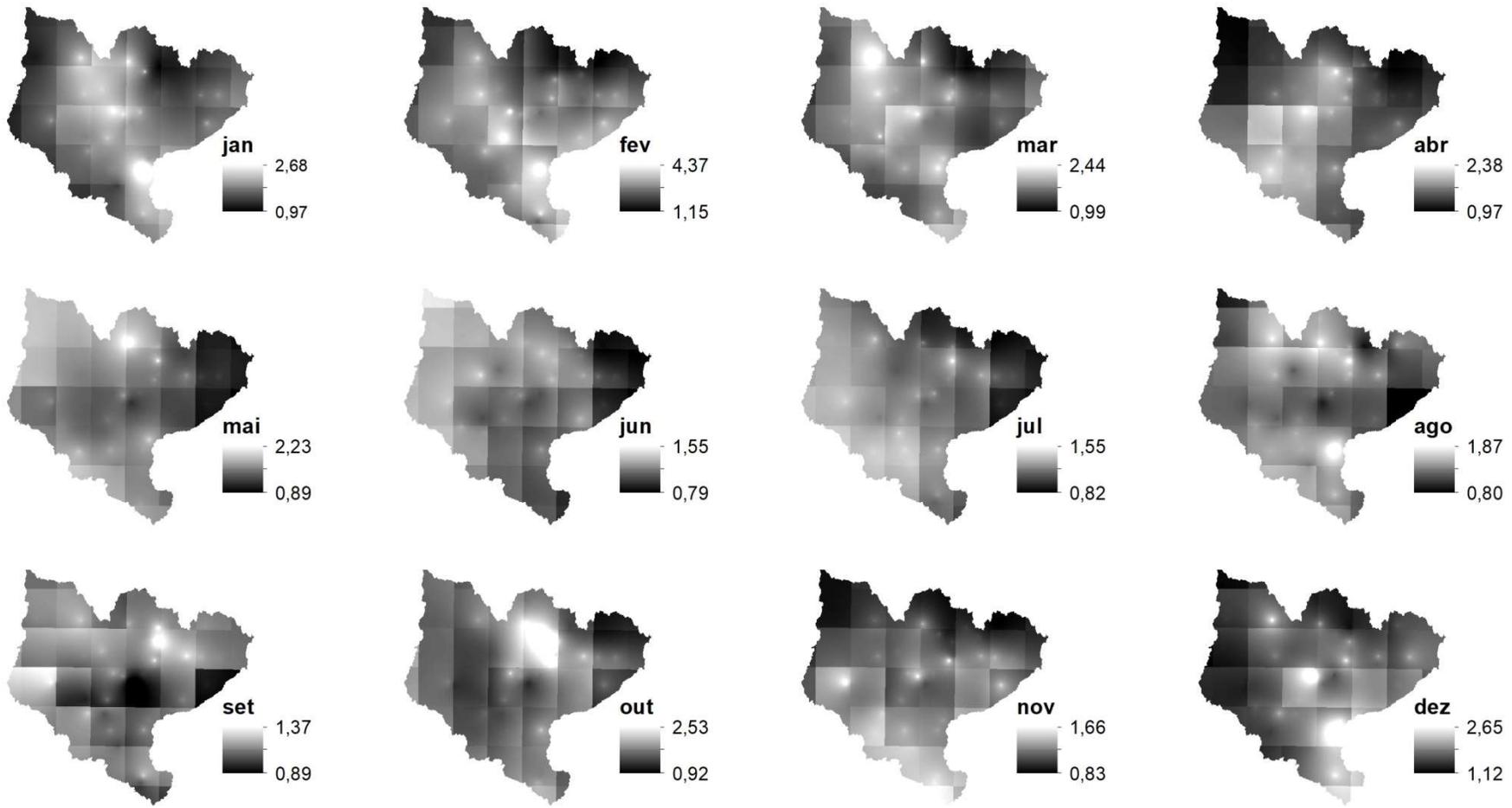


Figura 31 - Índice SSC a partir do quociente da série TRMM 3B43 em relação aos dados médios mensais oriundos das estações pluviométricas para o período de 2004 a 2014.

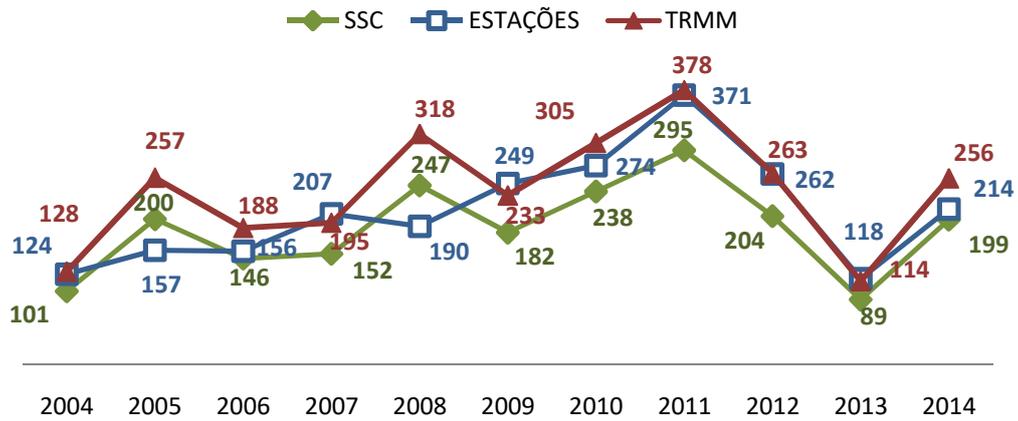


Considerando a aplicação do SSC para toda a série analisada (Figura 32), nota-se que nem sempre o resultado vai de encontro ao esperado, sendo que uma real vantagem é observada somente quando há um descompasso relevante entre os dados. Observa-se ainda que o problema em relação subestimativa dos dados de chuva é ainda mais acentuado uma vez que se aplica o modelo, já que por considerar uma generalização com base na série, os eventos considerados extremos são ainda mais suavizados. É importante ressaltar que o SSC foi criado para uma região asiática marcada pelo período anual de monções com médias pluviográficas extremas em todos os anos. Sendo assim, para eventos extremos que não tenham tanta recorrência seu desempenho acaba sendo prejudicado.

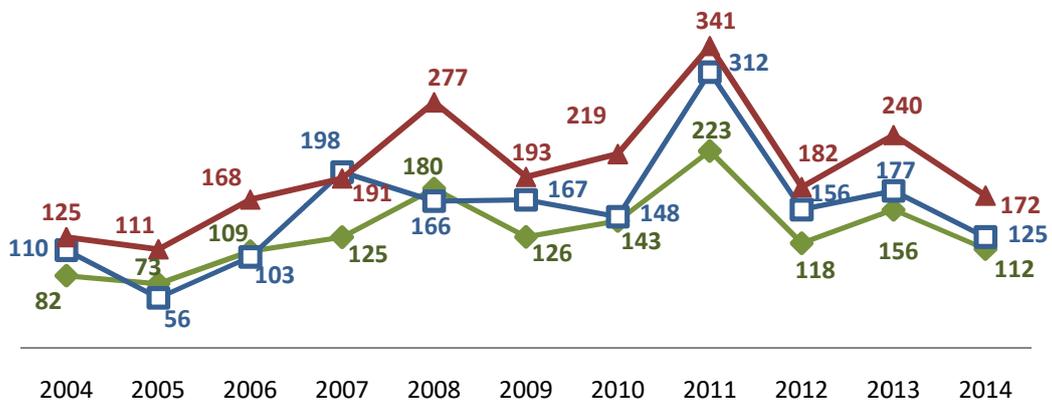
Nos meses de Janeiro, Fevereiro e Março o SSC teve êxito em aproximar o TRMM nos anos mais secos, porém a tendência em subestimar os totais continuou para os anos mais chuvosos, havendo então o desencontro em momentos da série que se mantinham afinados antes da aplicação do índice. Já de Abril a Outubro, que corresponderiam aos meses mais secos conforme o comportamento climático esperado, o índice promoveu poucas alterações e manteve a mesma tendência, caminhando para uma melhor sintonia nos anos onde o TRMM extrapola a pluviosidade para índices mais altos mesmo sem chuva. O mês de novembro, porém, seguiu a mesma tendência de antes e não houve qualquer melhora em relação ao evento extremo de 2008. Para dezembro o índice foi capaz de amenizar a marcante superestimativa mantida pelo dado satelitário para toda a série. Os eventos mais extremos, porém, mantiveram-se desajustados em relação aos dados de estação.



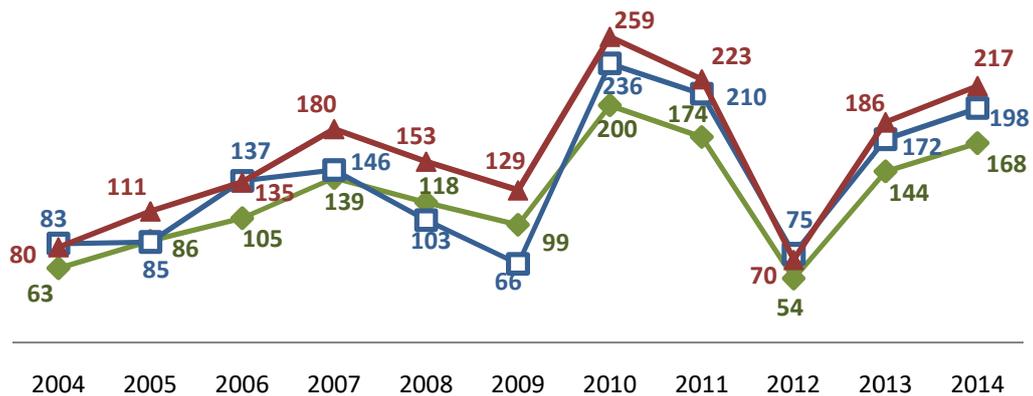
Janeiro



Fevereiro

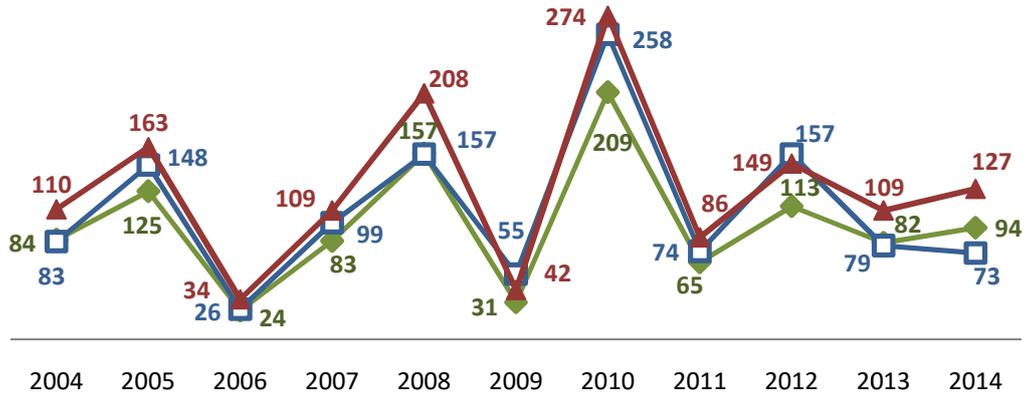


Março

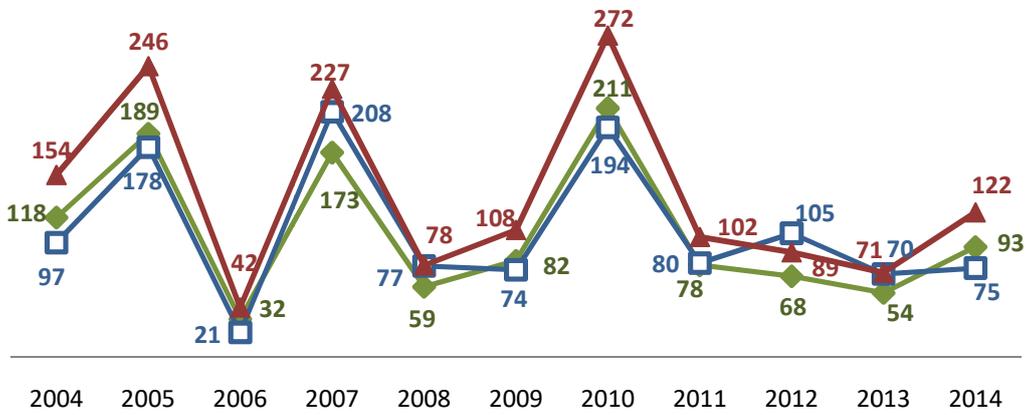




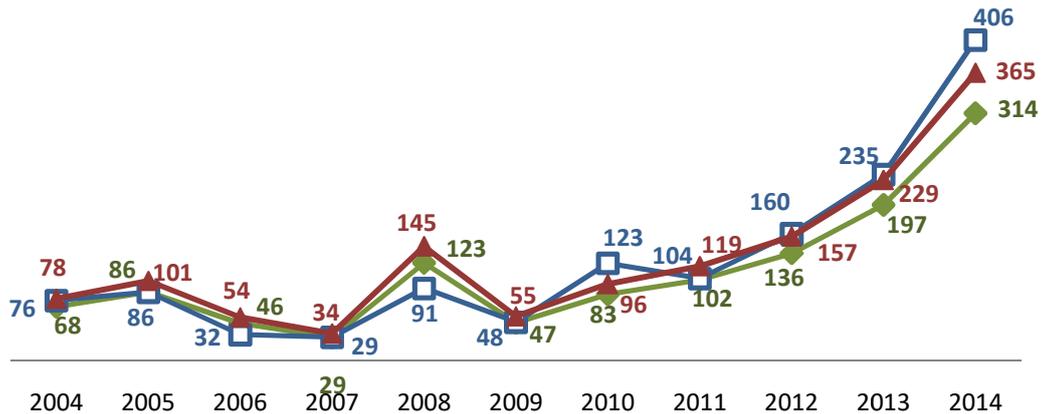
Abril



Mai

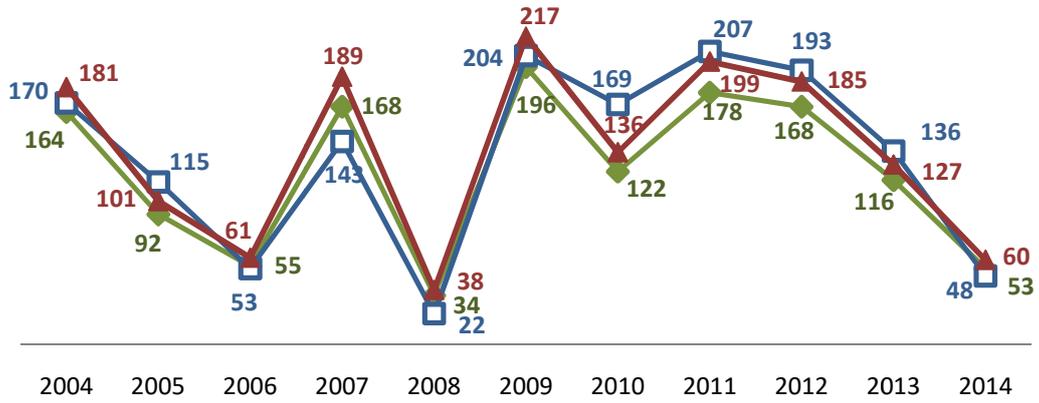


Junho

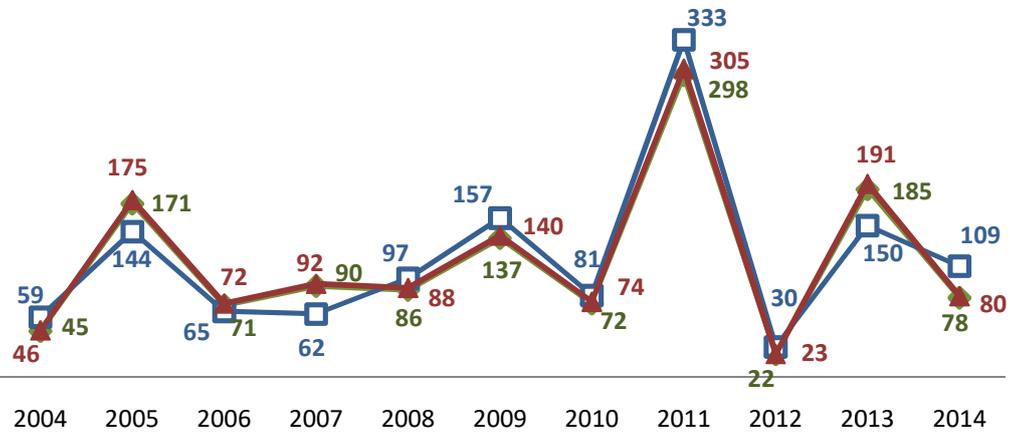




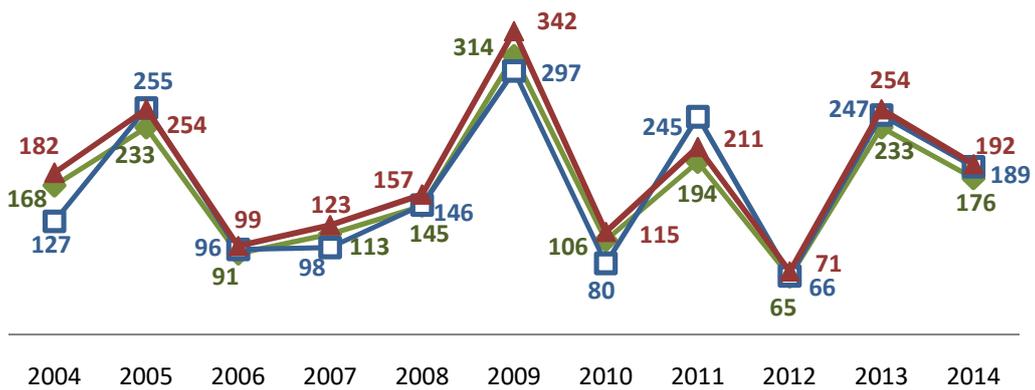
Julho



Agosto

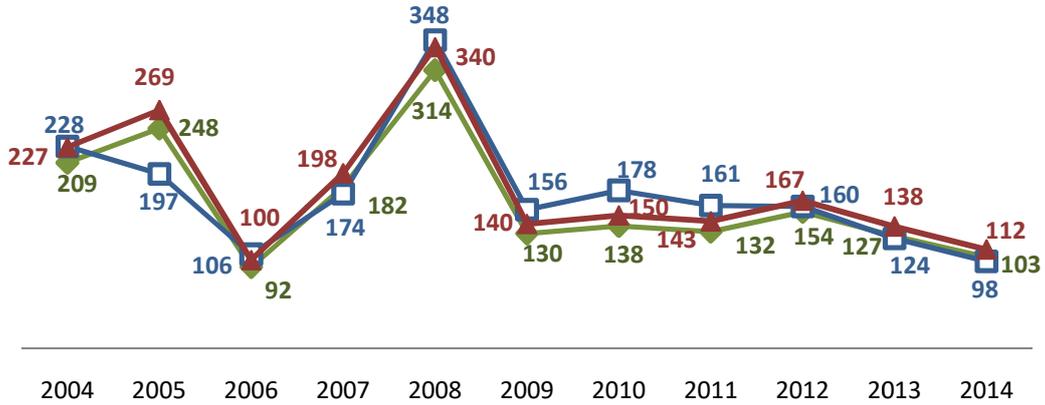


Setembro

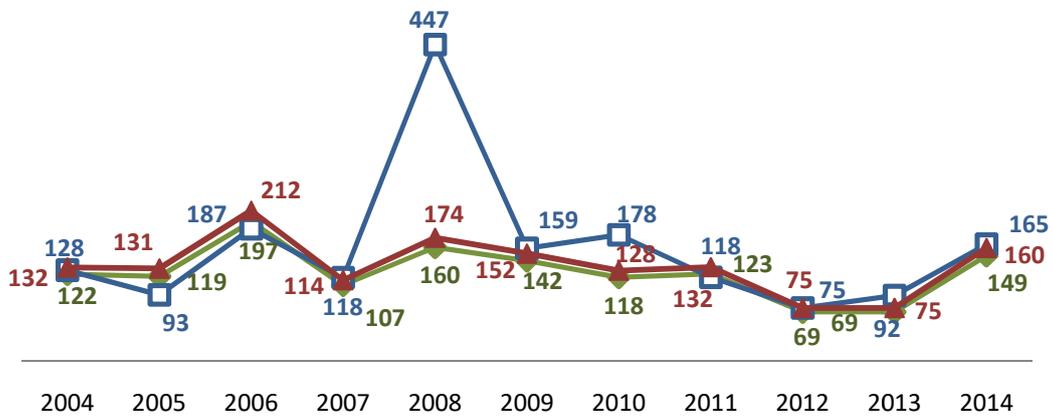




Outubro



Novembro



Dezembro

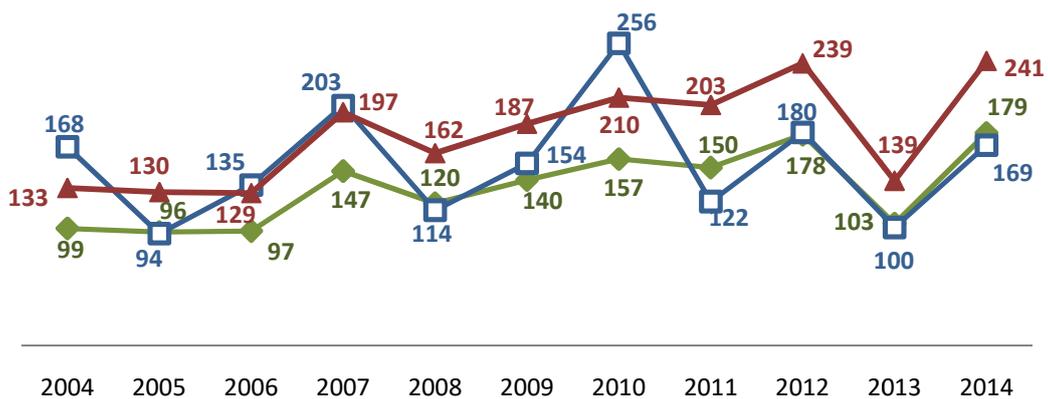


Figura 32 - Sequência mensal de 2004 a 2014 (mm/mês) considerando os dados de estações pluviométricas, os dados do produto TRMM 3B43 e a tentativa de ajuste via quociente SSC.



Considerando o evento que se deseja analisar o quociente SSC utilizado foi o de Novembro de 2008 (Figura 33), que serviu como índice de correção para as imagens 3B42 adaptadas para valores diários nas datas de 15 a 25 de novembro de 2008, conforme o procedimento descrito no Tópico 3.2.1.

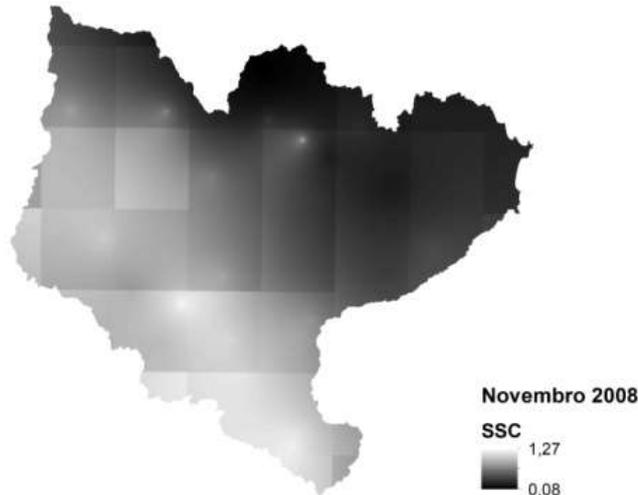


Figura 33 - SSC Novembro de 2008. Quociente da divisão entre os valores das Estações e do TRMM 3b43.

A Figura 34 desmonstra que a correção dos dados satelitários, se considerando o SSC com base e toda a série apresenta uma mudança discreta no âmbito geral, uma vez que considerando o evento extremo analisado a diferença em relação às estações continua elevada, conforme o que foi obtido para as médias mensais.

Já considerando o quociente de Novembro de 2008 os valores se aproximam notavelmente, sendo que as médias, tanto para as cicatrizes quanto para toda a bacia, são três vezes mais altas considerando os dias de maior pluviosidade que não haviam sido detectados pela série TRMM original. É importante ressaltar que a metodologia propõe que o índice seja utilizado considerando parâmetros de sazonalidade e neste contexto o evento extremo não pode ser tomado por base para uma correção sistemática.

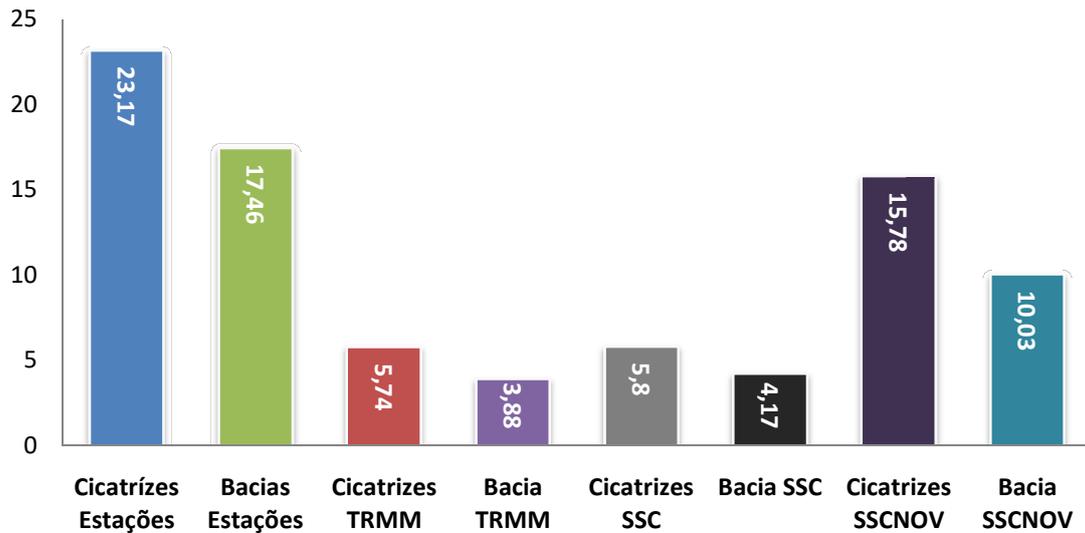
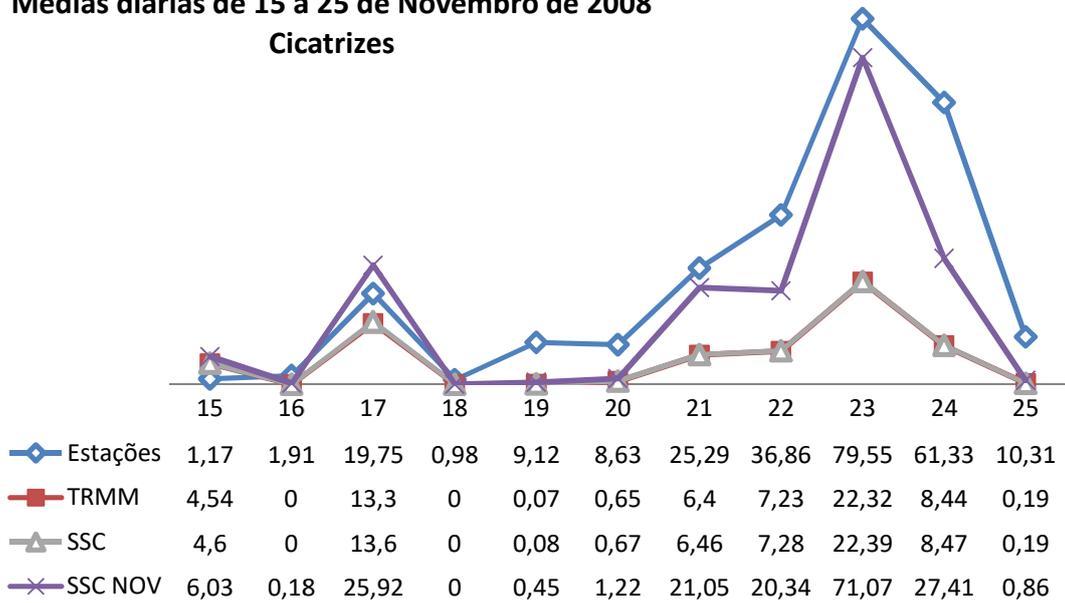


Figura 34 - Médias diárias gerais para o período de 15 a 25 de Novembro de 2008, considerando as estações pluviométricas e o produto 3B42 da plataforma TRMM.

Ainda assim, conforme a Figura 35, as tendências, embora menos acentuadas, são notadas quando comparados os dados das quatro séries consideradas. A correção aproxima as médias dos valores satelitários aos valores estimados pelas estações em terra. Deste modo é possível afirmar que o método de *downscaling* utilizado cumpriu seu papel de modo geral ao aproximar o dado de simulação do valor consolidado após a realização do evento, considerando um produto oriundo de uma série de dados de um produto independente. A Figura 36 demonstra a comparação entre os dados pontuais de estação e o TRMM original e corrigido para o dia de maior pluviosidade.



Médias diárias de 15 a 25 de Novembro de 2008
Cicatrizes



Médias diárias de 15 a 25 de Novembro de 2008
Bacia

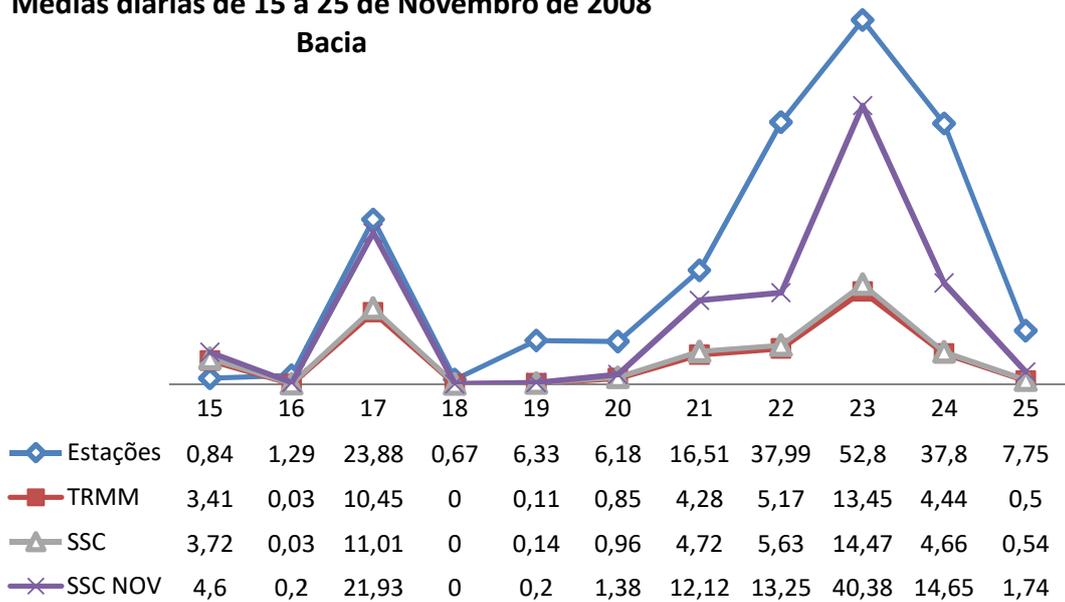


Figura 35 – Médias diárias em mm/dia para as áreas mapeadas como cicatrizes e para toda bacia do Rio Itajaí, considerando os dados de pluviométricos das estações, o produto TRMM 3B42 e a correção realizada após a aplicação do SSC.

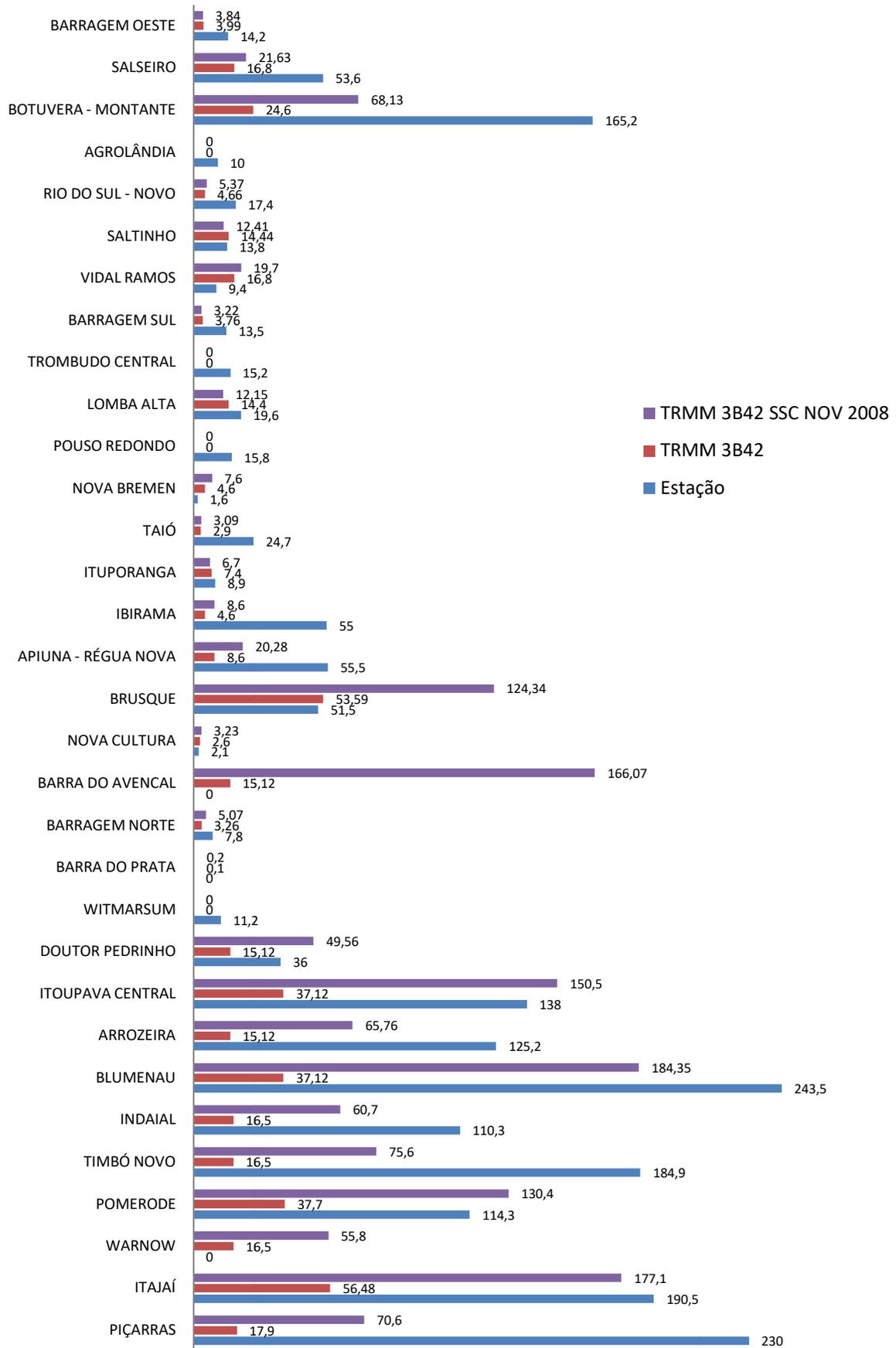


Figura 36 - Comparação Estações, TRMM e SSC Novembro 2008 para os pontos das estações no dia 23/11/2008 (em mm/dia).



4.2.1 MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO E MAPAS DERIVADOS

Conforme informado na metodologia, os primeiros passos consideraram uma visão geral da Bacia do Rio Itajaí, a partir do uso de dados de menor resolução. Estes serviram como subsídio para o foco num estudo mais específico na Sub-Bacia do Ribeirão Baú, dada a disponibilidade de dados de solo e a facilidade de processamento para realização de testes, considerando que a metodologia para o cálculo do volume e validação do modelo SHALSTAB pode ser considerada como inédita na configuração apresentada neste trabalho.

Sendo assim, na Figura 37 e na Figura 38 é possível visualizar a representação dos modelos de elevação utilizados como fonte de informação para análise de instabilidade a partir do algoritmo SHALSTAB, além de base para análise das classes de uso do solo, cálculo de volume e refinamento das cicatrizes em etapas posteriores.

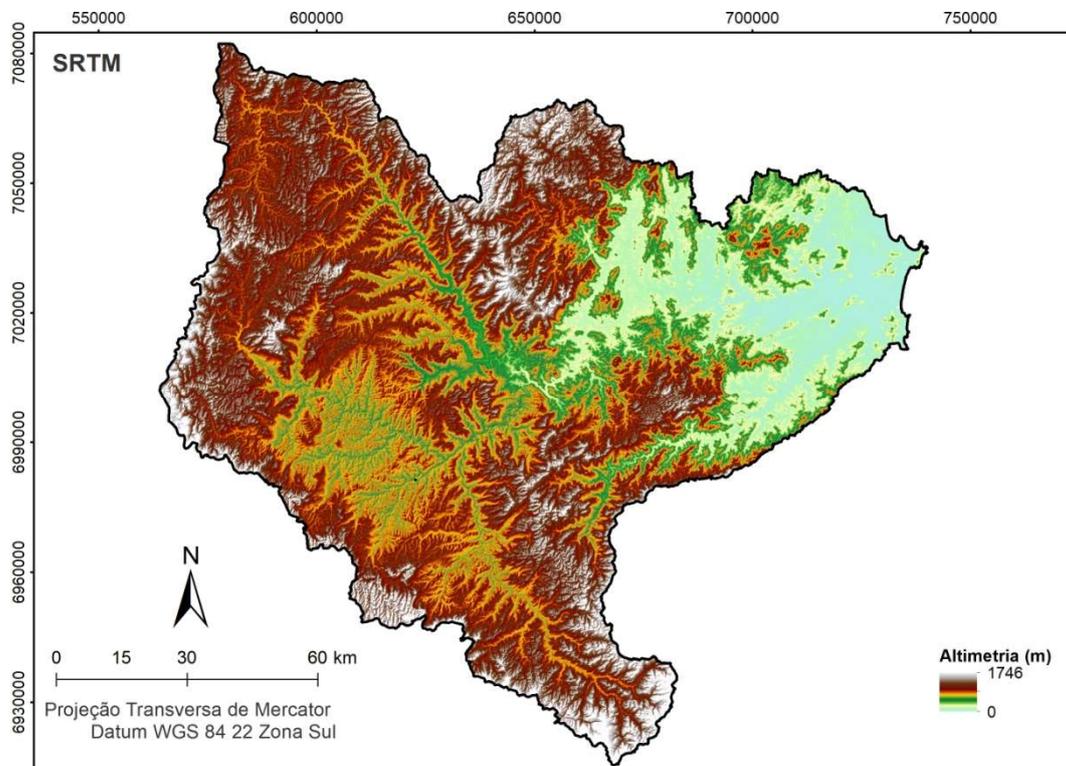


Figura 37 – Representação gráfica do produto SRTM CGIAR utilizado como fonte de dados morfométricos para o estabelecimento das áreas de instabilidade na Bacia do Rio Itajaí.

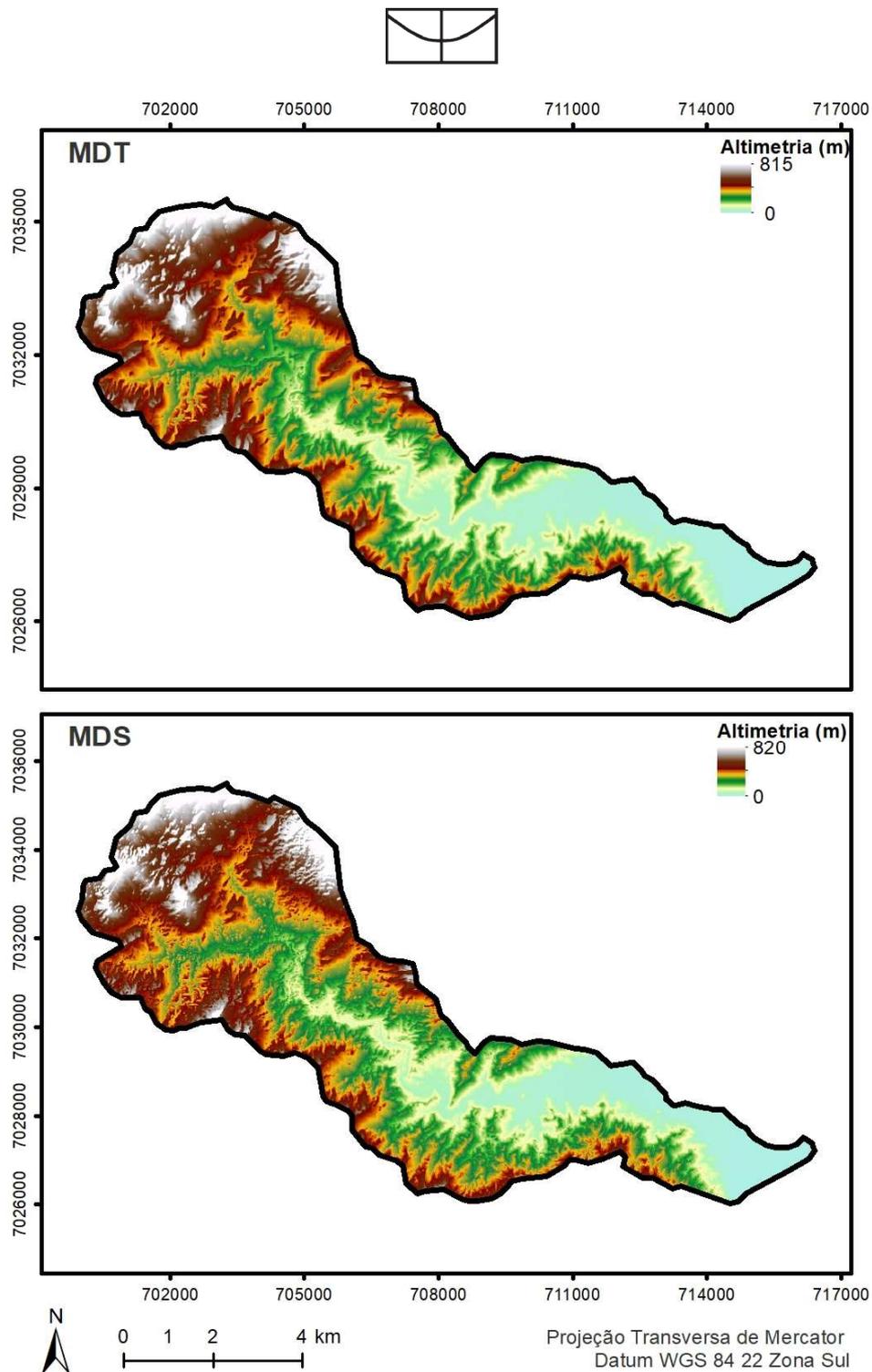


Figura 38 - Representação gráfica dos modelos de elevação utilizados para extração dos dados morfométricos na Sub-Bacia do Ribeirão Baú.

O recorte na Sub-Bacia do Ribeirão Baú apresenta uma diferença discreta entre altitudes máximas e mínimas em todos os modelos. Considerando a metodologia descrita, a partir dos modelos de elevação foram gerados os mapas derivados de declividade (Figura 39 e Figura 40) que o modelo SHALSTAB utilizou como entrada em todas as simulações de estabilidade realizadas. Nota-se que as áreas de planas situadas mais próximas à zona litorânea tiveram seu processamento prejudicado, porém sua localização em relação ao relevo não compromete os resultados, já que



correspondem a zonas onde os movimentos de massa detectados são praticamente inexistentes.

Conforme relatado, os dados de declividade foram expressos em radianos por demanda do formato de entrada do algoritmo utilizado para a modelagem. Ressalta-se que todos os processos foram realizados após o procedimento de cobertura das áreas de falha (*fill pits*), passo necessário para evitar distorções e falsas áreas de declividade extremamente acentuadas, marcadas por depressões abruptas inerentes à confecção dos modelos de elevação, mas inexistentes em grande parte dos casos de representação do relevo “real”.

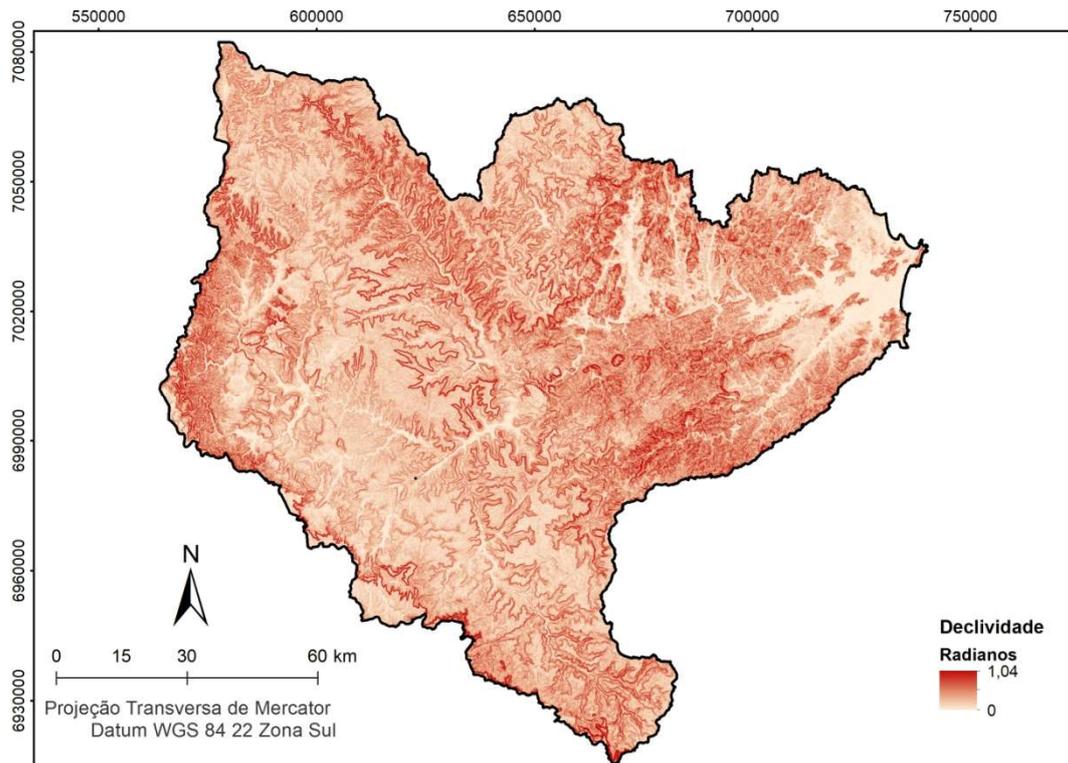


Figura 39 - Dados de declividade utilizados para a estimativa de susceptibilidade na Bacia do Rio Itajaí.

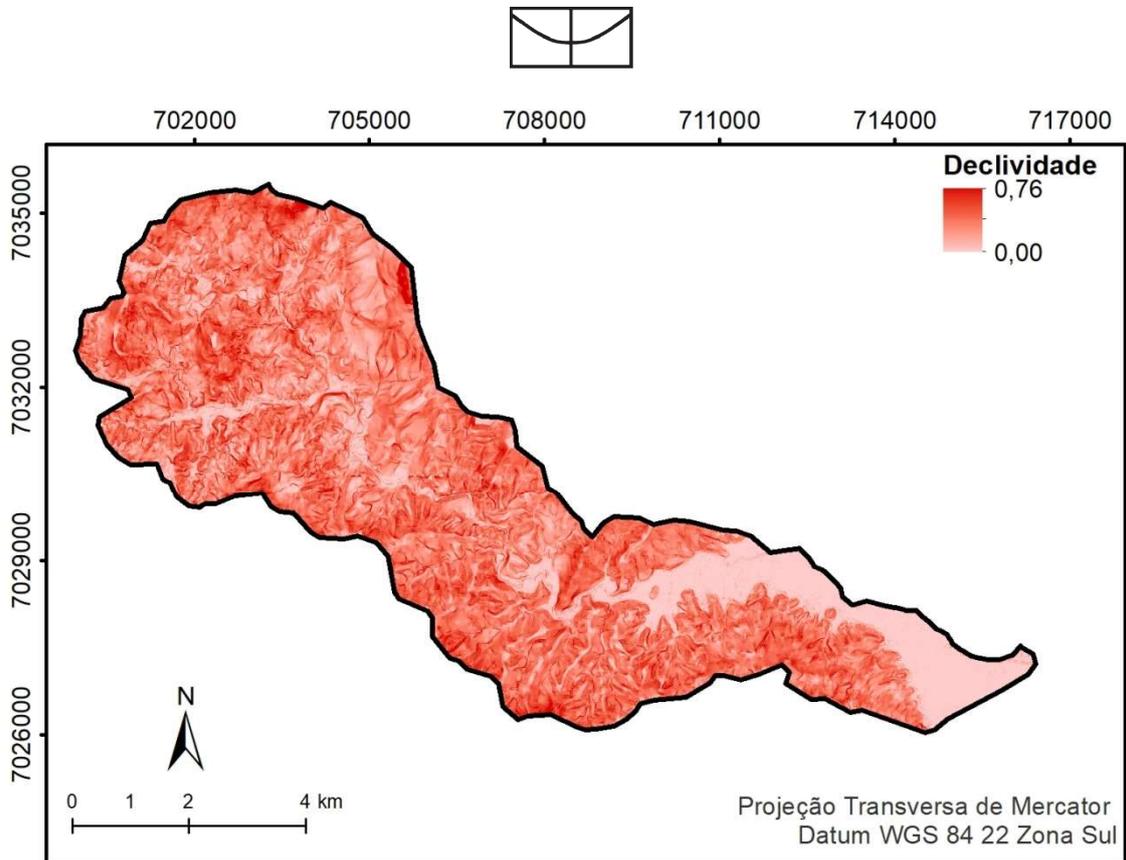


Figura 40 - Dados de declividade utilizados para a estimativa de susceptibilidade na Sub-Bacia do Ribeirão Baú.

Seguindo a mesma lógica descrita para a declividade, nos mapas derivados de área de contribuição (Figura 41 e Figura 42) nota-se que o fluxo acumulado é mais coerente entre os pixels do produto de maior refinamento, considerando que os canais principais efetivamente recebem as cargas dos fluxos a montante sem interrupções abruptas o que pode ser atribuído justamente à presença de áreas de ruído ou interrupção, que comprometem a fluidez no repasse das cargas para os pixels à jusante. A representação considerou a elevação da matriz ao logaritmo de 10 visando facilitar a visualização das informações no raster.

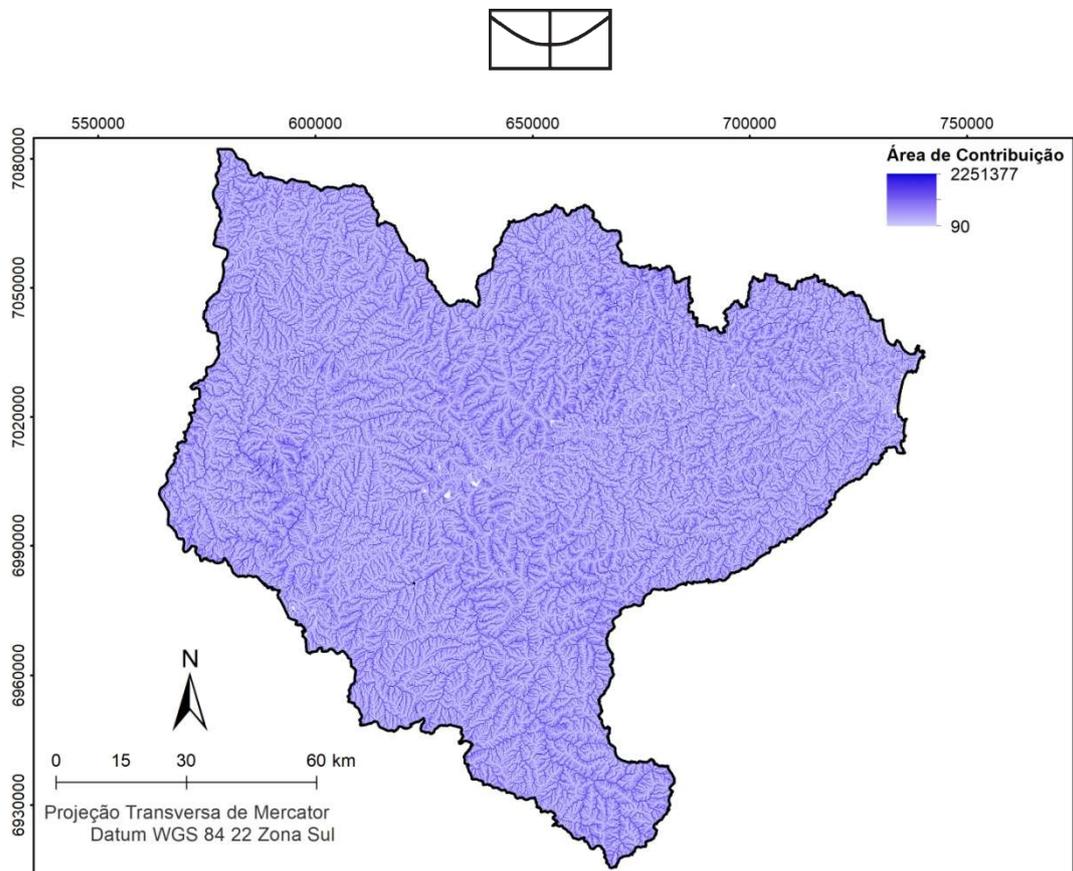


Figura 41 – Área de Contribuição utilizada para a estimativa de susceptibilidade na Bacia do Rio Itajaí.

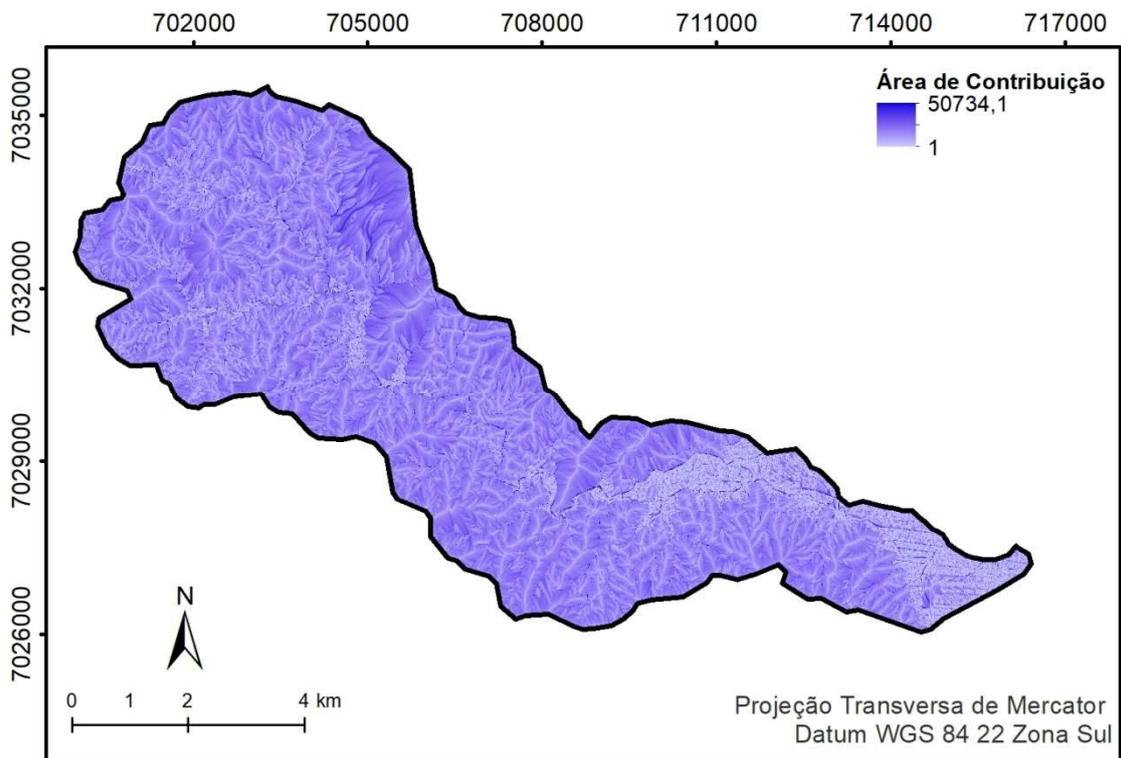


Figura 42– Áreas de contribuição utilizadas para a estimativa de susceptibilidade na Sub-Bacia do Ribeirão Baú.



4.2.2 APLICAÇÃO DO ALGORÍTIMO SHALSTAB

De posse dos mapas derivados e dos parâmetros descritos na Tabela 6 foi possível estimar as áreas susceptíveis aos movimentos gravitacionais de massa a partir do uso do módulo SHALSTAB. As áreas correspondentes às cicatrizes na Bacia do Itajaí, que seriam potencialmente afetadas por estes fenômenos correspondem apenas a 0,58% do total da área de estudo em seu maior recorte.

Considerando que nem todas as áreas estão sob risco de maneira simultânea e que o principal gatilho para a deflagração dos movimentos de massa é a chuva, o uso do algoritmo SHALSTAB orientado para detecção da coesão crítica pode ser mais útil à proposição dinâmica de áreas vulneráveis. As possíveis ações de proteção em áreas ocupadas (onde ocorrem os maiores prejuízos em todos os aspectos) também levam em conta esse fator, conforme os modelos mais usuais de alerta estabelecidos a nível nacional, que prevêm o risco de deslizamentos conforme as estimativas de previsão de chuva e tomam medidas de mobilização ou desmobilização pautadas neste quesito.

Neste sentido o modelo orientado para coesão seria mais adequado por conjugar o fator dinâmico numa lógica em que os eventos serão mais freqüentes onde o “gatilho” for acionado mais vezes. Sendo assim, áreas que em tese teriam uma menor resistência podem e vão frequentemente se revelar mais estáveis que áreas de maior resistência submetidas a um volume de chuva mais intenso. Numa primeira aproximação o modelo orientado para coesão foi aplicado para toda a série analisada na Bacia do Rio Itajaí (Figura 43) considerando os valores diários gerais de 2004 a 2014 tanto das estações quanto do TRMM (3B43) como dados de entrada no algoritmo.

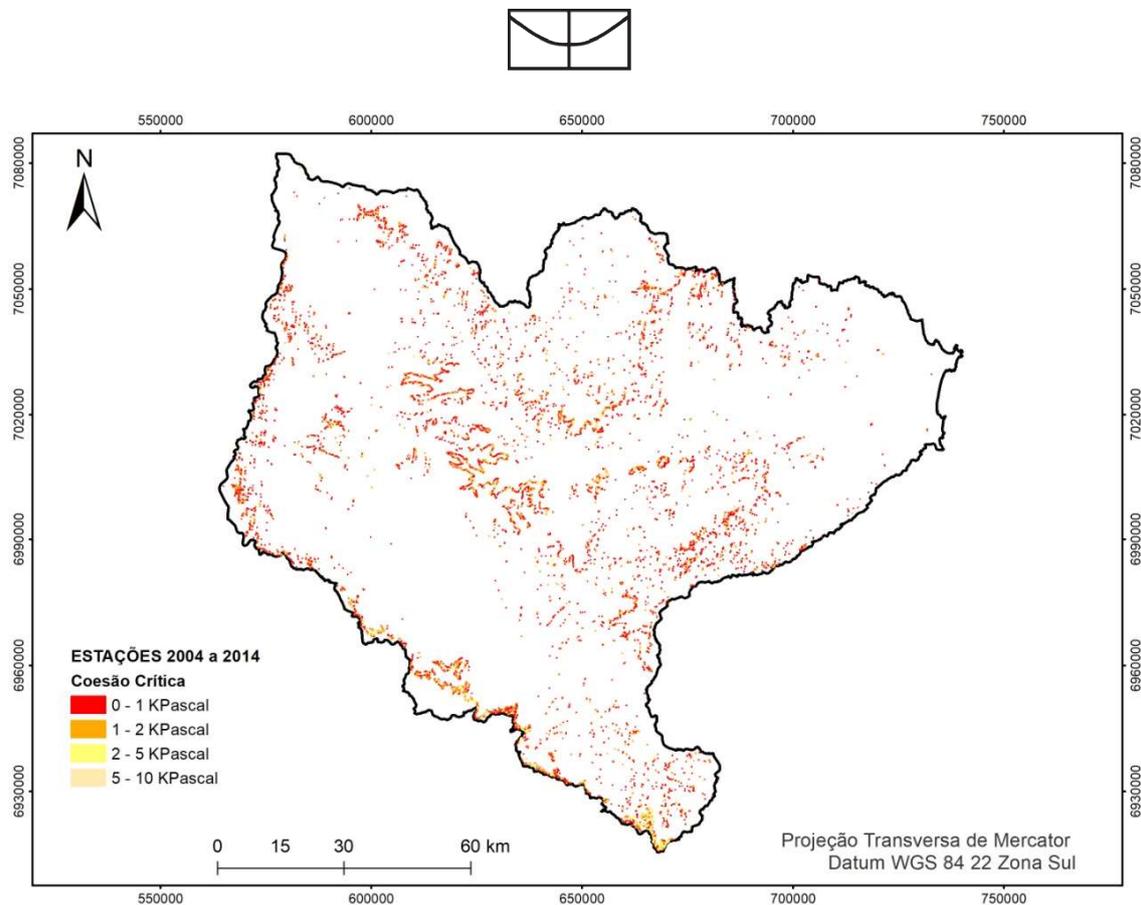


Figura 43 - Resultado do SHALSTAB orientado para coesão considerando as médias diárias das estações de 2004 a 2014.

Nesta perspectiva o percentual de área considerado instável para a bacia se encontra num patamar bem mais aproximado do que seria o real, conforme pode ser visualizado na Figura 44. É possível observar ainda que o TRMM e as estações discriminam áreas de instabilidade semelhantes, obtendo uma cobertura bastante próxima em níveis percentuais.

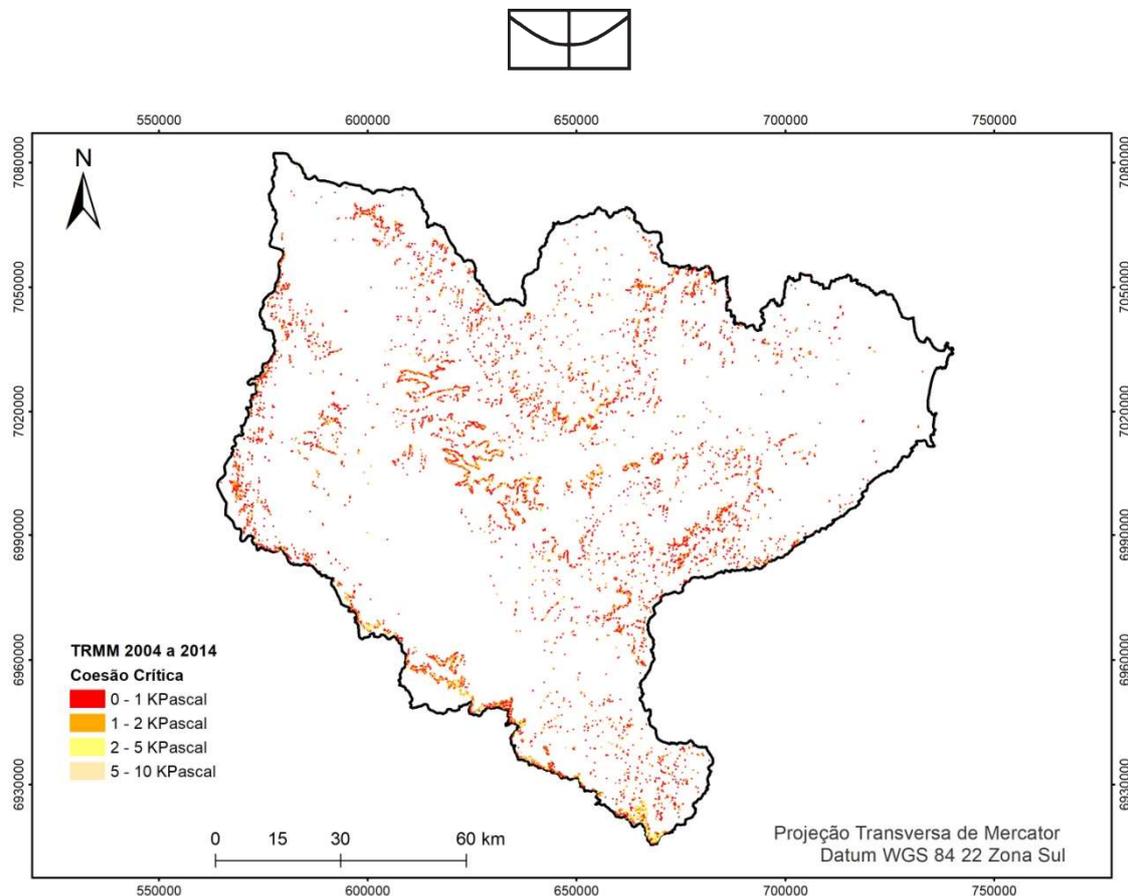


Figura 44 - Resultado do SHALSTAB orientado para coesão considerando as médias diárias do TRMM de 2004 a 2014

É fato, porém, que as áreas classificadas com menor coesão não terão uma taxa de correspondência efetiva com as cicatrizes vetorizadas de modo geral, considerando que o fator temporal neste caso é importante já que os índices de acerto só poderiam ser efetivos para as cicatrizes dos movimentos derivados da precipitação no período analisado. Considerando este fato foi realizada numa simulação para o evento de Novembro de 2008 que, conforme a bibliografia consultada, bem como as séries analisadas, foi bastante impactante na dinâmica regional em relação aos movimentos gravitacionais de massa.

O resultado da aplicação do algoritmo SHALSTAB considerando como dados de entrada a média dos dias 15 a 25 considerando as Estações Pluviométricas, o produto TRMM 3B42 e a correção via SSC pode ser visualizado na Figura 45. Nota-se que os valores máximos de pluviosidade para as estações chegam a ser 100% maiores que as estimativas satelitárias em determinadas áreas. Nota-se ainda que a amplitude pluviométrica na grade SSC é menor que a dos dados TRMM o que implica numa distribuição mais uniforme o que não se reflete necessariamente num menor percentual de simulação de áreas instáveis, conforme é possível visualizar na Figura 45.

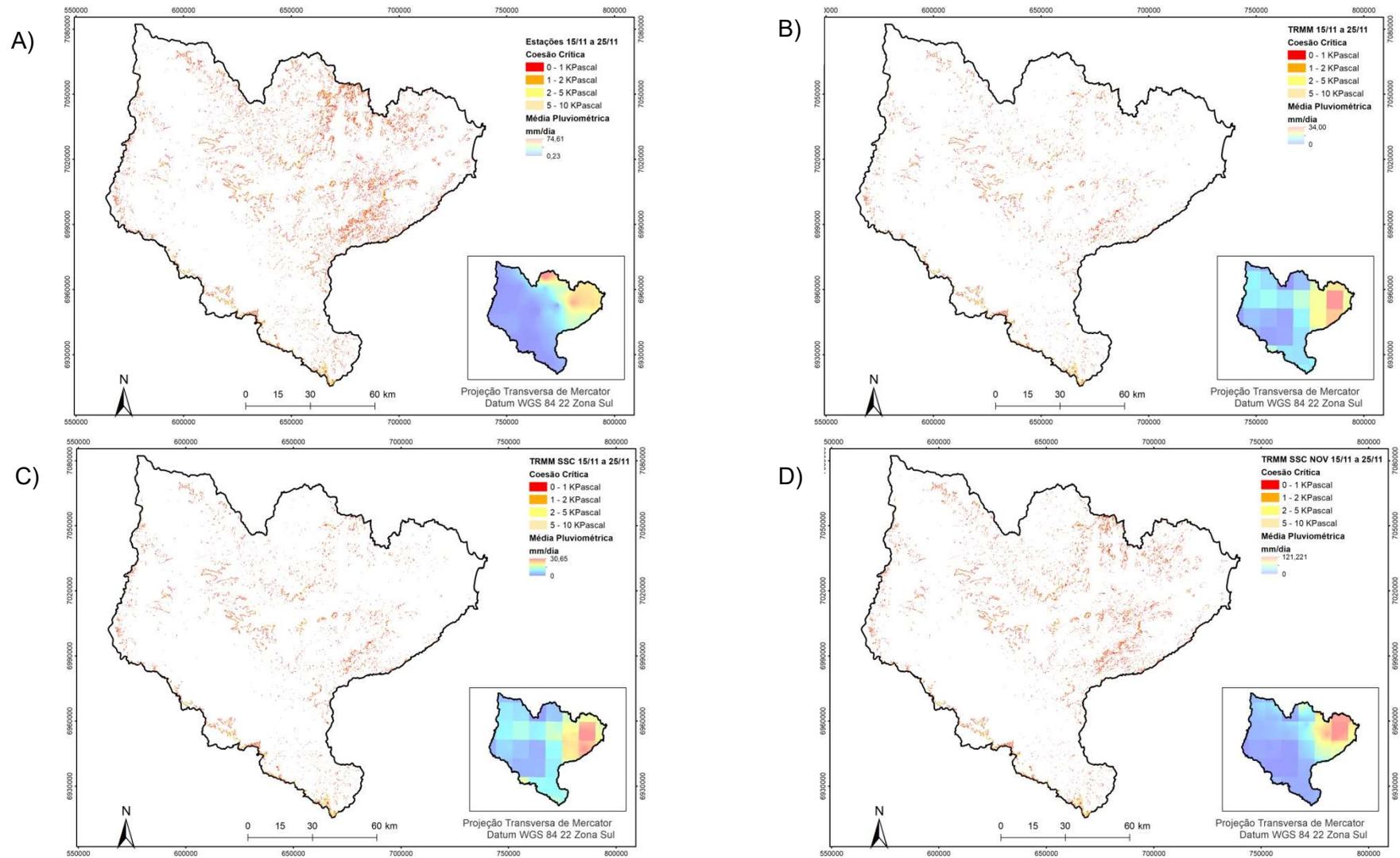


Figura 45 – Resultado das modelagens SHALSTAB considerando como *input* as médias pluviométricas para a série temporal de 15 a 25 de novembro de 2008 para as estações pluviométricas (A), o produto TRMM 3B42 (B) e a correção a partir do quociente SSC da série (C) e para o ano de 2008 (D).



Percentual de pixels instáveis em relação à média de 15 a 25 de novembro

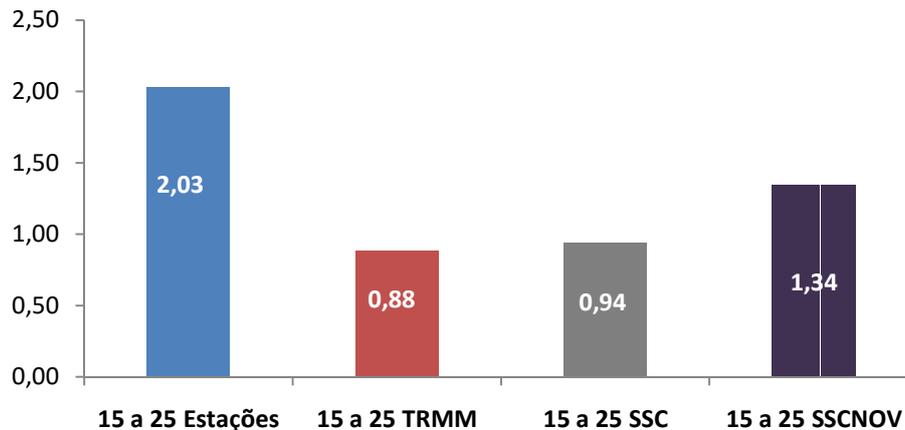


Figura 46 -Percentual de pixels instáveis considerando a coesão crítica em relação à média de 15 a 25 de Novembro de 2008.

Já a partir dos valores médios da série é possível notar que o percentual de áreas previstas como instáveis é bastante reduzido, principalmente se considerados os valores obtidos no modelo orientado à precipitação. Isso não significa, no entanto, que esses valores não expressem na mobilização de solo em áreas relevantes, já que, considerando os valores diários numa análise dinâmica, as áreas previstas como instáveis se modificam, dobram ou até mesmo triplicam, conforme é possível notar na Figura 47.

Ao analisar os dados é possível notar que, conforme o esperado, seguindo a tendência dos valores pluviométricos, o percentual de áreas instáveis se eleva para o resultado que considera as estações nos dias 17, 22, 23 e 24, onde os valores de pluviosidade registrados foram anormalmente elevados. Embora em patamares mais discretos, o produto TRMM e o SSC acompanham a tendência para os dias mais chuvosos aumentando significativamente as áreas instáveis para as mesmas datas da série. A exceção se dá para o dia 22 no resultado do TRMM onde os valores de áreas instáveis apresentam uma diminuição. O desvio é atenuado com a aplicação do SSC de novembro de 2008 aos valores diários. Observa-se ainda a mesma tendência existe nas séries mensais, onde os dias mais secos registram um percentual de áreas instáveis superestimado em relação às estações, em especial no primeiro dia da série.

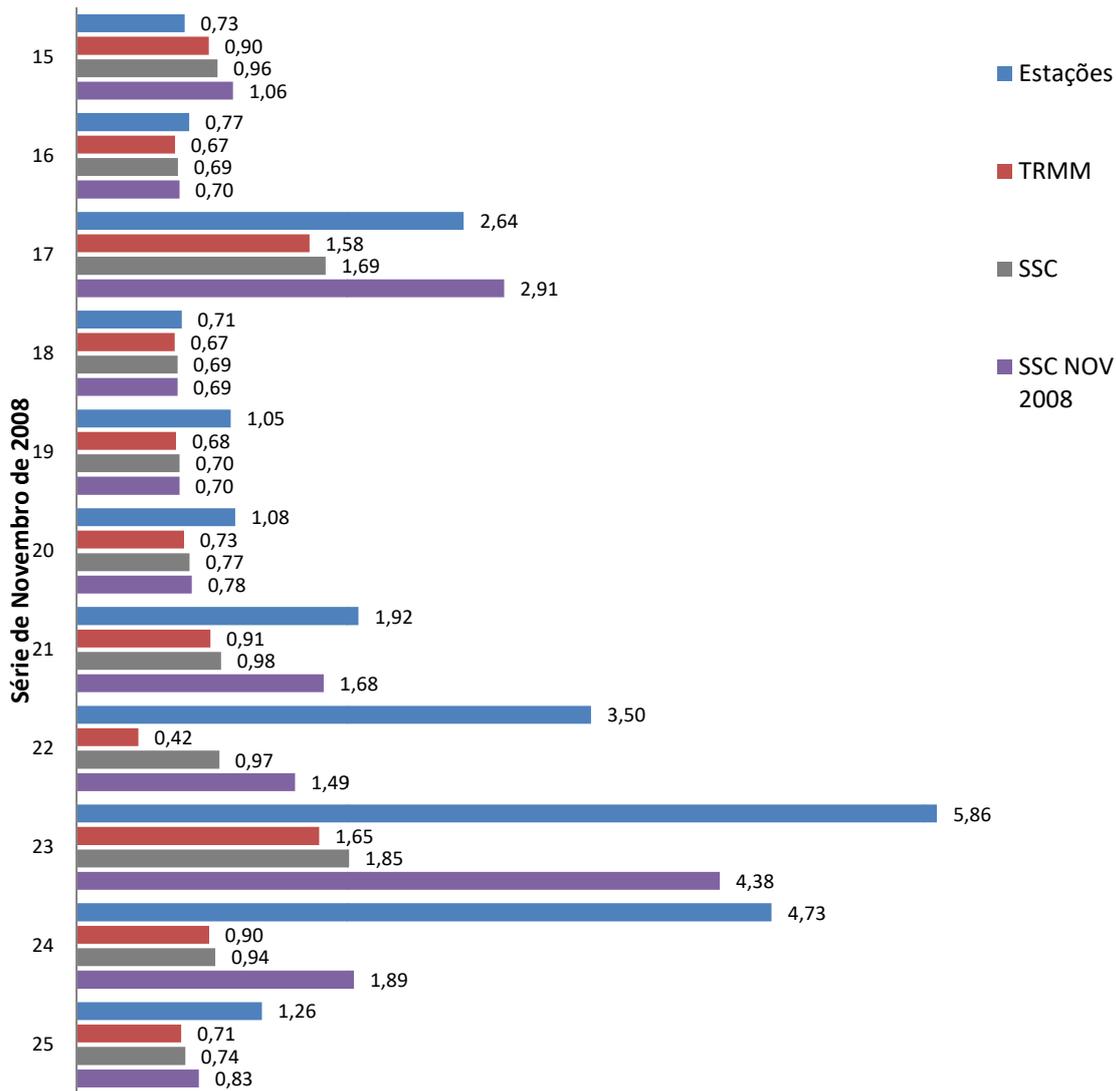


Figura 47 - Série de 15 a 25 de Novembro de 2008 com base no percentual de área calculada como instável em relação ao total da Bacia do Itajaí, considerando os valores de chuva nas estações, TRMM, SSC Geral e o SSC Novembro de 2008 como *input* para o cálculo da coesão crítica.

Ao considerar a representatividade das previsões em relação às áreas instáveis mapeadas como cicatrizes, o resultado mostra tendências interessantes uma vez que as áreas apontadas como problemáticas vão de encontro às regiões mais assoladas pelo evento ocorrido em novembro de 2008. Ao realizar a intersecção entre as cicatrizes e os pixels instáveis é possível acompanhar a dinâmica espacial da instabilidade a cada dia a partir da coesão crítica que varia conforme os valores de pluviometria. A sequência de comparações presente na Figura 48, Figura 49, Figura 50 e Figura 51 considera as áreas de cicatrizes interceptadas por pixels considerados em algum grau de instabilidade visando justamente inferir quais destas teriam alguma probabilidade de terem se formado durante a série analisada.

Ao analisar a sequência a expectativa é correspondida na medida em que os dois *inputs* sinalizam uma maior taxa de frequência nas áreas afetadas pelo evento de 2008, considerando a porção nordeste da bacia como o foco nos dias de precipitação



mais intensa. A sequência a seguir apresenta os dias de menor e maior pluviosidade entre os dias 15 e 25, conforme os dados levantados e demonstra claramente a relação entre a presença de áreas instáveis conforme o resultado da modelagem para a coesão. Nota-se que, considerando uma cronologia, as áreas mais suscetíveis se localizam na porção mais afetada pelo evento, já que as demais áreas instáveis seriam instáveis mesmo em uma pluviosidade nula, conforme é possível notar para o resultado para o SSC do dia 18 de novembro, onde não foi registrado nenhum valor pela plataforma TRMM.

A partir deste resultado é possível inferir que os valores nos dias mais chuvosos da série analisada podem ter sido os responsáveis pelos movimentos de massa mapeados naquela área já que, de todas as cicatrizes da área, a maior representatividade se deu justamente na região catalogada como a mais afetada pelo evento de 2008. Desta forma, seria possível estimar que de um total de 87,26 km² de áreas instáveis mapeadas, 20,55 km² poderia ter surgido somente em um dia da série analisada, considerando uma grande taxa de ocorrências nos arredores do Ribeirão Baú. Nos dias sem chuva representativa esse valor fica abaixo de 10%, correspondendo somente a áreas que seriam instáveis, independente dos valores de chuva.

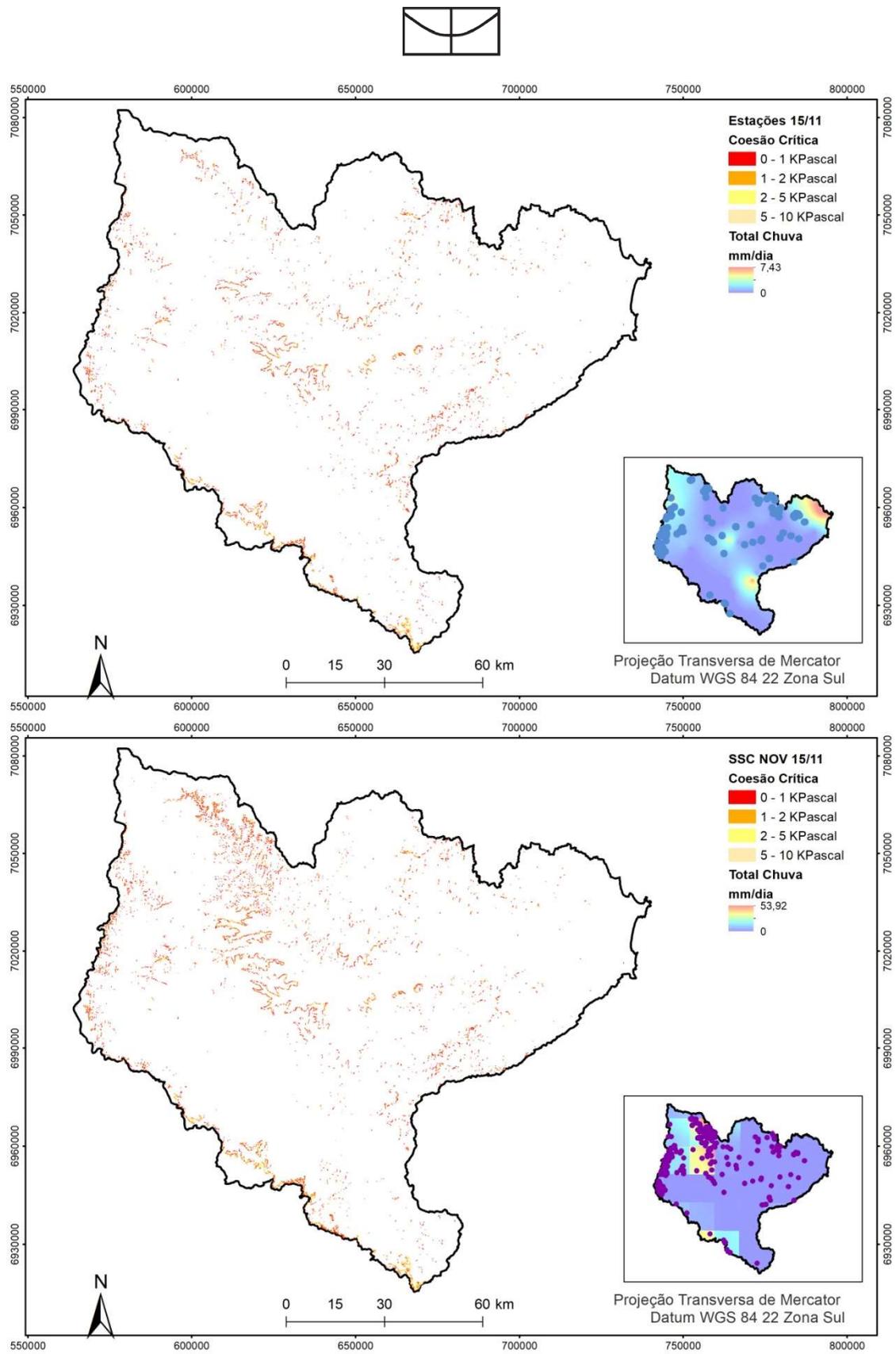


Figura 48 – Resultado do modelo SHALSTAB para coesão crítica no dia 15/11/2008 utilizando os dados de estação e o TRMM 3B42 corrigido pelo SSC de novembro de 2008 como entrada. Nota-se a pequena indicação de áreas instáveis que corresponderiam áreas que seriam passíveis de instabilização mesmo com chuvas reduzidas.

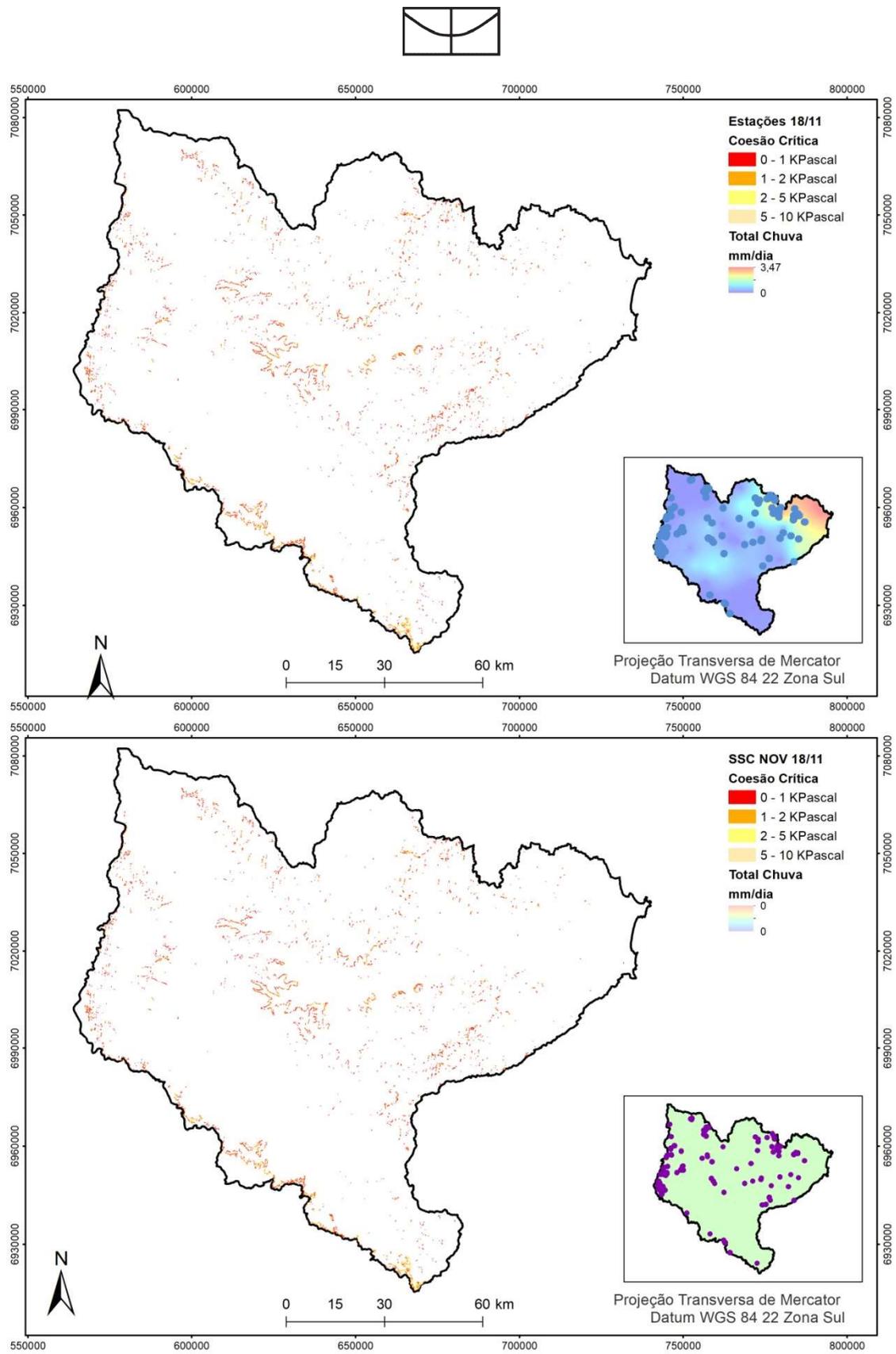


Figura 49 – Resultado do modelo SHALSTAB orientado para coesão no dia 18/11/2008 utilizando os dados de estação e o TRMM 3B42 corrigido pelo SSC de novembro de 2008 como entrada. Sendo este o dia menos chuvoso da série ainda assim nota-se a presença de algumas áreas de instabilidade que interceptam parte das cicatrizes mapeadas o que denota a presença de áreas incondicionalmente instáveis ou mesmo afloramentos rochosos.

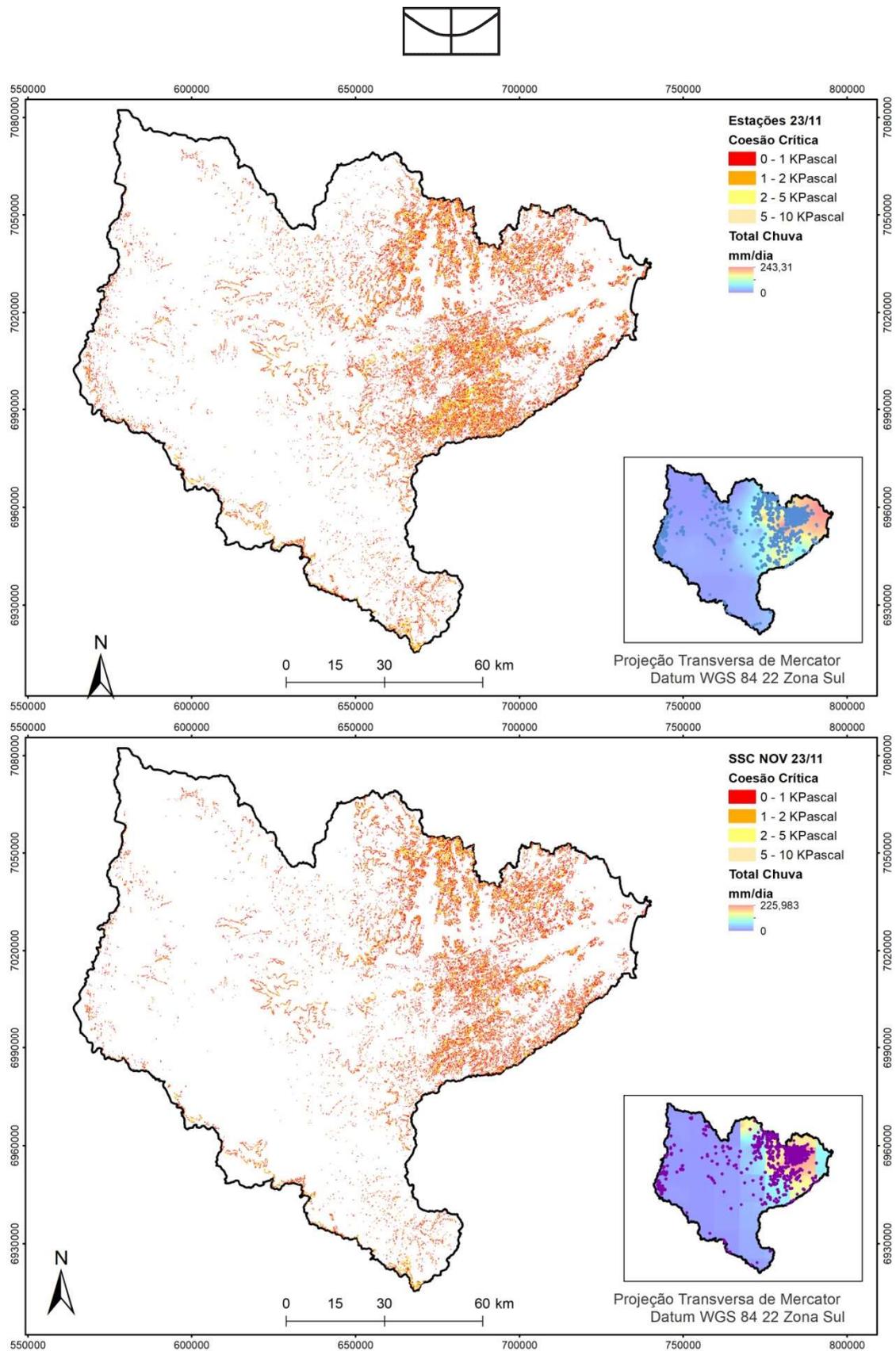


Figura 50 - Resultado do modelo SHALSTAB orientado para coesão no dia 23/11/2008 utilizando os dados de estação e o TRMM 3B42 corrigido pelo SSC de novembro de 2008 como entrada. Observa-se para o dia mais chuvoso da série, a presença de muitas zonas de instabilidade em ambos os resultados, sendo que o número de cicatrizes interceptadas é o maior de toda a série o que torna este o dia mais crítico para o período analisado.

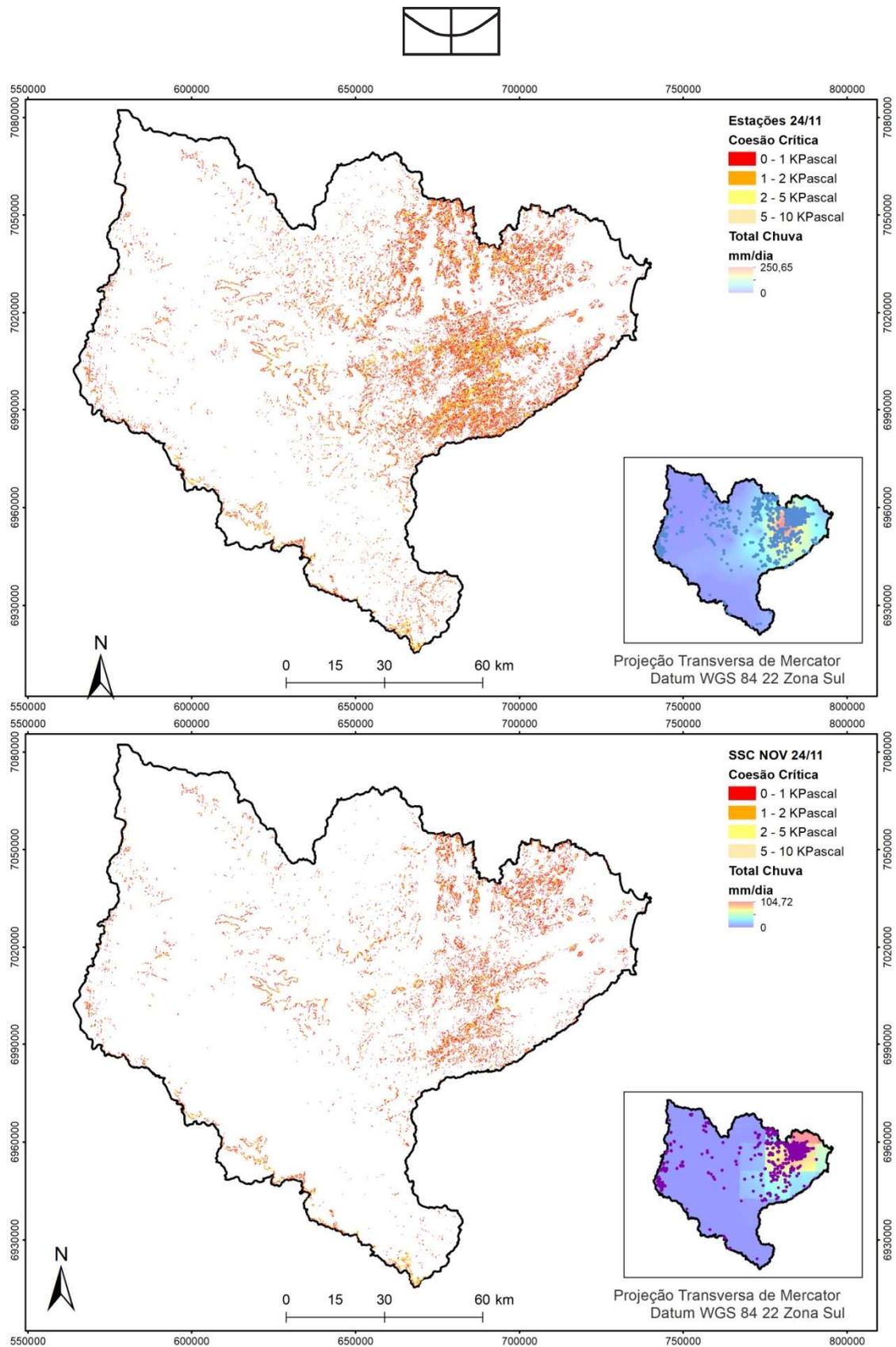
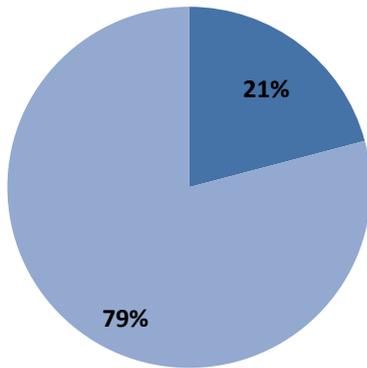


Figura 51 - Resultado do modelo SHALSTAB orientado para coesão no dia 24/11/2008 utilizando os dados de estação e o TRMM 3B42 corrigido pelo SSC de novembro de 2008 como entrada. Nota-se que o dado satelitário mesmo corrigido reduz drasticamente a área considerada instável em relação ao dado das estações. O número de cicatrizes interceptadas é mais reduzido, porém o foco continua na região nordeste da bacia, onde situa-se a área drenada pelo Ribeirão Baú.

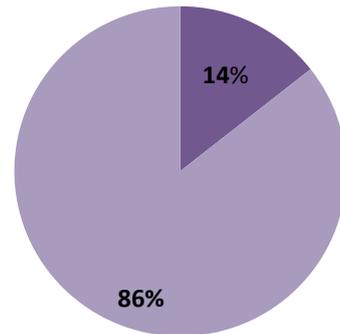


Considerando o aspecto temporal dos movimentos de massa em relação ao evento de 2008 é possível afirmar, conforme a Figura 52, que a maioria das cicatrizes concentradas na área nordeste da bacia (Figura 53) foi movimentada entre os dias 23 e 24, que coincidem com as maiores médias pluviométricas da série.

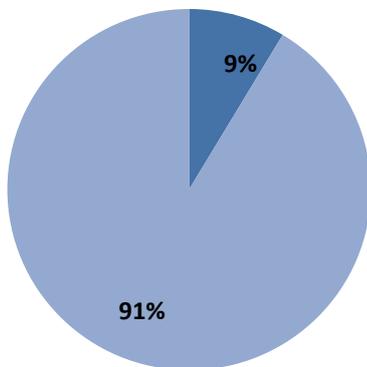
Estimativa de Área Movimentada no dia 23/11/2008 (Estações)



Estimativa de Área Movimentada no dia 23/11/2008 (TRMM SSC Nov 2008)



Estimativa de Área Movimentada no dia 24/11/2008 (Estações)



Estimativa de Área Movimentada no dia 24/11/2008 (TRMM SSC Nov 2008)

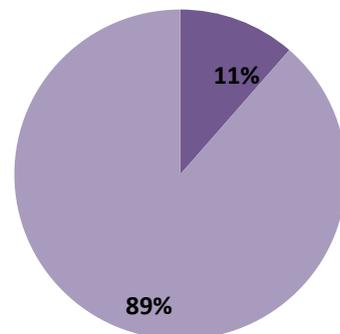


Figura 52 - Estimativa de área mobilizada entre os dias 22 e 23 de Novembro de 2008 para as estações e o TRMM corrigido pelo SSC de novembro do respectivo ano

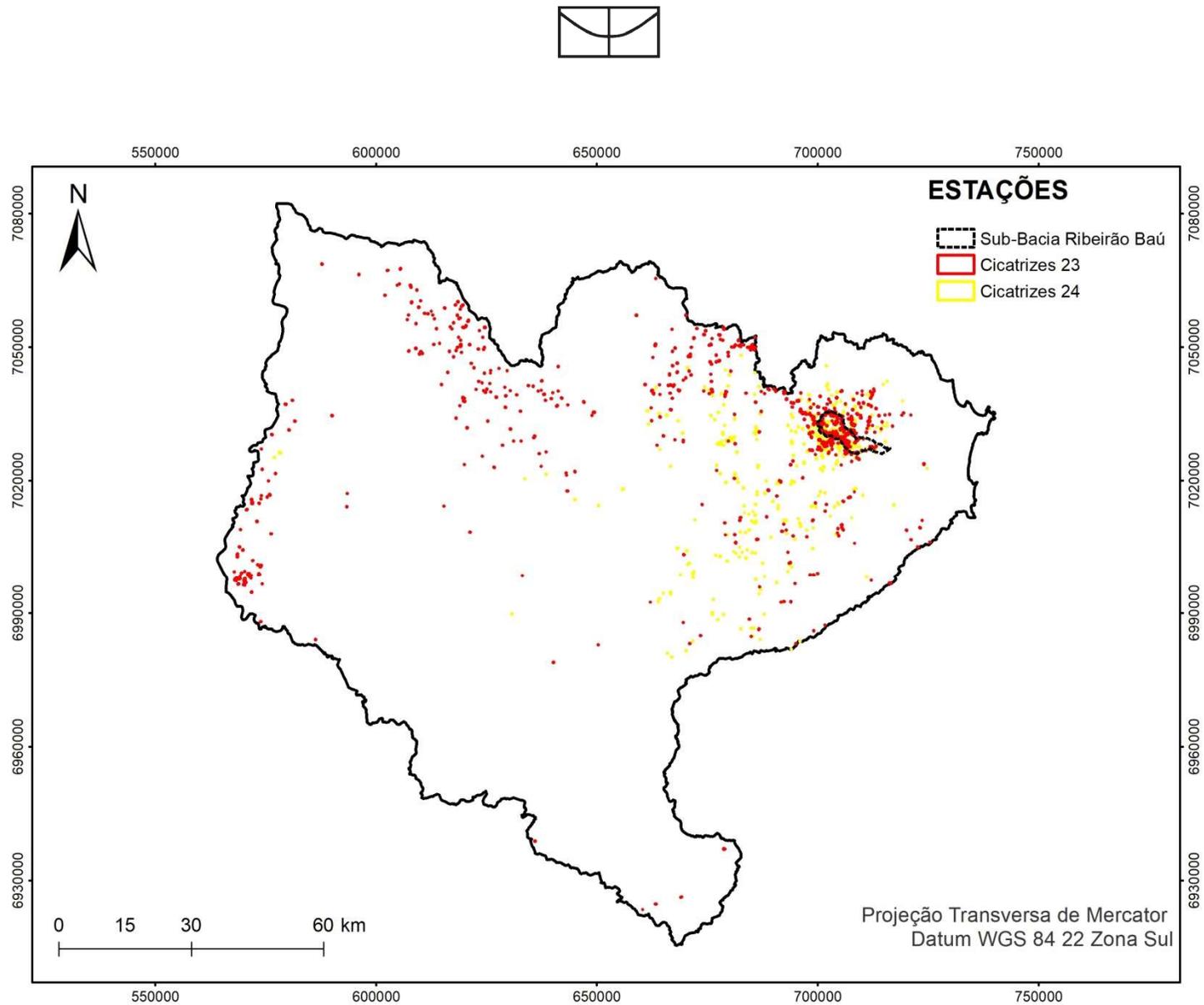


Figura 53 - Localização das cicatrizes mobilizadas entre os dias 23 e 24 conforme o resultado da aplicação do modelo SHLASTAB orientado para coesão com a pluviosidade das respectivas datas.



4.3 ANÁLISE DE DETALHE

Considerando os resultados obtidos na etapa anterior, a verificação de campo realizada em setembro de 2017 foi importante para observar a dinâmica das áreas mais afetadas pelo evento na série analisada. Conforme relatado na metodologia, houve alguma dificuldade na identificação das cicatrizes devido ao intervalo de tempo ocorrido e a dificuldade de acesso às áreas que ainda mantinham alguma exposição em relação às cicatrizes formadas à época. Ainda assim os pontos visitados trouxeram informações e impressões relevantes e alguns pontos (Figura 54) ainda conservam feições características de áreas instáveis onde os movimentos gravitacionais acabaram deflagrados.

Conforme o esperado, as situações mais relevantes foram detectadas nos limites dos municípios de Ilhota, Gaspar e Luiz Alves, três dos mais afetados pelo evento de 2008. Foram identificadas áreas também em Pomerode, Rio dos Cedros e Blumenal, sendo que situações relevantes foram computadas também nessas áreas à época do evento e continuam sendo registradas em eventos posteriores.

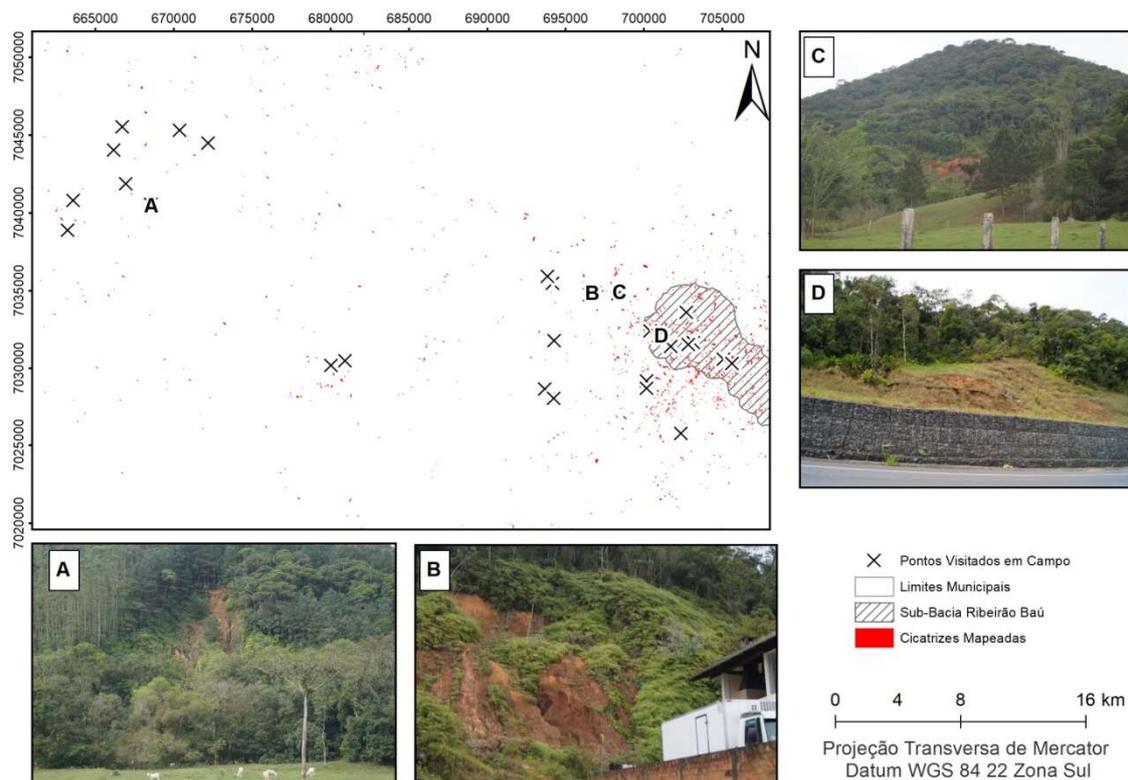


Figura 54 - Pontos relevantes visitados na Bacia do Rio Itajaí em Setembro de 2017.

Na cena A que compõe a Figura 54 nota-se uma cicatriz em área de elevado porte arbóreo e grande declividade nos arredores dos municípios de Pomerode e Rio dos Cedros. A cena B apresenta a presença humana em área de alta declividade e comprovada susceptibilidade entre os municípios de Gaspar e Luís Alves o que reforça o caráter de persistência de ocupação mesmo em áreas que historicamente já causaram grandes prejuízos, implicando inclusive em perda de vidas humanas. A cena



C, situada entre Gaspar e Ilhota apresenta uma grande área de cicatriz exposta numa zona de declividade acentuada havendo a presença de vegetação de grande porte arbóreo que, como relatado na literatura, pode contribuir para deflagração dos movimentos de massa. A cena D apresenta ações de contenção à margem de rodovia associada justamente à presença de áreas de elevada susceptibilidade a partir do uso de barreiras que reforcem a estabilidade da área e auxiliem na contenção no caso de deflagração de um eventual deslizamento.

Buscando uma aproximação com a área mais afetada e visando um melhor entendimento da dinâmica local, a classificação de uso e cobertura do solo (Figura 55) foi confeccionada com base nas imagens do aerolevanteamento que deram origem aos dados morfométricos mais refinados utilizados para a análise na Sub-Bacia do Ribeirão Baú.

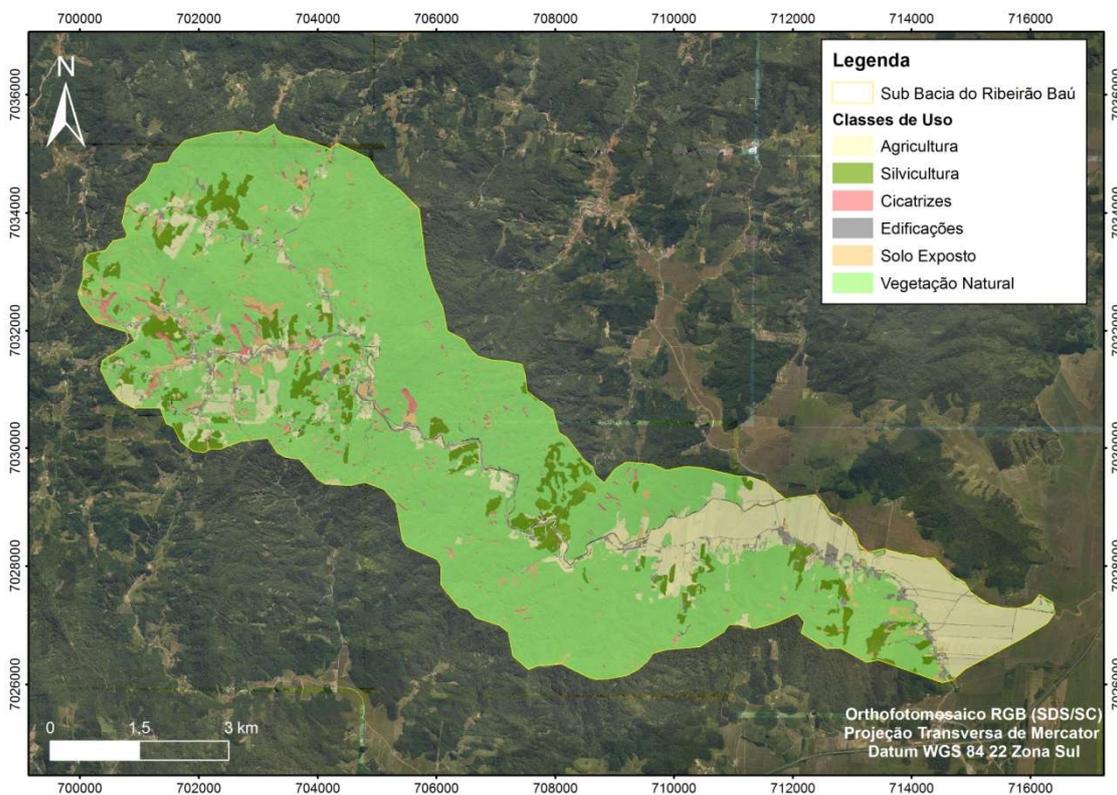


Figura 55 - Classificação do uso do solo com base em fotointerpretação das ortofotos disponibilizadas pela EPAGRI.

4.3.1 MAPEAMENTO DAS CICATRIZES E CÁLCULO DO VOLUME

Conforme relatado no tópico de metodologia, inicialmente as cicatrizes foram vetorizadas com base no Orthofotomosaico RGB, considerando a metodologia mais usual que leva em conta apenas a cobertura visível na superfície. Encontrou-se um problema inicial na dificuldade de discernir onde se iniciam os depósitos e qual a área que de fato perdeu material em virtude do deslizamento, havendo elevada dificuldade em discernir o que seria cicatriz e o que seria depósito, como pode ser visto na Figura 56.



Figura 56 - Mapeamento de cicatrizes inicial, feito conforme o método tradicional de fotointerpretação direta na imagem, sem considerar os dados associados à morfometria.

Inserindo uma variável altimétrica, no caso o MDT das orthofotos de 2009, buscou-se a noção de profundidade necessária para sanar as dúvidas entre o início e o fim das áreas que perderam solo e representam de modo mais preciso as cicatrizes dos movimentos de massa no relevo. Porém, a suavização do processo de transformação do MDS em MDT inviabiliza esta percepção, como pode ser notado na Figura 53 que mostra um exemplo de linha de perfil topográfico em uma área afetada significativamente. Supostamente, há uma influência marcante do porte arbóreo natural das áreas aferadas, já que, conforme pode ser visto no mapa de uso, a vegetação natural, composta em grande parte por araucária e floresta pluvial de mata atlântica, é predominante.

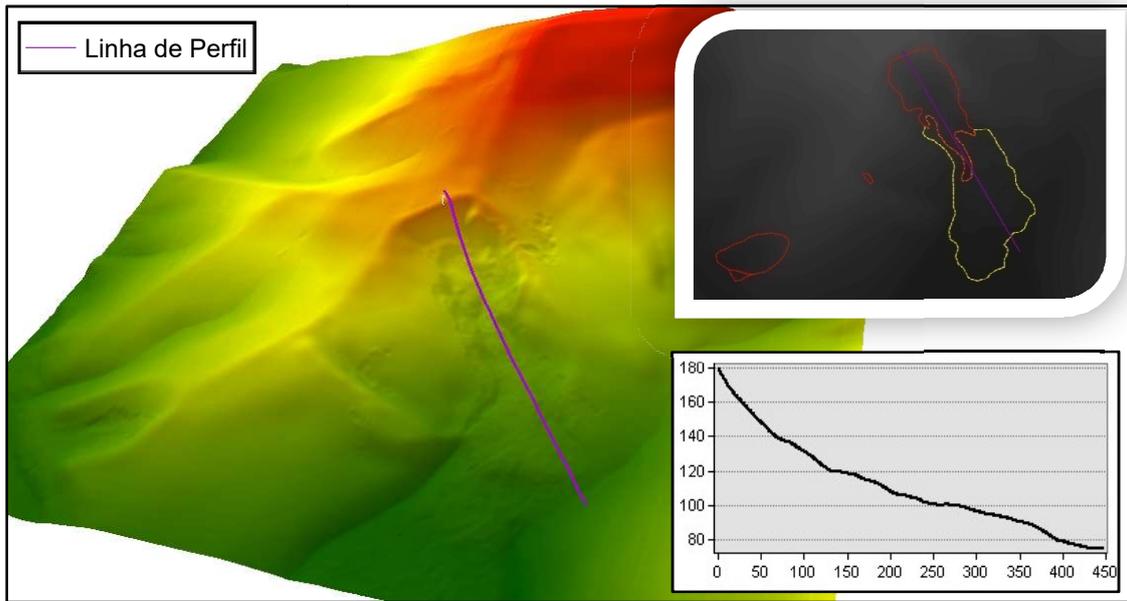


Figura 57 - Tentativa de visualização da mesma cicatriz com base do MDT disponibilizado, contando com a análise de perfil que não apresenta qualquer linha clara de ruptura.

Com o uso do MDS e a percepção da rugosidade do terreno nota-se que há uma diferença na altura geral (que pode ser atribuída à vegetação). Nota-se a evidência de uma ruptura marcante na porção final do perfil, conforme pode ser notado na Figura 58, o que poderia indicar onde de fato se daria o limite da cicatriz mapeada.

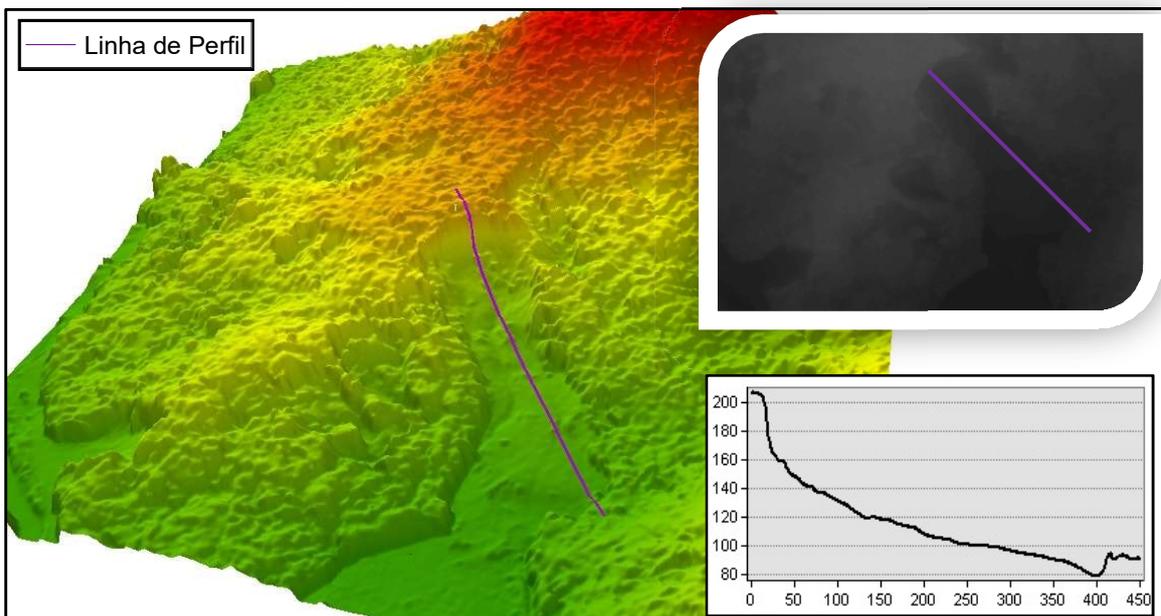


Figura 58 - Visualização do mesmo perfil no MDS, onde nota-se uma linha clara de ruptura que pode ser atribuída ao porte da vegetação da área (ignorado no MDT).

Levando em conta o fato de que, mais do que a delimitação das cicatrizes, os procedimentos realizados buscam uma base para estimativa de volume de perda de solo nas áreas afetadas, o cálculo não poderia considerar a diferença de altimetria proveniente de elementos como vegetação e edificações que compõem o modelo de superfície, embora neste a visualização seja mais clara. Por este motivo procedeu-se à extração da diferença entre o MDT e o MDS, que resultou num produto ainda mais claro em relação ao limite das cicatrizes (Figura 59).

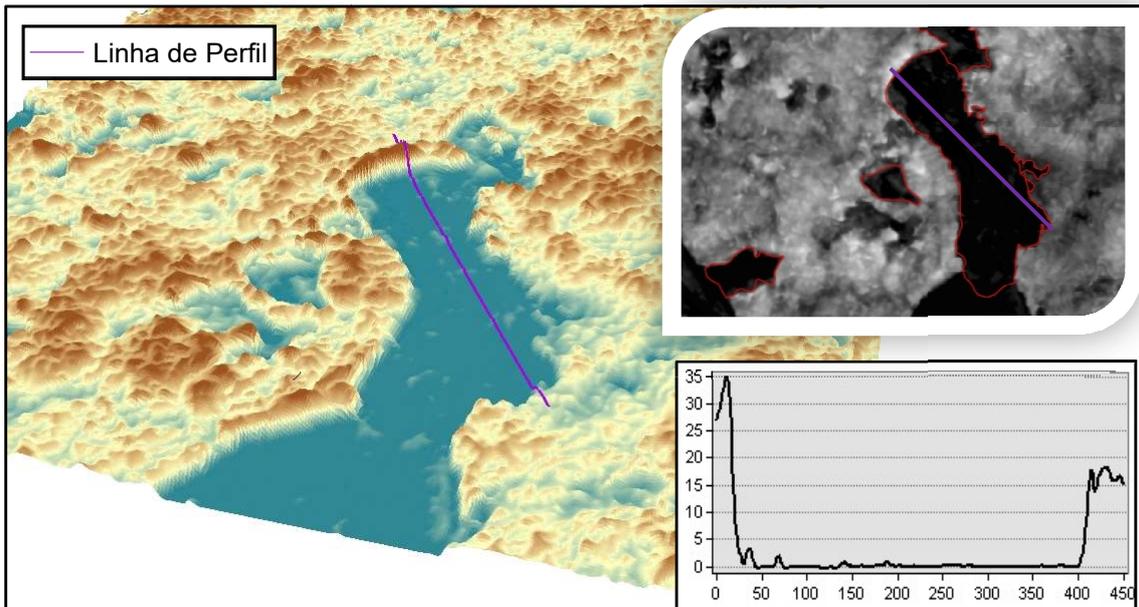


Figura 59 - Resultado do cálculo da diferença entre MDT e MDS onde se ressaltam as áreas as áreas onde de fato há um rebaixamento, evidenciando as rupturas no perfil topográfico analisado.

A grande diferença de suavização atribuída às classes de vegetação mais alta pode ser notada de forma ainda mais marcante em associação com o uso mapeado, onde nota-se uma grande variação média em relação às demais classes, tanto nas áreas de vegetação natural quanto de silvicultura, conforme a Figura 60.

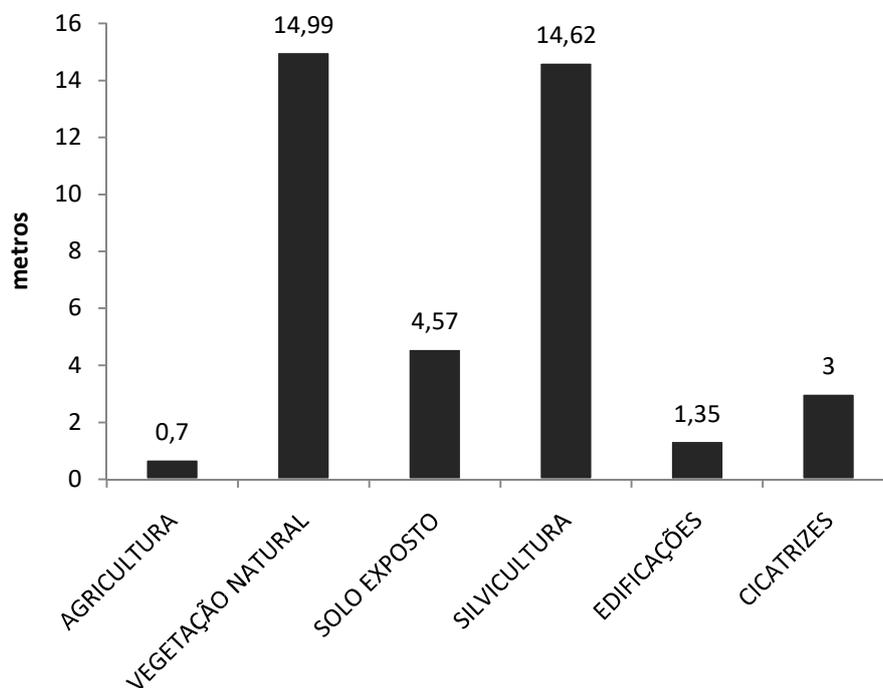


Figura 60 - Diferença na Subtração MDS - MDT conforme as classes de uso, nota-se que justamente as classes de maior "porte" correspondem as maiores diferenças.

Considerando a diferença entre o MDT e o MDS para estimativa do volume, a área classificada como cicatriz foi extraída a partir de uma máscara (Figura 61), visando à configuração de zonas sem informação. Em seguida foi realizada uma interpolação



para simular o que seria a superfície anterior aos deslizamentos que deram origem às feições mapeadas, conforme a Figura 62.

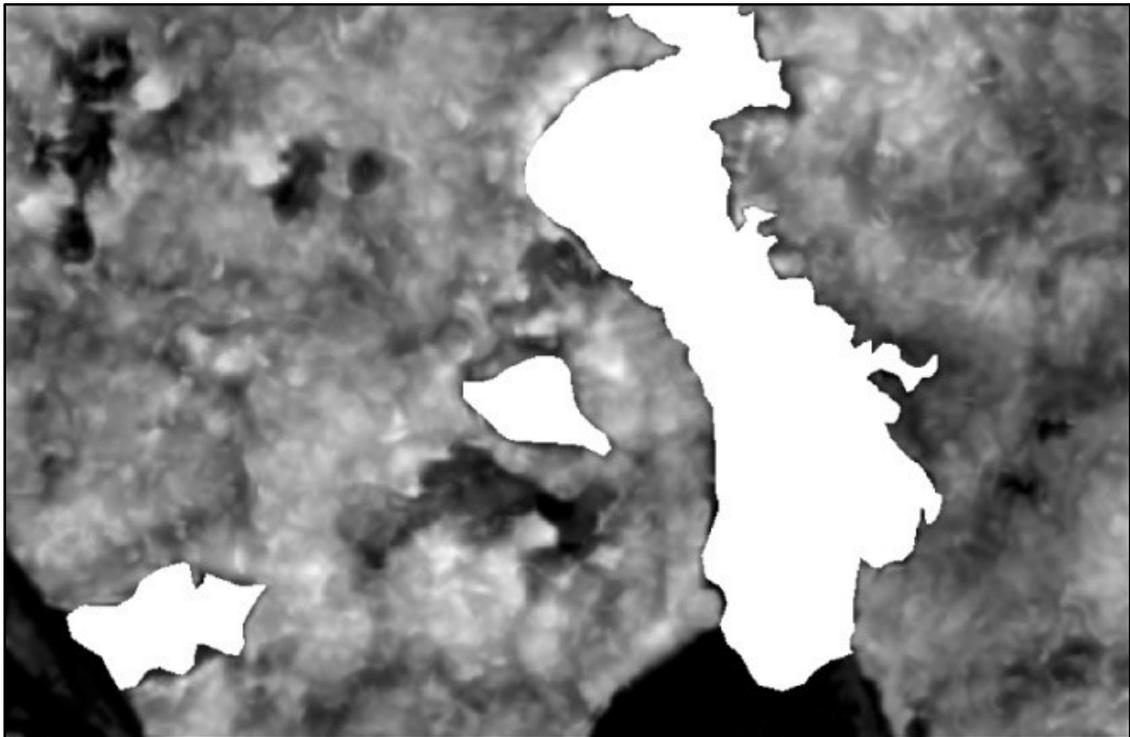


Figura 61 - Extração das cicatrizes mapeadas a partir de máscara.

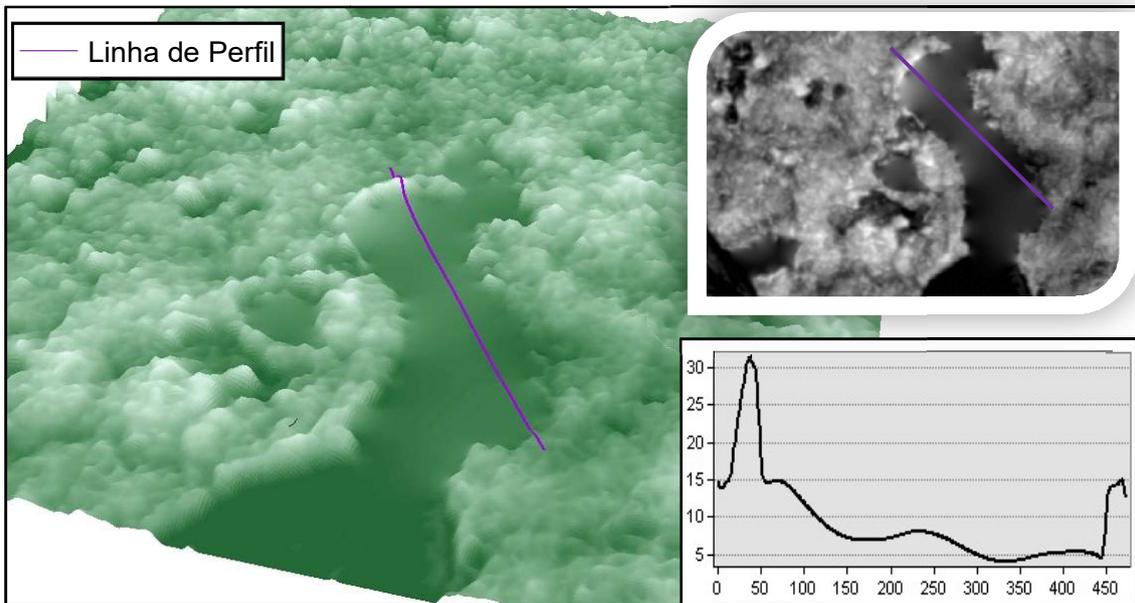


Figura 62 - Interpolação das áreas extraídas para simular uma superfície anterior aos deslizamentos ocorridos.

Deste modo, a área detectada como cicatriz foi preenchida artificialmente, possibilitando assim simular um “antes e depois”(Figura 63) que se aproximaria do volume perdido pela movimentação do material. O volume passa a ser então a zona negativa do perfil, ou seja, a área que sofre a perda de solo a partir da movimentação gravitacional. Esta informação passa a ser usada como mais um indicador de credibilidade para o modelo de predição adotado, considerando que se espera uma



perda maior de volume nas zonas classificadas como mais susceptíveis. A álgebra de mapas realizada é simbolizada na Figura 64.

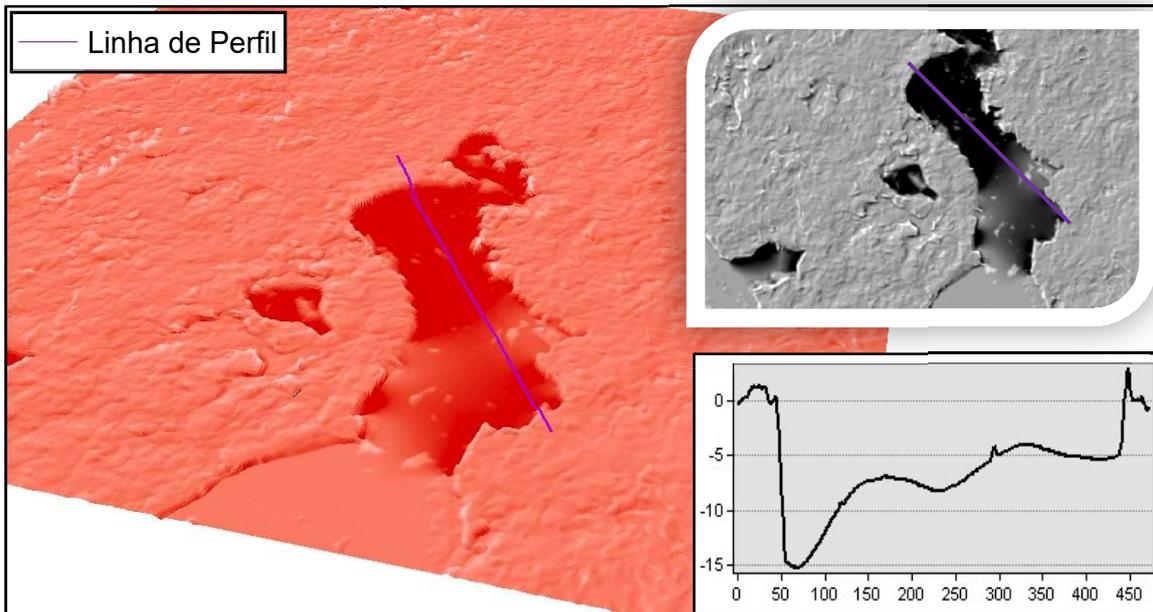
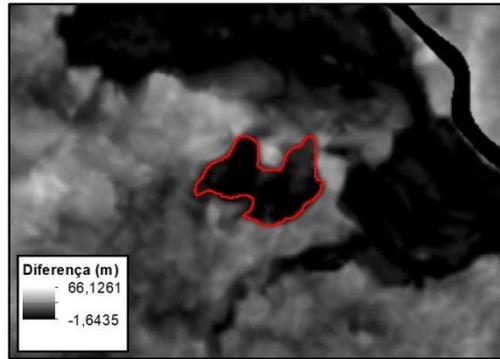


Figura 63 - Diferença entre as superfícies "antes" e "depois" das ocorrências mapeadas como cicatrizes de deslizamento.

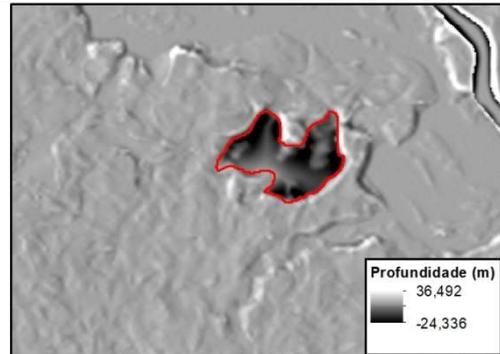
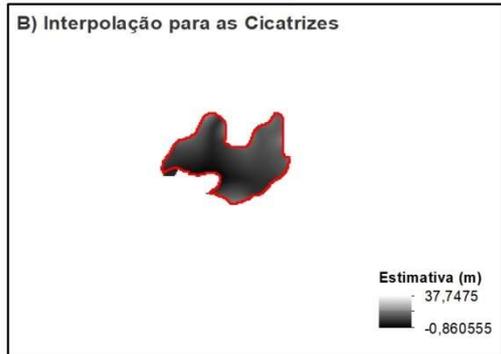
Conforme a sequência abaixo (Figura 64) a imagem correspondente ao MDS foi subtraída do MDT para gerar apenas o realce correspondente às feições identificadas como cicatrizes. (Figura A) Num segundo momento estas feições foram retiradas a partir de uma máscara binária e as áreas apagadas foram interpoladas para simular uma cobertura do que seria o terreno sem a deflagração dos prováveis deslizamentos (Figura B). Estas áreas anteriores às cicatrizes foram re-inseridas e foi realizada uma segunda subtração para detectar a diferença entre a cobertura interpolada e a real profundidade do MDT gerando um resultado onde os valores permitiram o cálculo do volume relativo em ambiente ArcGIS (Figura C).



A) MDT - MDS (Diferença)



C) Interpolação - Diferença



0 25 50 100 Meters

Projeção Transversa de Mercator
Datum WGS 84 22 Zona Sul

Figura 64 - Representação esquemática da álgebra de mapas realizada para o procedimento do cálculo de volume.

O mapeamento das cicatrizes considerando o cálculo do volume de solo perdido gerou os resultados expressos na Figura 65, onde nota-se que a maioria dos casos mapeados ocorre de fato em áreas de porte arbóreo elevado e zonas de vegetação natural.

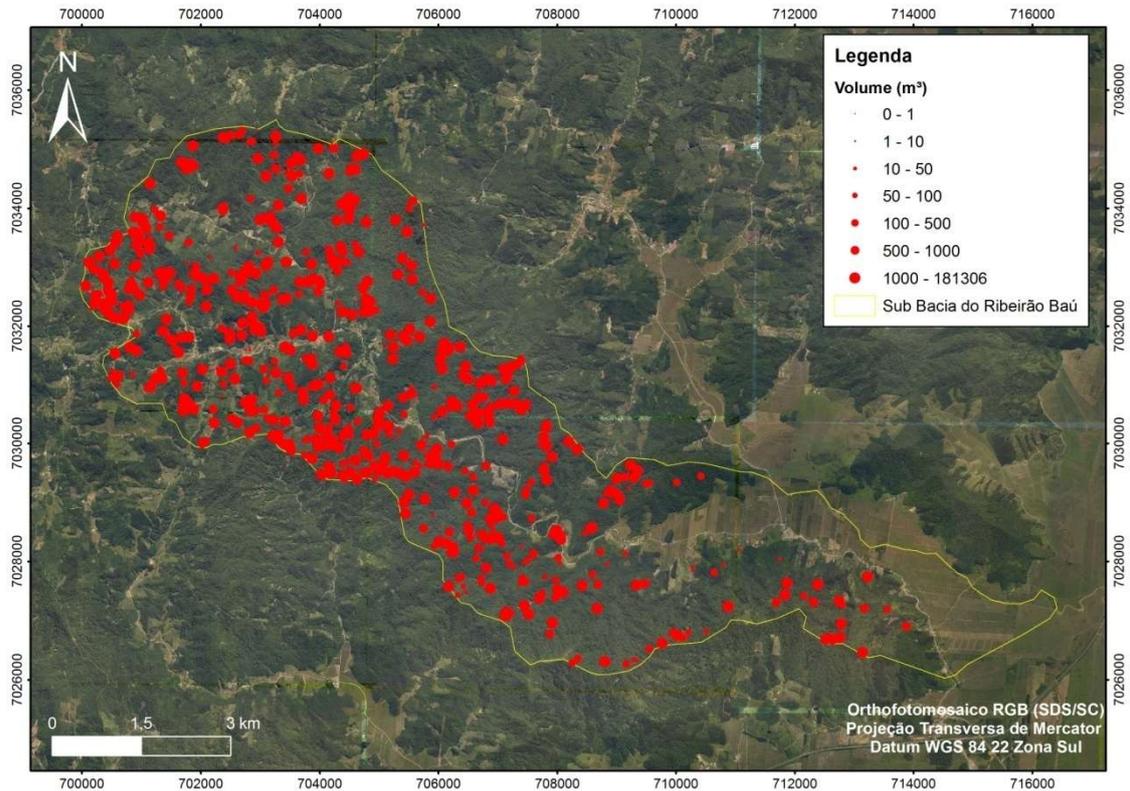


Figura 65 - Representação pontual das ocorrências de cicatrizes associadas a movimentos gravacionais de massa classificadas de acordo com a estimativa de volume de solo mobilizado.

Considerando valores de corte para as cicatrizes mapeadas nota-se que grande parte dos polígonos situa-se na classe de volume inferior a 1 m³ e na classe superior a 1.000 m³ (Figura 66). A grande presença de cicatrizes com volume de movimentação de solo elevado vai de encontro às características do solo da região, em grande parte com profundidade média superior a 2 metros de profundidade e à magnitude dos eventos recentes, já que grande parte da área afetada não havia sido recomposta no período de captação das imagens e, portanto, realmente, corresponderiam a um volume de solo mobilizado significativo.

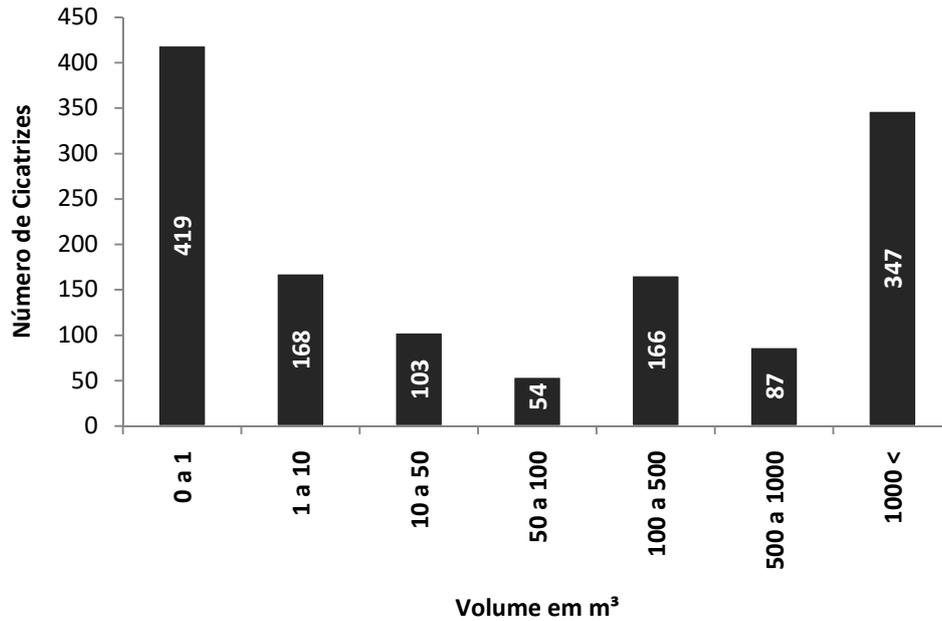


Figura 66 - Número de cicatrizes conforme a hierarquização do volumes mobilizados.

Uma análise foi realizada visando aprimorar a simulação e trazer uma relação direta entre a chuva e a presença das áreas de instabilidade em um contexto onde seja possível utilizar dados de acurácia mais refinada. Considerando um procedimento semelhante ao que foi realizado para toda a Bacia no Rio Itajaí, as métricas zonais apontam uma tendência geral na série de 2004 a 2014 para as estações pluviométricas analisadas, conforme a Tabela 9. As maiores acumulações diárias se deram justamente nas áreas de maior volume mobilizado, como é possível notar na Figura 67, havendo um discreto aumento das médias e uma diminuição dos valores de desvio padrão nas áreas vetorizadas como cicatriz e destas em relação a toda bacia.

Tabela 9 - Estimativa das médias de precipitação diária com base nas estações pluviométricas analisadas na série de 2004 a 2014 considerando as classes de volume estabelecidas e a área total da Sub-Bacia do Ribeirão Baú (em mm/dia).

VOLUME (m³)	MIN	MAX	MÉDIA	DESVIO
1000 <	4,81	5,07	4,96	0,05
500 a 1000	4,82	5,07	4,95	0,06
100a500	4,81	5,07	4,94	0,06
50a100	4,81	5,06	4,92	0,06
10a50	4,81	5,06	4,92	0,06
1a10	4,81	5,07	4,93	0,06
Sub-Bacia Baú	4,8	5,07	4,93	0,07

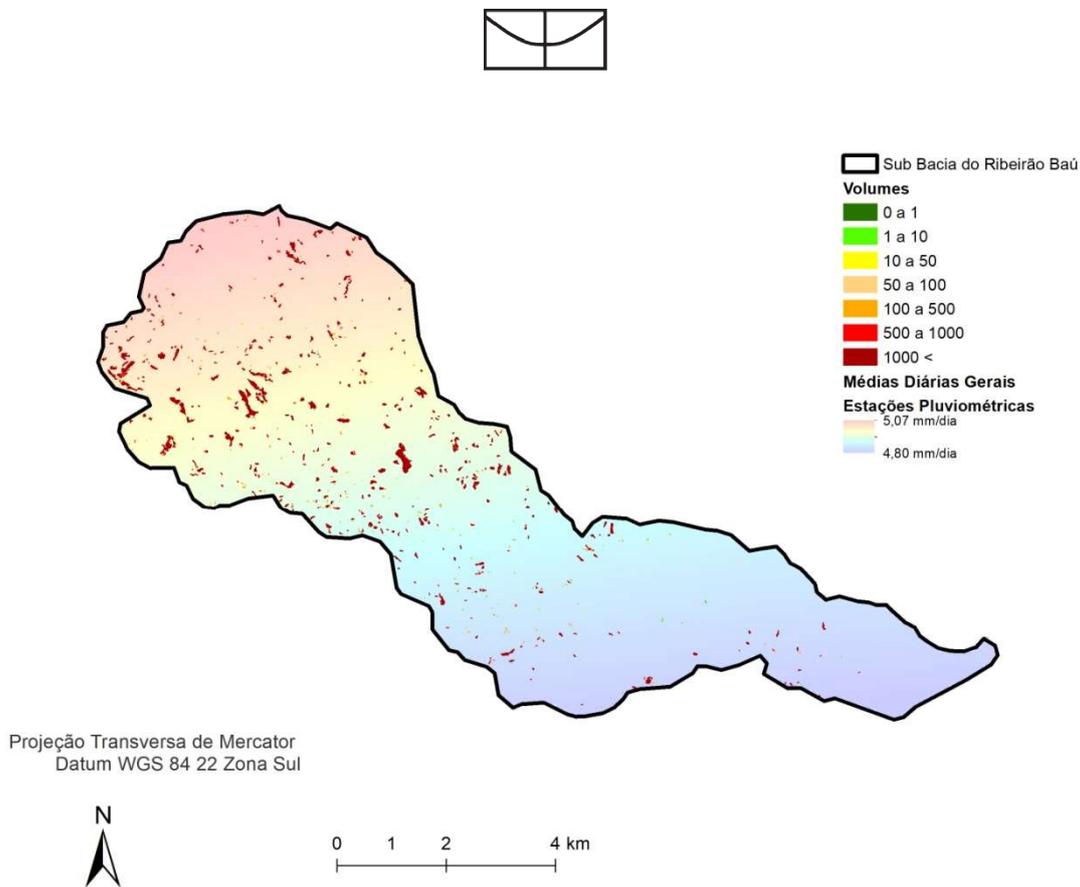


Figura 67 – Distribuição das cicatrizes mapeadas conforme as classes de volume em relação às médias pluviométricas diárias das estações em terra no período de 2004 a 2014.

Considerando os valores mensais para o mês de Novembro de 2008 as estações apresentam um padrão bastante semelhante aos valores diários gerais, conforme é possível notar na Figura 68. Na Tabela 10 observa-se que o valor médio mensal é mais elevado e o desvio passa a ser menos significativo conforme são consideradas as classes mais expressivas no que compete aos valores de volume estimados.

Tabela 10 - Estimativa das médias de precipitação mensal com base nas estações pluviométricas analisadas no mês de Novembro de 2008, considerando as classes de volume estabelecidas e a área total da Sub-Bacia do Ribeirão Baú (em mm/mês).

VOLUME (M³)	MIN	MAX	MÉDIA	DESVIO
1000 <	187,72	200,58	194,8	2,4
500 a 1000	188,33	200,51	194,12	2,95
100a500	187,62	200,65	193,57	2,75
50a100	197,69	200,21	192,92	2,77
10a50	188,15	200,52	192,96	2,68
1a10	187,77	200,51	193,28	2,72
Sub-Bacia Baú	187,43	200,83	193,36	3,43

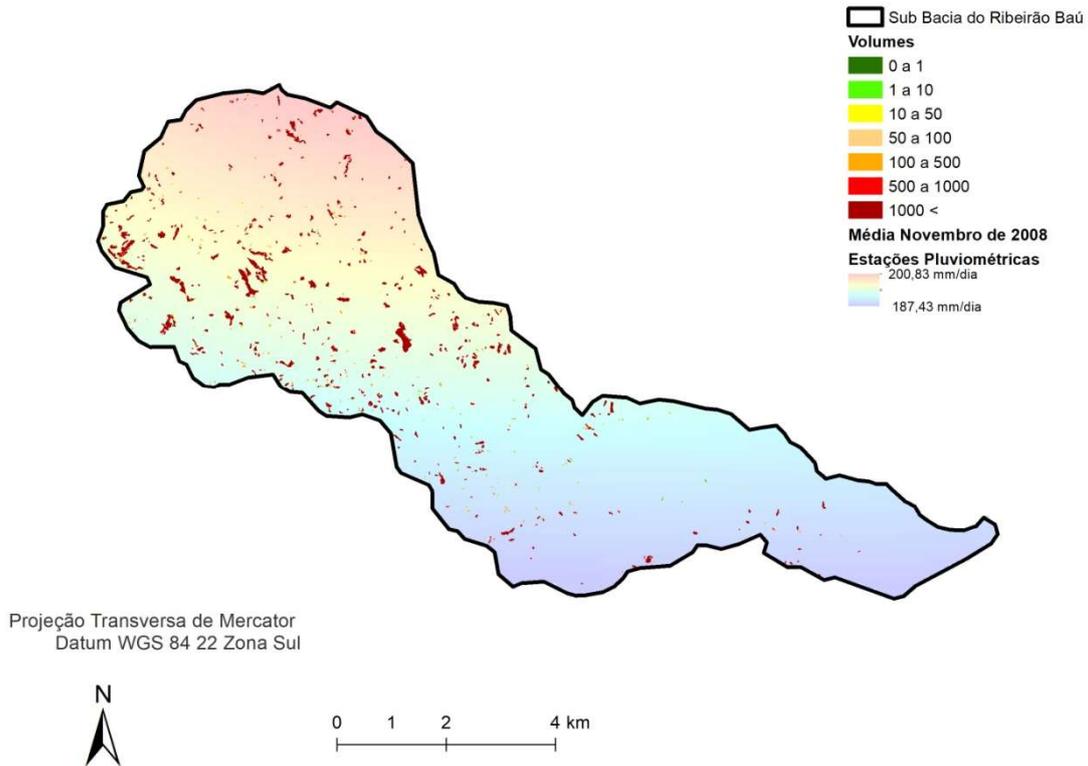


Figura 68 - Distribuição das cicatrizes mapeadas conforme as classes de volume em relação às médias pluviométricas mensais das estações em terra no mês de Novembro de 2008.

4.4 ANÁLISE DE PRECISÃO

Em se tratando da modelagem SHALSTAB orientada para o cálculo da coesão crítica, foi utilizado como entrada o dado das estações para o dia 23/11/2008 para simular uma situação do dia mais crítico. O resultado da modelagem está expresso graficamente na Figura 71 e uma análise preliminar indica um nível de acerto considerável. Num cruzamento direto a correspondência indicada pelo modelo se deu num grau elevado de sucesso onde um total de 97% da área foi interceptada considerando um percentual de 22% de instabilidade em relação à extensão total da sub-bacia, como pode ser observados na Figura 69 e na Figura 70.

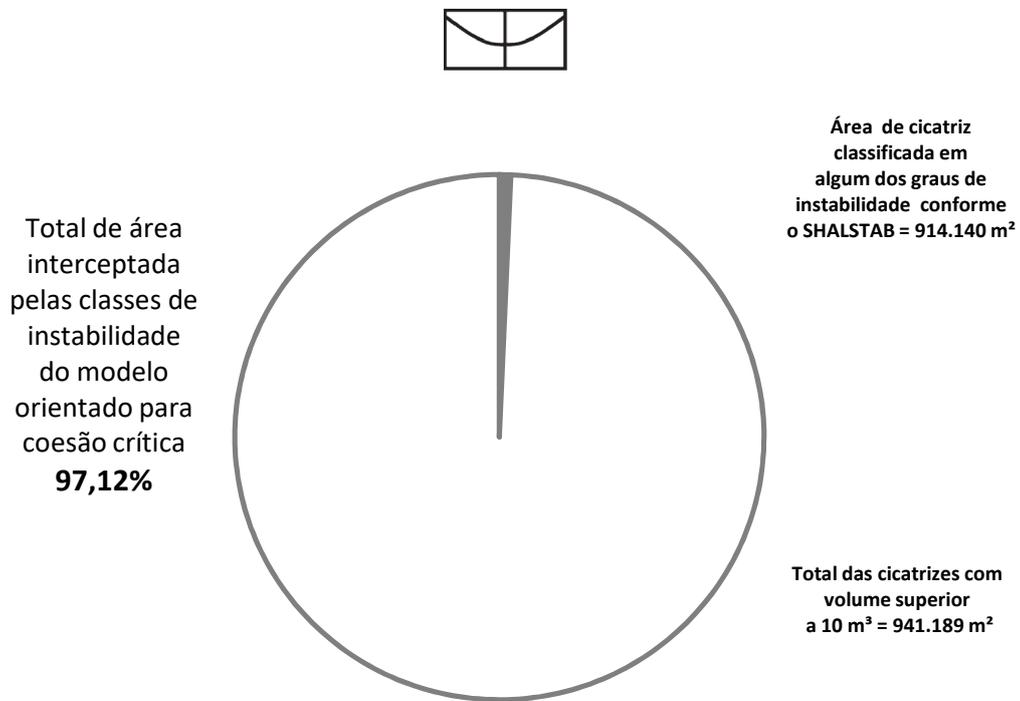


Figura 69 - Correspondência entre as áreas de susceptibilidade previstas pelo SHALSTAB orientado para coesão e as áreas de cicatriz com volume superior a 10m³ considerando o período de 15 a 25 de novembro.

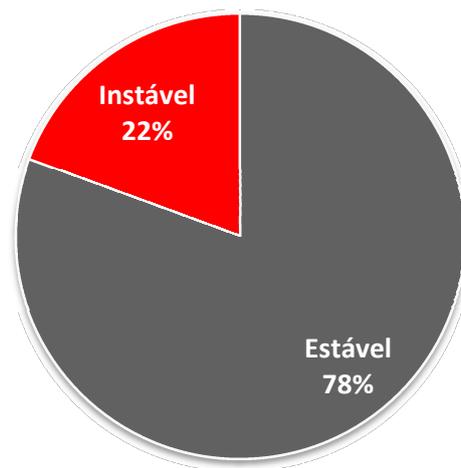


Figura 70 - Percentual de pixels considerados instáveis considerando a coesão de 15 a 25 de novembro em toda extensão da Sub-Bacia do Ribeirão Baú.

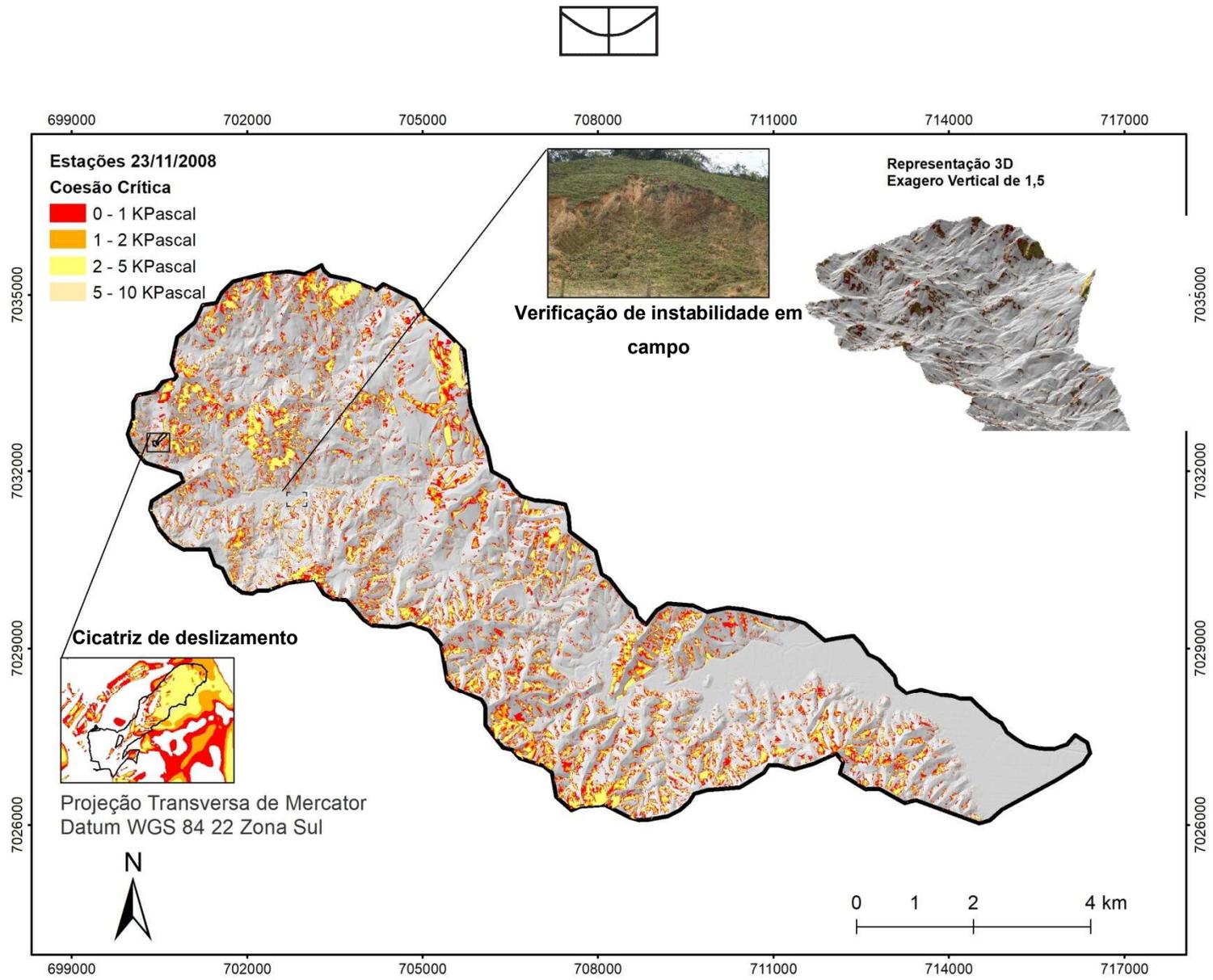


Figura 71 – Aplicação do algoritmo SHALSTAB para a Sub-Bacia do Ribeirão Baú considerando o cálculo da coesão crítica a partir de dados pluviométricos do período de 15 a 25 de novembro de 2008 da plataforma TRMM (3B42), corrigidos a partir do quociente SSC para Novembro de 2008.



A Figura 72 demonstra a distribuição das classes de coesão crítica por área em relação à sub-bacia do Ribeirão Baú, corroborando com a realidade da zona em questão que, conforme a intensidade dos eventos recentes e os resultados obtidos em estudos anteriores é, de fato, uma região de altíssima susceptibilidade de modo geral. Conforme o levantamento, aproximadamente 22% da área total da bacia seria incapaz de resistir a um elevado nível pluviométrico diário e um total de aproximadamente 78% por cento seria capaz de suportar índices de precipitação superiores, considerando uma área total de aproximadamente 57 km². Entretanto, como citado anteriormente, o cenário ideal seria o de restringir o número de áreas consideradas instáveis levando em conta a coesão crítica para a condição pluviométrica da série que se deseja analisar.

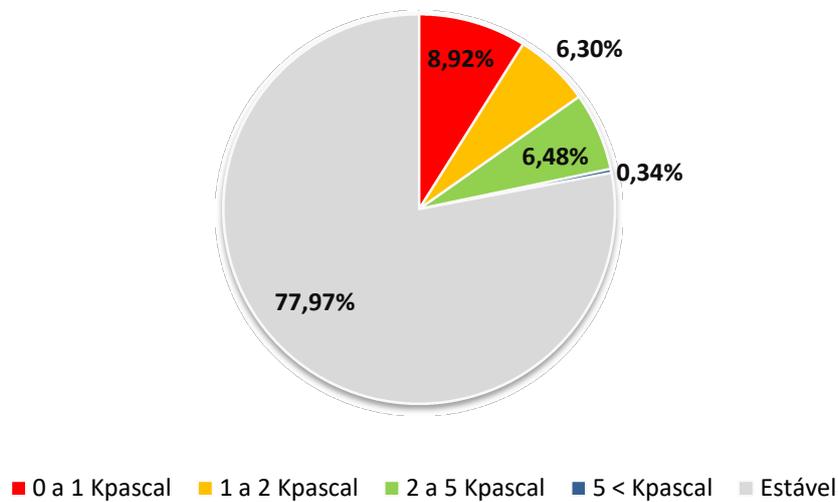


Figura 72 - Distribuição das classes de susceptibilidade (MDT) por área em relação à Sub-bacia do Ribeirão Baú.

Numa análise de precisão geral, onde a simples relação pontual é considerada um acerto, nota-se que a suposição inicial de que o número áreas instáveis interceptaria de modo diretamente proporcional as cicatrizes conforme o aumento do volume seria de fato verdadeira, conforme expresso nas figuras Figura 73 e Figura 74 que trazem um quantitativo das áreas interceptadas em relação ao MDT. Ressalta-se que neste tipo de correlação não é possível saber precisamente sobre a zona de ruptura e extensão do processo de movimentação de massa, sendo a cicatriz um simples indicativo de tendência que demonstra uma área de instabilidade, não sendo necessariamente determinante para as previsões.

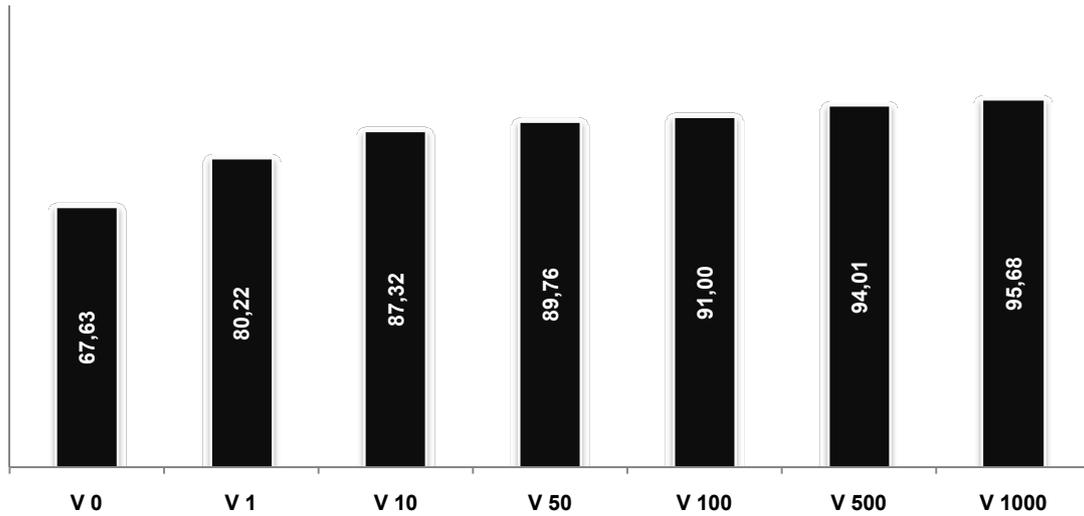
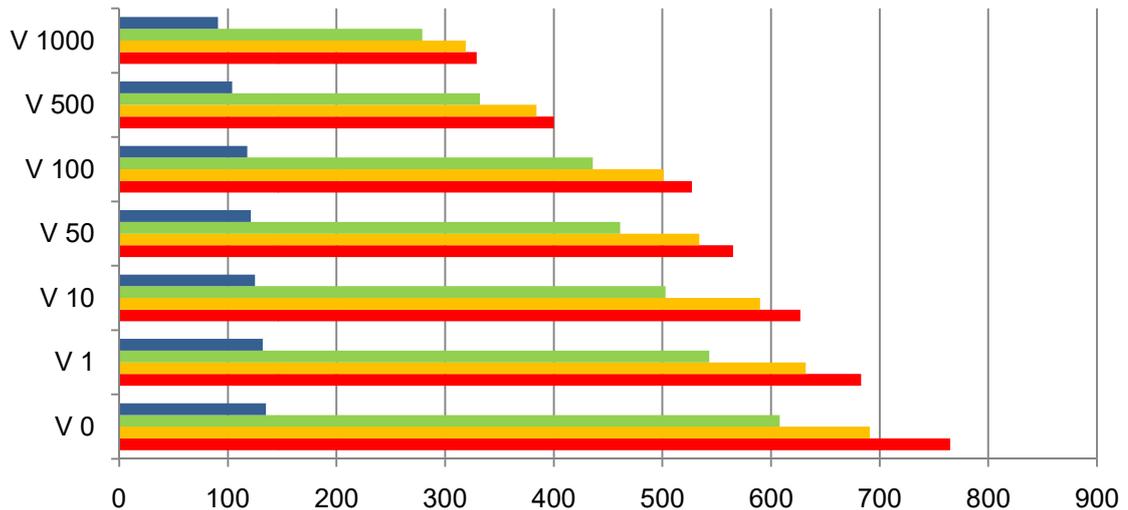


Figura 73 - Percentual de cicatrizes mapeadas em coincidência com as áreas consideradas instáveis conforme as classes de volume.



	V 0	V 1	V 10	V 50	V 100	V 500	V 1000
■ 5 kpasal <	135	132	125	121	118	104	91
■ 2 a 5 Kpasal	608	543	503	461	436	332	279
■ 1 a 2 Kpasal	691	632	590	534	501	384	319
■ 0 a 1 Kpasal	765	683	627	565	527	400	329

Figura 74 - Classes de risco x número de cicatrizes mapeadas por volume (MDT)

A simples análise de precisão por correspondência de área não representa um nível de precisão suficiente, em especial por ignorar a taxa de alarmes falsos (falsos positivos) que, via de regra, tem sido um problema na gestão e implementação nas experiências de sistema de alerta em território brasileiro. Obviamente a taxa de precisão, considerando estes fatores, não é considerada ótima ou elevada dado que, conforme citado na literatura, este tipo de análise possui um nível de erro inerente. Deste modo, lançou-se mão do coeficiente Kappa para estimar a acurácia de modo mais exato, levando em conta não apenas uma correspondência simples, mas



inserindo na análise os falsos positivos e negativos que também tem peso a nível analítico para tomada de decisão.

A Figura 75 apresenta a taxa de acerto global, considerando a análise de pontos da malha amostral para as categorias estável e instável. Nota-se que no E1 (que corresponde aos dados iniciais de entrada conforme o levantado por Sbroglia, 2016), a taxa de acerto global alcança do nível de 80% de precisão o que pode ser considerado um sucesso, já que a taxa considera amostras em duas classes de maneira equânime (30 pontos em cada), sem considerar a proporção entre áreas que deveria ser muito maior para as áreas instáveis, considerando mais pontos para a análise e, portanto, uma taxa de acerto mais significativa. Nota-se ainda que duas das classes do ensaio alcançaram níveis de acurácia global semelhantes aos do dado de referência, sendo eles o ensaio de número E11 e E20. Ambos consideram dados de profundidade do solo de 1 metro e ângulo de atrito de 25°, sendo que a única mudança está na densidade (1,5 g/cm³ e 2 g/c³ respectivamente). Nota-se assim que os parâmetros de solo tem sua contribuição para a deflagração dos movimentos de massa, mesmo nas condições de chuva mais extrema.

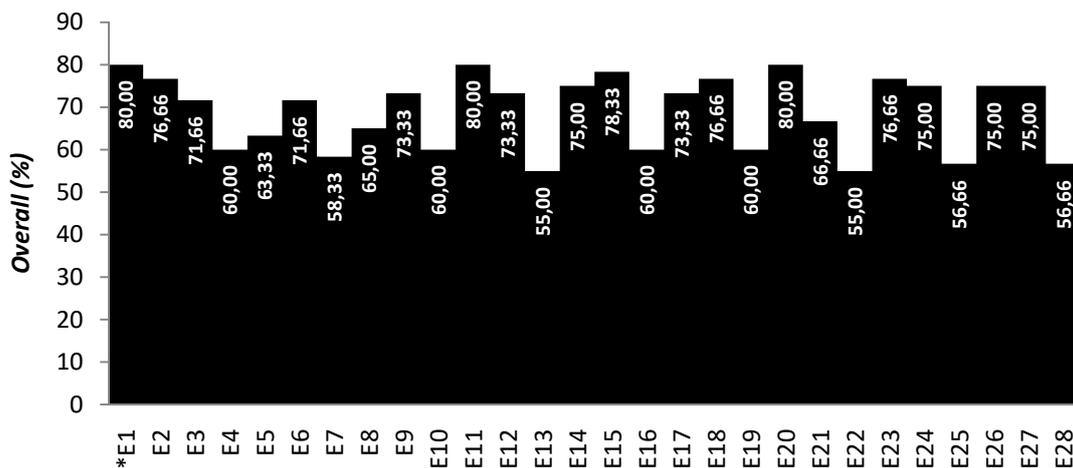


Figura 75 - Overall (Taxa de acerto global) para as amostras analisadas na matriz de confusão considerando 28 diferentes combinações de parâmetros de solo. *O ensaio E1 corresponde aos dados de referência extraídos de Sbroglia (2016)

A acurácia para os parâmetros de referência conforme o coeficiente Kappa (Figura 76) tem uma correspondência substancial com os pontos de controle, assim como nos dois ensaios de maior taxa de acerto global. Considerando todos os modelos gerados o índice Kappa variou de 0,1 nos ensaios 13 e 22 a 0,6 nos ensaios 11 e 20. Dentre os piores resultados têm-se em comum a definição do ângulo de atrito em 45° que reduz bastante a área mapeada como susceptível conforme a coesão. Observa-se que o ângulo de atrito estipulado em 25° obteve os melhores desempenhos, bem como a densidade estipulada em 1,5 g/cm³ e a profundidade de 1 metro. A Figura 77 apresenta a curva da taxa de sucesso do coeficiente Kappa conforme os dados de entrada estabelecidos a partir da análise combinatória gerada pelo módulo implementado pelo software Abilus GEO para o cálculo do SHALSTAB orientado para a coesão.

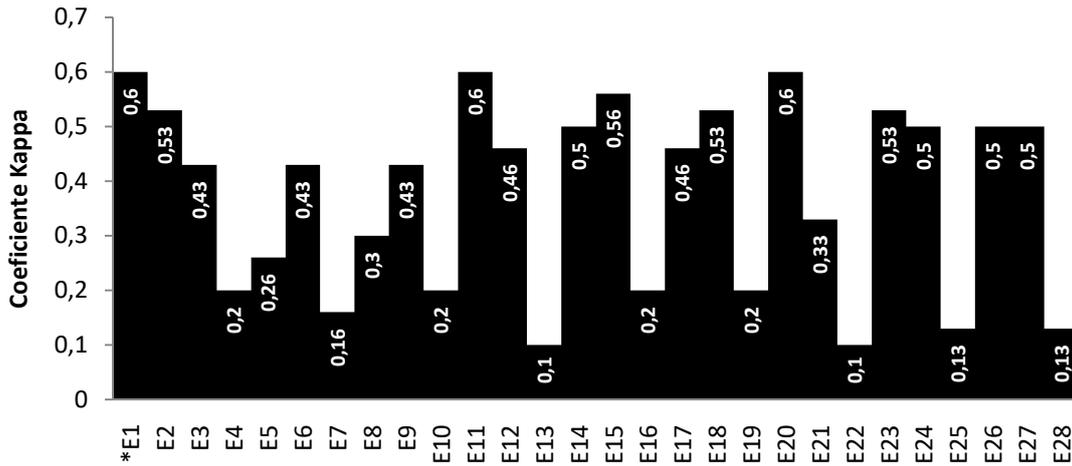


Figura 76 - Coeficiente Kappa calculado a partir das amostras de referência para a malha amostral analisada considerando as áreas instáveis e estáveis na Sub-Bacia do Ribeirão Baú. *O ensaio E1 corresponde aos dados de referência extraídos de Sbroglia (2016)

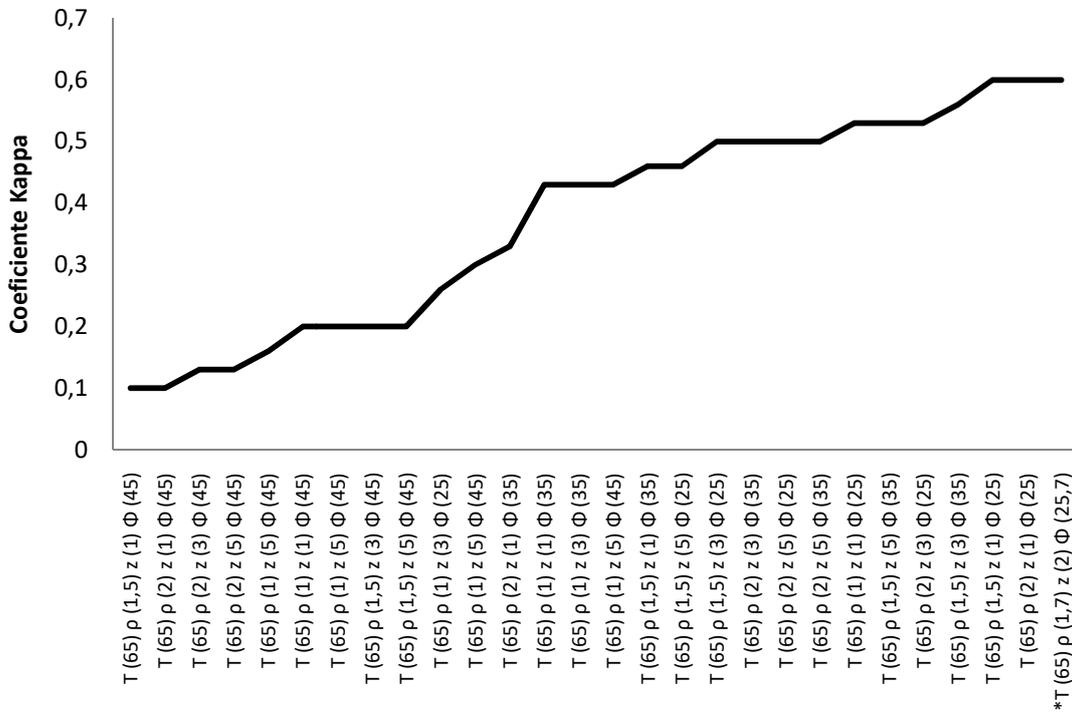


Figura 77 – Relação entre as taxas de sucesso do coeficiente Kappa e os parâmetros de solo definidos para os ensaios conforme os intervalos pré-definidos. Observa-se que os dados utilizados como referência* estão entre os de maior taxa de acurácia em relação às amostras analisadas.

Ainda que com potencial a ser explorado, é possível afirmar que este tipo de análise auxilia no aumento da efetividade das previsões considerando que as taxas de erro poderão ser sensivelmente diminuídas levando-se em conta as possibilidades de ocorrência numa análise espacial de probabilidade pixel a pixel que, numa dimensão de gestão territorial efetiva, pode fazer a diferença na definição de futuros sistemas de alerta e definição de áreas de controle e monitoramento de menor extensão o que implicaria em menor custo financeiro e social.



5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na primeira parte desta pesquisa foram gerados resultados que expressaram um determinado grau de compatibilidade entre os dados pluviométricos satelitários da plataforma TRMM 3B43 e os dados de estações pluviométricas monitorados em terra. Em termos gerais, considerando as áreas de instabilidade na região estudada, as tendências de distribuição da pluviometria podem ser consideradas fiéis, com exceção dos eventos mais extremos que fogem ao padrão esperado e vão contra a inerente suavização que aumenta proporcionalmente ao intervalo de análise. Para os períodos mais chuvosos a tendência é de que as médias sejam mais elevadas nas áreas onde a instabilidade mapeada é mais alta, sendo possível notar um padrão de comportamento que explicita a relação chuva x deslizamentos.

Num segundo momento, foi tentada uma amenização das discrepâncias identificadas entre as séries pluviométricas de longo prazo, identificadas principalmente nos eventos mais extremos. Dentre estes se destaca o ocorrido em Novembro de 2008, que serviu de base para a análise dinâmica da estabilidade do terreno considerando os dados satelitários do produto 3B42, que corresponderiam a uma simulação à época do evento catastrófico. Considerando o uso do algoritmo SHALSTAB e o uso de dados gerais na Bacia do Rio Itajaí foi possível identificar a área potencialmente mais afetada entre os dias 15 e 25 de Novembro de 2008 conforme a coesão crítica mensurada a partir dos valores diários de precipitação. Após esta etapa, foi realizada uma análise mais aprofundada na área onde se detectou a presença mais intensa dos eventos de instabilidade, considerando-se como recorte a Sub-Bacia do Ribeirão Baú. Nesta área foi realizado um esforço para o refinamento das informações de validação visando uma simulação mais precisa.

A detecção das áreas de instabilidade a partir dos procedimentos adotados permitiu registrar um grau de correspondência satisfatório entre as zonas potenciais e as cicatrizes que denotam um grau de certeza em relação à ocorrência dos deslizamentos. Este aperfeiçoamento permitiu interceptar grande parte das áreas de validação considerando, aumentando a precisão e diminuindo sensivelmente o índice de zonas que, embora devam ser observadas, não necessariamente devem sofrer intervenção em todos os eventos.

A utilização de dados de sensoriamento remoto em estudos de estabilidade pode viabilizar o desenvolvimento de um sistema operacional de alerta em escalas regionais e não apenas em locais específicos que sejam privilegiados por um aparato dispendioso e nem sempre disponível. É possível ainda compatibilizar o uso de dados de sensoriamento remoto de menor escala juntamente com dados *in-situ* mais detalhados para simular condições reais de deslizamento de terra. O resultado final de refinamento considerou a conjugação destes dois tipos de dado e alcançou o objetivo geral ao associar o uso do algoritmo SHALSTAB aos dados satelitários em diferentes escalas de análise.



Baseado em protótipos desenvolvidos e experiências realizadas em estudos anteriores no mundo inteiro ao longo dos últimos anos, um sistema de alerta que poderá ser proposto com base neste trabalho integrando três componentes principais:

- Mapeamento de suscetibilidade e um componente de identificação de hotspot baseado em uma base de dados geoespacial de superfície terrestre (no caso um inventário local de deslizamentos de terra e o MDT com resolução compatível);
- Sistema de monitoramento de precipitação por satélite considerando um modelo de simulação de precipitação (no caso o produto GPM que sucede o TRMM e apresenta melhor resolução espacial e temporal); e
- Modelo de previsão de deslizamento de terra, que possa se basear na precipitação como dado de entrada (tal como o SHALSTAB quando orientado para o cálculo da coesão crítica).

Experiências como esta são interessantes para reforçar que há potencial de uso efetivo desde que sejam considerados alguns fatores importantes. Os parâmetros de solo são dinâmicos e específicos para cada área e podem melhorar muito uma avaliação a nível estadual, regional ou nacional quando disponíveis em escala minimamente compatível. A avaliação pode ser ainda melhorada se houver disponibilidade de informações adicionais sobre a observação dos deslizamentos (por exemplo, o tempo de falha para cada deslizamento de terra, área e volume).

Um outro ponto chave é que a validação (quase sempre realizada com com uma pequena quantidade de eventos) deve ser a mais abrangente possível a fim de possibilitar a compreensão da precisão e do desempenho do modelo, devendo-se considerar, inclusive, inventários e eventos adicionais de deslizamento de terra que possam ser testados.

Teoricamente, a disponibilização de uma plataforma integrada com o objetivo final de estruturar a implantação de uma ferramenta de monitoramento em tempo real para as zonas criticamente susceptíveis a deslizamentos em todo o território brasileiro seria um objetivo ambicioso. No entanto, o avanço das metodologias voltadas à integração entre as ferramentas de geoprocessamento e os ambientes *web* possibilitam afirmar que este tipo de iniciativa, embora demande bastante conhecimento técnico, é perfeitamente executável em âmbito nacional e poderá proporcionar um ganho relevante no que diz respeito a antecipação destes fenômenos catastróficos. Existem diversas soluções (gratuitas e proprietárias) que possibilitam o compartilhamento deste tipo de informação e seu uso é hoje amplamente divulgado entre as diversas esferas governamentais do planeta e mesmo entre a sociedade civil.



6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADLER, R. F.; KUMMEROW C.; BOLVIN, D.; CURTIS, S.; KIDD, C. (2003) **Status of TRMM monthly estimates of tropical precipitation**. Cloud Systems, Hurricanes, R. F. and the Tropical Rainfall Measuring Mission. TAO, W. K.; ADLER, R. F. Eds: Amer. Meteor. Soc., Boston, MA, Estados Unidos, pp. 223–234.
- AGUIRRE, L. A. (2007) **Introdução à identificação de sistemas: técnicas lineares e não-lineares aplicadas a sistemas reais**. 3 ed. Belo Horizonte: Editora UFMG. Minas Gerais, 730 p.
- ALVES, K. S. D. (2017). **Validação da precipitação estimada pelos produtos 3b42 e 3b43 do trmm sobre a Reserva Biológica Jarú – RO**. Dissertação de Mestrado. UFMT/UF/PPFA.
- ALEOTTI, P.; CHOWDHURY, R. (1999) **Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives**. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 58(1), pp. 21-44.
- ALMAZROUI, M. (2011) **Calibration of TRMM rainfall climatology over Saudi Arabia during 1998-2009**. Atmospheric Research, 99(3–4), pp. 400–414.
- ANDERSON, L.; ARAGÃO, L.; ARAI, E. (2013) **Avaliação dos dados de chuva mensal para a região Amazônica oriundos do satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) produto 3b43 versões 6 e 7 para o período de 1998 a 2010**. Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto, v.16, p. 6743-6750.
- ANDERS, A.; NESBITT, S.W. (2015) **Altitudinal precipitation gradients in the tropics from Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Precipitation Radar**. J. Hydrometeor. 16, p. 441–448.
- ARISTIZÁBAL, E.; GARCÍA, E.; MARTÍNEZ, C. (2015) **Susceptibility assessment of shallow landslides triggered by rainfall in tropical basins and mountainous terrains**. Natural Hazards, 78(1), pp.621–634.
- BAUM, R. L.; SAVAGE, W. Z.; GODT, J. W., (2002). **TRIGRS – A fortran program for transient rainfall infiltration and grid-based regional slope-stability analysis**. U.S. Geological Survey Open-File Report 02-0424, 27 p.
- BAUZYS, F. (2010) **Identificação, análise e mapeamento dos movimentos de massa ocorridos em novembro de 2008, no alto da bacia do ribeirão Belchior, Gaspar-SC**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 237 p.
- BEGUERÍA, S. (2006a). **Validation and evaluation of predictive models in hazard assessment and risk management**. Natural Hazards, 37(3), pp. 315–329.
- BEGUERÍA, S. (2006b) **Changes in land cover and shallow landslide activity: A case study in the Spanish Pyrenees**. Geomorphology, 74(1–4), pp. 196–206.
- BEVEN, K. J.; KIRKBY, M. J.(1979) **A Physically Based, Variable Contributing Area Model of Basin Hydrology**. Bulletin of Hydrological Sciences, 24, pp. 43-69.
- BLEDSON, B. P.; WATSON, C. C. (2001) **Logistic analysis of channel pattern thresholds: meandering, braiding, and incising**. Geomorphology 38 (3–4), pp. 281–300.
- BLIJENBERG, H., (1998) **Rolling Stones? Triggering and Frequency of Hillslope Debris Flows in the Bachelard Valley, Southern French Alps**. Utrecht University, Utrecht.
- BORGA, M.; DALLA FONTANA, G.; DA ROS, D.; MARCHI, L. (1998) **Shallow landslide hazard assessment using a physically based model and digital elevation data**. Environment Geology 35(2–3) pp. 81–88.



BRABB, E.E. (1984) **Innovative approaches to landslide hazard and risk mapping**. In Proceedings of the Fourth International Symposium on Landslides; Canadian Geotechnical Society: Toronto, Canada; Volume 1, pp. 307–324.

BRANCO, R. A. (2007) **Um estudo de caso sobre a sensibilidade do modelo ETA ao domínio e à resolução**. Departamento de Meteorologia, UFRJ, Rio de Janeiro.

BRAND, E.W. (1995) **Keynotepaper: slopeinstability in tropical areas**. In: BELL, D.H. (Ed.). Landslides. Balkema, Rotterdã, Holanda, pp. 2031-2051.

BRAND, E.W.; PREMCHITT, J.; PHILLIPSON, H.B. (1984) **Relationship between rainfall and landslides**. Proceedings of the fourth International Symposium on Landslides, Toronto, vol. 1. Ontario BiTech, Vancouver, Canadá, pp. 377-384.

BRARDINONI, F.; SLAYMAKER, O.; HASSAN, M.A. (2003) **Landslide inventory in a rugged forested watershed**: a comparison between air-photo and field survey data. Geomorphology 54, pp. 179–196.

BRÜGGEMAN, F. (2009) **Percepção de risco: a descoberta de um novo olhar**. Defesa civil de Santa Catarina. Florianópolis, 144p.

BRUNSDON, C.; MCCLATCHEY, J.; UNWIN, D.J. (2001) **Spatial variations in the average rainfall–altitude relationship in Great Britain**: an approach using geographically weighted regression. International Journal of Climatology 21(4), pp. 455-466.

BUI, D. T.; LOFMAN, O.; REVHAUG, I.; DICK, O. (2011) **Landslide susceptibility analysis in the HoaBinh province of Vietnam using statistical index and logistic regression**. Natural Hazards, 59, pp. 1413–1444.

BURROUGH, P. A . (1988) **Digital Elevation Models: Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment**. Monographs on Soil and Resources Survey. Oxford, Inglaterra, 194 p.

CAINE, N. (1980) **The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flows**. Geogr. Ann., Ser.A, 62(1), pp. 23–27.

CALVETTI, L.; BENETI, C.; PEREIRA F, A. J. (2003) **Características das estimativas de precipitação por radar satélite e pluviômetros no Paraná: uma comparação entre chuva de verão e chuva provocada por frente fria**. XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Curitiba (PR).

CAMPBELL, R.H. (1975) **Soil Slips, Debris Flows, and Rainstorms in the Santa Monica Mountains and Vicinity, southern California**. US Geological Survey Professional Paper 851, Washington DC, Estados Unidos, 51 p.

CANNON, S.H. (2000) **Debris flow response of southern California watersheds burned by wildfire**. In: WIECZOREC, G.F., NAESER, N.D. (Eds.), Debris Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction and Assessment. Balkema, Rotterdam, pp. 45–52.

CANNON, S.H., ELLEN, S.D. (1985) **Rainfall conditions for abundant debris avalanches, San Francisco Bay region, California**. California Geology 38 (12), pp. 267-272.

CARRARA, A. (1983) **Multivariate models for landslide hazard evaluation**. Mathematical Geology 15, pp. 403–426.

CASADEI, M.; DIETRICH, W.E.; MILLAR, N.L. (2003) **Testing a model for predicting the timing and location of shallow landslide initiation in soil-mantled landscapes**. Earth Surf ProcesLandf 28, pp. 925–950.



CEPED - CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES (2013) **Atlas brasileiro de desastres naturais: 1991 a 2012 - Volume Brasil**. 2.ed. rev. ampl. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 126 p.

CERVI, F.; BERTI, M.; BORGATTI, L.; RONCHETTI, F.; MANENTI, F.; CORSINI, A. (2010) **Comparing predictive capability of statistical and deterministic methods for landslides susceptibility mapping: a case study in the northern Apennines (Reggio Emilia Province, Italy)**. *Landslides*, 7, pp. 433–444.

CHANG, K. T.; CHIANG, S. H.; LEI, F., (2008) **Analysing the relationship between typhoon-triggered landslides and critical rainfall conditions**. *Earth Surf. Processes Landforms*, 33(8), pp. 1261– 1271.

CHEN, F.; WARNER, T. T.; MANNING, K. (2001) **Sensitivity of orographic moist convection to landscape variability: A study of the Buffalo Creek, Colorado, flash flood case of 1996**. *Journal of the Atmospheric Sciences* 58 (21) pp. 3204-3223.

CHIGIRA, M.; DUAN, F.; YAGI H.; FURUYA, T. (2004) **Using an airborne laser scanner for the identification of shallow landslides and susceptibility assessment in an area of ignimbrite overlain by permeable pyroclastics**. *Landslides* 3, pp. 203–209.

CHIU, L. S.; LIU, Z.; VONGSAARD, J.; MORAIN, S.; BUDGE, A.; NEVILLE, P.; BALES, C. (2006) **Comparison of TRMM and water district rain rates over New Mexico**. *Advances in Atmospheric Sciences*, 23(1), pp. 1–13.

CHUNG, C. F.; FABBRI, A.; VAN WESTEN, C. J. (1995) **Multivariate regression analysis for landslide hazard zonation**. In CARRARA, A.; GUZZETTI, F. (Eds.) *The Netherlands: Kluwer Academic Publishers*, pp. 107–133.

CLERICI, A.; PAREGO, S.; TELLINI, C.; VESCOVI, P.(2002) **A procedure for landslide susceptibility zonation by the conditional analysis method**. *Geomorphology* 48, pp. 349–364.

COLLISCHONN, B. (2006). **Uso de precipitação estimada pelo satélite TRMM em modelo hidrológico distribuído**. Dissertação de Mestrado. IPH-UFRGS, 193 p.

COLLISCHONN, B., COLLISCHONN, W., & TUCCI, C. E. M.(2008)**Daily hydrological modeling in the Amazon basin using TRMM rainfall estimates**. *Journal of Hydrology*, v. 360, v.1, p. 207-216.

CONTI, G. N. (2002)**Estimativa da precipitação através de técnicas de sensoriamento remoto: Estudo de caso para o estado do Rio Grande do Sul**. Dissertação de mestrado, IPH-UFRGS, 205 p.

COSTA, J.E. (1984) **Physical geomorphology of debris flows**. In: COSTA, J.E.; FLEISHER, P.J. (Eds.). *Developments and Applications of Geomorphology*. Springer, Berlin, Alemanha, pp. 268-317.

COULOMB, C. A. (1776)**Essai sur une application des regles des maximet minimis a quelques problemes de statique relatifs, a la architecture**. *Mem. Acad. Roy. Div. Sav.*, 7, pp. 343 – 387.

CROZIER, M. J. (1986) **Landslides; Causes, Consequences, and Environment**. London: Croom Helm. 252 p.

CROZIER, M. J. (2004a).**Landslide**. In Goudie, A. S. (Ed.), *Encyclopedia of Geomorphology*, Vol. 1, pp. 605-608.

CROZIER, M. J. (2004b).**Slope stability**. In Goudie, A. S. (Ed.), *Encyclopedia of Geomorphology*, Vol. 1, pp. 969 – 970.



CROZIER, M.J. (1986) **Landslides: Causes, Consequences and Environment**. Croom Helm, Londres, Inglaterra, 252 p.

CRUZ, C. B. M.; BARROS, R. S. (2012) **Contribution of New Sensors to Cartography**, Cartography - A Tool for Spatial Analysis. Bateira, C. (Ed.), In Tech. Disponível em: <https://www.intechopen.com/books/cartography-a-tool-for-spatial-analysis/contribution-of-new-sensors-to-cartography>

DAEMON, R.F. ; QUADROS, L.P. (1970) **Bioestratigrafia do neopaleozóico da bacia do Paraná**. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 24, Brasília, Distrito Federal, pp.359-412.

DAI, F. C.; LEE, C. F. (2001) **Frequency-volume relation and prediction of rainfall-induced landslides**. Engineering Geology, 59(3-4), pp. 253-266.

DALY, C.; Neilson, R. P.; Phillips, D. L. (1994). **A statistical-topographic model for mapping climatological precipitation over mountainous terrain**. Journal of Applied Meteorology, 33, pp. 140 – 158.

DE PLOEY, J.; CRUZ, O. (1979) **Landslides in the Serra do Mar, Brazil**. Catena, 6, pp. 111-122.

DELEO, J. M.: 1993, **Receiver operating characteristic laboratory (ROCLAB)**: software for developing decision strategies that account for uncertainty. In: Proceedings of the Second International Symposium on Uncertainty Modelling and Analysis, Computer Society Press, College Park, pp. 318-325.

DESMET, P.J.J.; GOVERS, G.A. (1996) **GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units**. Journal of Soil and Water Conservation, 51(5) pp. 427-433.

DIAS, M. A. F. S. (2009) **As chuvas de novembro de 2008 em Santa Catarina**: Um estudo de caso visando à melhoria do monitoramento e da previsão de eventos extremos. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. São José dos Campos, São Paulo, 67 p.

DIAS, R. D. (1995) **Proposta de metodologia de definição de carta geotécnica básica em regiões tropicais e subtropicais**. Revista do Instituto Geológico: v.16, pp.51-55.

DIETRICH, W. E.; REISS, R., HSU, M. L. & MONTGOMERY, D. R. (1995) **A Process- Based Model for Colluvium Soil Depth and Shallow Landsliding Using Digital Elevation Data**. Hydrological Process., v. 9, pp. 383-400.

DIETRICH, W. E.; WILSON, C. J.; RENEAU, S. L. (1986) **Hollows, colluvium, and landslides in soil-mantled landscapes**. In: ABRAHMS, A.D. (Ed.) Hillslope Processes. Boston: Allen & Unwin. pp. 362-388.

DIETRICH, W.; BELLUGI, D.; ASUA, R. R. (2001) **Validation of the Shallow Landslide Model, SHALSTAB, for Forest Management**. Water Science and Application, 2, pp. 195-227.

DIKAU, R. (2004). **Factor of Safety**. In Goudie, A. S. (Ed.) Encyclopedia of Geomorphology, Vol. 1, pp. 359-360.

DINKU, T.; CECCATO, P.; GROVER-KOPEC, E.; LEMMA, M.; CONNOR, S. J.; ROPELEWSKI, C. F. (2007) **Validation of satellite rainfall products over East Africa's complex topography**. International Journal of Remote Sensing, 28 (7), pp. 1503-1526.

FARAH, F. (2003) **Habitação e encostas**. Publ. IPT 1831. Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, 312 p.



FARR, T. G.; ROSEN, P. A.; CARO, E.; CRIPPEN, R.; DUREN, R.; HENSLEY, S.; KOBRICK, M.; PALLER, M.; RODRIGUEZ, E.; ROLER, L.; SEAL, D. Shaffer, S.; SHIMADA, J.(2007) **The Shuttle Radar Topography Mission**. *Reviews of Geophysics*, v. 45, n. 2.

FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. (2003) **Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica**. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. *Geomorfologia e meio ambiente*. 4 ed. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, pp. 123-194.

FERNANDES, N. F.; COELHO NETTO, A.L.; LACERDA, W.A. (1994) **Subsurface hydrology of layered colluvium mantles in unchannelled valleys – south-eastern Brazil**. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 19, pp. 609-626.

FERNANDES, N. F.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; VIEIRA, B. C.; MONTGOMERY, D. R.; GREENBERG, H. M. (2001). **Condicionantes Geomorfológicos dos Deslizamentos na Encostas**: Avaliação de metodologias e aplicação de modelos de previsão de áreas suscetíveis. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 2, n 1, pp. 51-71.

FINLAY, P.J.; FELL, R.; MAGUIRE, P.K. (1997) **The relationship between the probability of landslide occurrence and rainfall**. *Canadian Geotechnical Journal* 34, pp. 811-824.

FLEMING, K.; AWANGE, J.L.; KUHN, M.; FEATHERSTONE, W.E.(2011) **Evaluating the TRMM 3B43 monthly precipitation product using gridded raingauge data over Australia**. *Australian Meteorological and Oceanographic Journal*, v. 61, p.171-184.

FRANK, B. (1995). **Uma abordagem para o gerenciamento ambiental da bacia hidrográfica do rio itajaí, com ênfase no problema das enchentes**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Santa Catarina, 345 p.

FRANK, B.; SEVEGNANI, L.(2009) **Desastre de 2008 no Vale do Itajaí: Água, gente e política**. Blumenau: Agencia de água do Vale do Itajaí. Blumenau, Santa Catarina, 192 p.

FREEMAN, T. (1991) **Calculating catchment area with divergent flow based on a regular grid**. *Computers and Geosciences*, 17, pp.413–422.

FREITAS, L. F. (2012) **Análise da influência das alterações da rede de drenagem devida a urbanização no desenvolvimento de voçorocas em quatro regiões do Distrito Federal**. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília – UnB. Brasília, Distrito Federal, 94 p.

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A.(1988) **Hidrologia**. 2ª ed. Editora Edgard Blücher, São Paulo, 291 p.

GARCIA-MARTINO, A. R.; WARNER, G. S.; SCATENA, N.; CIVCO, D. L. (1996). **Rainfall, Runoff and Elevation Relationships in the Luquillo Mountains of Puerto Rico**. *Caribbean Journal of Science* 32 (4), pp. 413-424.

GODT, J. W.; BAUM, R. L.; CHLEBORAD, A. F. (2006) **Rainfall characteristics for shallow landsliding in Seattle, Washington, USA**. *Earth Surf. Processes Landforms*, 31, pp. 97–110.

GOMES, R. A. T (2006) **Modelagem de previsão de movimentos de massa a partir da combinação de modelos de escorregamentos e corridas de massa**. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. Rio de Janeiro, 102 p.

GOMES, R. A. T.; GUIMARÃES, R. F.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; FERNANDES, N. F.(2005) **Análise de um modelo de previsão de deslizamentos (SHALSTAB) em diferentes escalas cartográficas**. *Revista Solos e Rochas*, 28 (1) pp. 85-97.

GUIDICINI, G.; IWASA, O. Y. (1976) **Ensaio de correlação entre pluviosidade e escorregamentos no meio tropical úmido**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, 48p.



GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. (1984) **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. Ed. Edgard Blücher Ltda, São Paulo, 142 p.

GUIMARÃES, R. F. (2000). **Utilização de um Modelo de Previsão de Áreas Susceptíveis à Escorregamentos Rasos com Controle Topográfico**: Adequação e Calibração em Duas Bacias de Drenagem. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. Rio de Janeiro, 156 p.

GUIMARÃES, R. F.; MONTGOMERY, D. R.; GREENBERG, H. M.; FERNANDES, N. F.; GOMES, R. A. T.; CARVALHO JÚNIOR, O. A. (2003) **Parameterization of soil properties for a model of topographic control on shallow landsliding: application to Rio de Janeiro**. *Engineering Geology*, 69 (1-2) pp. 99-108.

GUIMARÃES, R., MACHADO, W., DE CARVALHO, O., MONTGOMERY, D., GOMES, R., GREENBERG, H., ... MENDONÇA, P. (2017). **Determination of Areas Susceptible to Landsliding Using Spatial Patterns of Rainfall from Tropical Rainfall Measuring Mission Data, Rio de Janeiro, Brazil**. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(10), 289.

GUO, J.; LIANG, X.; RUBY LEUNG, L. (2004) **Impacts of different precipitation data sources on water budgets**. *Journal of Hydrology*, 298(1–4), pp. 311–334.

GUZZETTI, F.; MONDINI, A. C.; CARDINALI, M.; FIORUCCI, F.; SANTANGELO, M.; CHANG, K-T. (2012) **Landslide inventory maps: new tools for an old problem**. *Earth Science Reviews*, v. 112, pp. 42-66.

HANEBERG, W.C.; CREIGHTON, A.L.; MEDLEY, E.W.; JONAS, D.A. (2005) **Use of LiDAR to assess slope hazards at the Lihir gold mine, Papua New Guinea**. In: Hungr, O.; Fell, R.; Couture, R.; Eberhardt, E. (eds) *Proceedings of the international conference on landslide risk management*. Vancouver, Taylor & Francis Group, Supplementary Volume (CD), Canada.

HANSEN, E.M.; FENN, D.D.; CORRIGAN, P.; VOGEL, J.L.; SCHREINER, L.C.; STODT, R.W. (1994) **Probable Maximum Precipitation for Pacific Northwest States–Columbia River** (including portions of Canada), Snake River and Pacific Coastal Drainages. US National Weather Service, Silver Spring, MD, USA, Hydrometeorological Report No. 57.

HENGL, T.; EVENS, I.S. (2009) **Mathematical and Digital Models of the Land Surface**. In: HENGL, T.; REUTER, H. I. (Ed.) *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications*. Amsterdam, Holanda, pp. 31-64.

HERRMANN, M. L. P. (2001) **Levantamento dos desastres naturais ocorridos em Santa Catarina no período de 1980 a 2000**. Imprensa Oficial do Estado de Santa Catarina – IOESC, Florianópolis, Santa Catarina, 89 p.

HONG, Y.; ADLER, R.F. (2007) **Towards an early-warning system for global landslides triggered by rainfall and earthquake**. *International Journal of Remote Sensing*, 28(16) pp. 3713–3719.

HONG, Y.; ALDER, R.; HUFFMAN, G. (2006) **Evaluation of the potential of NASA multi-satellite precipitation analysis in global landslide hazard assessment**. *Geophysical Research Letters*, 33(22), pp. 1–5.

HUFFMAN, G.J.; BOLVIN, D.T.; BRAITHWAITE, D.; HSU, K.; JOYCE, R.; XIE, P. (2014) **GPM Integrated Multi-Satellite Retrievals for GPM (IMERG) Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) Version 4.4**. PPS, NASA/GSFC, 30 pp.

HUNGR, O.; EVANS, S.G.; HAZZARD, J. (1999) **Magnitude and frequency of rock falls and rock slides along the main transportation corridors of southwestern British Columbia**. *Canadian Geotechnical Journal* 36, pp. 224-238.



HUTCHINSON, J. N. (1988). **General report: Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology.** In Bonnard, C. (Ed.), *Landslides. Proceedings of the Fifth International Symposium on Landslides.* Lausanne. Vol. 1, pp. 3 - 35.

HUTCHINSON, M.F. (1989) **A new method for gridding elevation and streamline data with automatic removal of pits.** *Journal of hydrology* v. 106, n. 3-4, pp. 2011-232.

HUTCHINSON, M.F. (1988) **Calculation of hydrologically sound digital elevation models. Proceedings of the third international symposium on spatial data handling.** August 17-19, Sydney. International Geographical Union, Columbus, Ohio, 1988. pp. 117 – 133.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2003a) **Projeto Gerenciamento Costeiro, 3ª fase-Geologia.** Florianópolis, 61 p.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2003b) **Projeto Gerenciamento Costeiro, 3ª fase-Geomorfologia.** Florianópolis, 56 p.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2003c) **Projeto Gerenciamento Costeiro, 3ª fase-Solos.** Florianópolis, 703 p.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2004) **Mapa de vegetação do Brasil.** Escala 1:5.000.000. Rio de Janeiro

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT (1988) **Programa Serra do Mar: Estudo geotécnico dos principais mecanismos de instabilização na Serra do Mar.** São Paulo, Relatório n 25957.

International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies - IFRC (2014) **World Disasters Report - Focus on culture and risk.** 276 p.

IVERSON, R. M. (2000) **Landslide triggering by rain infiltration.** *Water Resources Research*, 36(7), pp. 1897-1910.

JABOYEDOFF, M.; OPPIKOFER, T.; ABELLÁN, A.; DERRON, M. H.; LOYE, A.; METZGER, R.; PEDRAZZINI, A. (2012) **Use of LIDAR in landslide investigations: A review.** *Natural Hazards*, 61(1), pp. 5–28.

JABOYEDOFF, M.; OPPIKOFER, T.; ABELLÁN, A.; DERRON, M. H.; LOYE, A.; METZGER, R.; PEDRAZZINI, A. (2012) **Use of LIDAR in landslide investigations: A review.** *Natural Hazards*, 61(1), pp. 5–28.

JABOYEDOFF, M.; PEDRAZZINI, A.; HORTON, P.; LOYE, A.; SURACE, I. (2008) **Preliminary slope mass movements susceptibility mapping using LIDAR DEM.** In: *Proceedings of 61th Canadian geotechnical conference*, pp. 419–426.

JARVIS, A., REUTER, H.I.; NELSON, A.; GUEVARA, E. (2008) **Hole-filled SRTM for the globe Version 4**, available from the CGIAR-CSI SRTM 90m Database: <http://srtm.csi.cgiar.org>.

KIRSCHBAUM, D.; ADLER, B.; HONG, Y.; LERNER-LAM, A. (2009) **Evaluation of a preliminary satellite-based landslide hazard algorithm using global landslide inventories.** *Nat Hazards Earth SystSci* 9, pp. 673–686.

KUMMEROW, C.; Simpson, J.; Thiele, O.; Baenes, W. (2000) **The Status of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) after Two Years in Orbit.** *Journal of Applied Meteorology*, 39, p. 1965-1982.

LANDIS, J. R.; Koch, G.G. (1977) **The measurement of observer agreement for categorical data.** *Biometrics*; 33: p. 159-174.



- LARSEN, M. C.; A. SIMON (1993) **A rainfall intensity-duration threshold for landslides in a humid-tropical environment, Puerto Rico.** Geogr. Ann., 75A, pp. 13–23.
- LEE, S.; CHOI, J.; MIN, K. (2002) **Landslide susceptibility analysis and verification using the Bayesian probability model.** Environ. Geol. 43, pp. 120–131.
- LIAO, Z.; HONG, Y.; WANG, J.; FUKUOKA, H.; SASSA, K.; KARNAWATI, D.; FATHANI, F. (2010) **Prototyping an experimental early warning system for rainfall-induced landslides in Indonesia using satellite remote sensing and geospatial datasets.** Landslides, 7(3), pp. 317–324.
- LISTO, F. D. L. R.; CARVALHO VIEIRA, B. (2012) **Mapping of risk and susceptibility of shallow-landslide in the city of São Paulo, Brazil.** Geomorphology, v. 169–170, n. 0, pp. 30–44.
- LOPES, E.S.S. (2006) **Modelagem Espacial Dinâmica Aplicada ao Estudo de Movimentos de Massa em uma Região da Serra do Mar Paulista, na Escala de 1:10.000.** Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Rio Claro, São Paulo, 282 p.
- LORENTE, A.; GARCÍA-RUIZ, J.M.; BEGUERIA, S.; ARNAEZ, J. (2002) **Factors explaining the spatial distribution of hillslope debris flows.** A case study in the Flysch Sector of the Central Spanish Pyrenees. Mountain Research and Development 22, pp. 32–39.
- LOURENÇO, M. C. M.; FERREIRA, N. J.; GAN, M. A. (2014) **Boletim Climanalise.** Volume 29 - Nº12 - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE.
- LUMB, P. (1975) **Slopefailures in Hong Kong.** Quarterly Journal of Engineering Geology 8, pp. 31-65.
- LUNETTA, R.S.; COSENTINO, B.L.; MONTGOMERY, D.R.; BEAMER, E.M.; BEECHIE, T.J. (1997) **GIS-Based Evaluation of Salmon Habitat for Prioritizing Restoration Opportunities in the Pacific Northwest.** Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 63, pp. 1219-1229.
- MAGNAGO, R. F.; CALÁSIO, B. M.; MIRANDA, E. N.; BRUCHADO, I. J.; FLORES, M. B.; MEDEIROS, P.; SOUZA, P. R. (2015) **Incidência de desastres naturais em Santa Catarina de 2011 a 2013.** R. gest.sust. ambient., Florianópolis, v. 4, n. 1, pp. 156- 175.
- MAHMUD, M., HASHIM, M., MATSUYAMA, H., NUMATA, S., & HOSAKA, T. (2018). **Spatial Downscaling of Satellite Precipitation Data in Humid Tropics Using a Site-Specific Seasonal Coefficient.** Water, 10(4), PP. 409. <https://doi.org/10.3390/w10040409>
- MANFRÉ, L. A. (2015) **Identificação e mapeamento de áreas de deslizamentos associadas a rodovias utilizando imagens de sensoriamento.** Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 117 p.
- MARINHO, R. R.; PARADELLA, W. R.; RENNÓ, C. D.; OLIVEIRA, C. G. (2012) **Aplicação de imagens SAR orbitais em desastres naturais: mapeamento das inundações de 2008 no Vale do Itajaí, SC.** Revista Brasileira de Cartografia, v.64, n.3, pp. 317-330.
- MARTIN, Y.; ROOD, K.; SCHWAB, J. W.; CHURCH, M. (2002) **Sediment transfer by shallow landsliding in the Queen Charlotte Islands, British Columbia.** Canadian Journal of Earth Sciences, v. 39, n. 2, pp. 189–205. 2002.
- MARTINS, C. V. D. (2015) **Avaliação da Suscetibilidade à Ocorrência de Movimentos de Vertente na Bacia Hidrográfica da Meia Légua: Modelação Estatística e Simulação Matemática de Base Física.** Universidade do Porto, Portugal, p. 113.
- MCKEAN, J.; BUECHEL, S.; GAYDOS, L. (1991) **Remote sensing and landslide hazard assessment.** Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, v. 57, n. 9, pp. 1185–1193.



- MILDE, L. C. E.; MORAES, J. M.; FERRAZ, F. F. B.; MORTATTI, J.; SCHULER, A. E. (1999) **Uso do hecprepro no tratamento de modelo digital de terreno em hidrologia: Estudo de caso.** Revista Geociências. São Paulo, 18(2) pp. 285-301.
- MINDER, J. R.; ROE, G. H.; MONTGOMERY, D. R. (2009). **Spatial patterns of rainfall and shallow landslide susceptibility.** WaterResourcesResearch, 45(4), pp. 1–11.
- MINUZZI, R.; RODRIGUES, L. (2009) **Novembro com recordes de chuva em SC: 1000 mm em Blumenau.** Epagri/CIRAM. Florianópolis, Santa Catarina.
- MONTEIRO, M., A., MENDONÇA, M. (2005) **Dinâmica atmosférica no estado de Santa Catarina.** In: HERRMANN, M.L (org.) Atlas de desastres naturais do estado de Santa Catarina. Imprensa Oficial do Estado de Santa Catarina IOESC, Florianópolis, 146 p.
- MONTGOMERY, D. R.; DIETRICH, W. E., (1994) **A Physically-Based Model for the Topographic Control on Shallow Landsliding.** Water Resources Research, 30, pp. 1153-1171.
- MONTGOMERY, D. R.; SULLIVAN, K.; GREENBERG, H. M. (1998) **Regional test of a model for shallow landsliding.**Hydrol.Processes, 12(6), pp. 943– 955.
- MOORE, I. D., GRAYSON, R. B., LADSON, A. R. (1991) **Digital terrain modelling: A review of hydrological, geomorphological, and biological applications.** Hydrological Processes, 5(1) pp. 3-30.
- NESBITT, S. W.; ZIPSER, E. J. (2003) **The Diurnal Cycle of Rainfall and Convective Intensity according to Three Years of TRMM Measurements.** J. Climate.Vol. 16, pp. 1456-1475.
- NÓBREGA, R.S.; SOUZA, E.P.; GALVÍNCIO, J.D.(2008) **Análise da estimativa de precipitação do TRMM em uma sub-bacia da Amazônia Ocidental.** Revista de Geografia, v. 25, n.1, p. 6-20.
- O'CALLAGHAN, J. F. ; MARK, D. M. (1984) **The extraction of drainage network from digital elevation data.** Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 28, pp. 328-344.
- O'LOUGHLIN, E. M. (1986) **Prediction of Surface Saturation Zones in Natural Catchments by Topographic Analysis.** WaterResourcesResearch, v. 22, n. 5, pp. 794-804.
- OLIVEIRA R. J.; ANGELIS, C. F.(2010) **Análise do comportamento de precipitação estimada por satélite sobre áreas de intenso desmatamento na Amazônia Legal.** In: Congresso Brasileiro de Meteorologia (CBMet), XVI. Belém. Anais São José dos Campos: INPE.
- PACK, R. T.; TARBOTON, D. G.; GOODWIN, C. N. (1998) **Terrain stability mapping with SINMAP, technical description and users guide for version 1.00.** Report Number 4114-0, Terratech Consulting Ltd., Salmon Arm, Canada, 68 p.
- PELLETIER, J.D. (2008) **Quantitative Modeling of Earth Surface Processes.** Cambridge, Inglaterra, 295p.
- PORTO, C. G. (2003) **Intemperismo em Regiões Tropicais.** In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (orgs). Geomorfologia e Meio Ambiente. Ed. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, pp. 25-58.
- PRADHAN, B.; LEE, S. (2010) **Delineation of landslide hazard areas on Penang Island, Malaysia, by using frequency ratio, logistic regression, and artificial neural network models.** Environmental Earth Sciences, 60 (5), pp. 1037–1054.



PUN, W.K.; WONG, A.C.W.; PANG, P.L.R. (1999) **Review of landslip warning criteria**. Special Project Report, SPR 4/99. Geotechnical Engineering Office, The Government of the Hong Kong Special Administrative Region, 77 p.

PURI, S.; STEPHEN, H.; AHMAD, S. (2011) **Relating TRMM precipitation radar land surface backscatter response to soil moisture in the Southern United States**. Journal of Hydrology, 402(1–2), pp. 115–125.

PYLES, M.R.; FROELICH, H.A. (1987) **Rates of landsliding as impacted by timber management activities in northwestern California: discussion**. Association of Engineering Geologists Bulletin 24, pp. 425–431.

QUINN, P.; BEVEN, K.; CHEVALLIER, P.; PLANCHON, O. (1991) **The Prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modeling using digital terrain models**. Hydrological Processes, 5, pp.59-80.

RABUS, B.; EINEDER, A.; ROTH, R.; BAMLER, R. (2003) **The Shuttle radar topography mission – a new class of digital elevation model acquired by spaceborne radar**, Photogrammetry and Remote Sensing, v. 57, p. 241-262.

RAMOS, V. M. (2003) **A modelagem Matemática no Estudo dos Movimentos de massa** :Apliação de um modelo de previsão de áreas susceptíveis a escorregamentos rasos na área do subúrbio ferroviário de salvador – BA. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília – UnB. Brasília, Distrito Federal .

RAMOS, V. M. (2017) **Mapeamento de Áreas Susceptíveis à Ocorrência De Escorregamentos No Brasil e Suas Relações com Aspectos Socioeconômicos**.Tese de Doutorado, UnB/IH/GEA, 156p.

REMONDO, J.; GONZALEZ, A; DÍAZ, J. R.; CENDRERO, A.; FABBRI, A.; CHUNG, C.J. (2003) **Validation of Landslide Susceptibility Maps** ; Examples and Applications from a Case Study in Northern Spain. Natural Hazards, 30, pp. 437–449.

ROODPOSHTI, M. S.; ARYAL, J.; SHAHABI, H.; SAFARRAD, T. (2016) **Fuzzy Shannon entropy: A hybrid GIS-based landslide susceptibility mapping method**.Entropy, 18, 343, 20 p.

ROSA, R. O. (1991) **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.

ROZANTE, J.R. (2009) **Combining TRMM and Surface Observation Precipitation: Technique and Validation Over South American**. ePrint: sid.inpe.br/mtc-m18@80/2009/09.15.14.09 v1 2009-09-16.

SANTOS, A. R. (2004) **A Grande Barreira da Serra do Mar – da Trilha dos Tupiniquins à Rodovia dos Bandeirantes**. Ed. O Nome da Rosa, São Paulo, 122p.

SBROGLIA, R. M. (2015) **Mapeamento geotécnico e das áreas suscetíveis a deslizamentos na microbacia do Ribeirão Baú, Ilhota/SC**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis,187 p.

SBROGLIA, R. M.; AUGUSTO, R.; TOMAZZOLI, E. R.; GUIMARÃES, R. F. (2016) **Mapeamento de áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos na microbacia do ribeirão baú , Ilhota / SC , com o uso de modelagem matemática** . Revista Brasileira de Cartografia, N 68/2, 339–354.

SCHENK, T. (1996) **Automatic Generation of DEM's**. In: Manual of Photogrammetry Addendum. USA: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, pp. 145 – 150.



SCHIMALESKY, V. (2007) **Avaliação da qualidade da informação altimétrica derivada da varredura a laser em uma região coberta por vegetação: um estudo de caso**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 82 p.

SELBY, M. J. (1993) **Hillslope materials and processes**. Oxford [etc.]: Oxford university press.

SESTINI, M. F. (1999) **Variáveis geomorfológico no estudo de deslizamentos em Caraguatatuba-SP utilizando imagens TM-LANDSAT e SIG**. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos, São Paulo, 140 p.

SEVEGNANI, L. (2003) **Dinâmica de população de *Virola bicuhyba* (Schott) Warb. (Myristicaceae) e estrutura fitossociológica de floresta pluvial atlântica, sob clima temperado úmido de verão quente, Blumenau, SC**. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 161 p.

SIDLE, R. C.; OCHIAI, H. (2006) **Landslides: Processes, Prediction, and Land Use**. Washington, DC: AGU, 2006.

SILVA, H.; SEVERO, D. (2003) **O clima**. In: AUMOND, J.J.; PINHEIRO, A.; FRANK, B. (org.). *Bacia do Itajaí: formação, recursos naturais e ecossistemas*. : Edifurb, Blumenau, Santa Catarina.

SILVA DIAS, M. A. (1996) **Complexos convectivos de mesoescala sobre a região sul do Brasil. Cachoeira Paulista**, SP: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Climanalise, Edição Especial, p. 173-179.

SOARES, A.; PAZ, A.; PICCILLI, D. (2016). **Avaliação das estimativas de chuva do satélite TRMM no Estado da Paraíba**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 21(2), p. 288–299.

SOARES-FILHO, B.S.; RODRIGUES, H.O.; FOLLADOR, M. (2013) **A hybridanalytical-heuristicmethod for calibratingland-use changemodels**. Environ. Model. Soft., 43, pp. 80–87.

SOUSA PINTO, N. L.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A.; GOMIDE, F. L. S. (1976) **Hidrologia básica**. EditoraEdgardBlücher, São Paulo, 278 p.

STRUZIK, P. (2003)**Accumulated precipitation distribution based on combined satellite information and ground measurements**. The 2003 EUMETSAT Meteorological Satellite Conference, Weimar, Alemanha.

TARBOTON, D. G. (1997) **A new method for the determination of flow directions and contributing areas in grid digital elevation models**. Water Resources Research, 33(2) pp. 309-319.

TARBOTON, D. G., (1997). A new method for the determination of flow directions and contributing areas in grid digital elevation models. *WaterResourcesResearch*, 33(2): 309-319.

TATIZANA, C. (1987) **Análise de correlação entre chuvas e escorregamentos na Serra do Mar, município de Cubatão**. In: Anais do Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 5,v.2, São Paulo pp.225-236.

TEXEIRA, A. L. A.; MORETTI, E.; CRISTOFOLETTI A. (1992) **Introdução aos sistemas de informação geográfica**. Rio Claro: Edição do Autor, 79 p.

THOMAS, M. F. (1979) **Tropical Geomorphology: a study of weathering and landform development in warm climates**. 2. ed. Londres: MacMillan, 332 p.



TOMAZZOLI, E. R.; FLORES, J. A. A.; BAUZYS, F. (2009) **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), pp. 1–10.

TRICART, J. (1972) **Introduction to climatic geomorphology.** Londres: Longman, 295 p.

TURNER, T. R.; DUKE, S. D.; FRANSEN, B. R.; REITER, M. L.; KROLL, A. J.; WARD, J. W.; BILBY, R. E. (2010) **Landslide densities associated with rainfall, stand age, and topography on forested landscapes, southwestern Washington, USA.** Forest Ecology and Management, 259(12), pp. 2233–2247.

UNESCO (1993). **The International Geotechnical Societies' UNESCO Working Party on World Landslide Inventory (WP/WLI).** Canada: BiTech Pubs.

VAN ASCH, T.W.J., BUMA, J., VAN BEEK, L.P.H. (1999) **A view on some hydrological triggering systems in landslides.** Geomorphology 30, pp. 25–32.

VARNES, D. J. (1978). **Slope Movement Types and Processes.** In: SCHUSTER, R. L.; KRIZEK, R. J. (Eds.) Landslides, Analysis and Control. Transportation Research Board. Special Report 176. pp. 11 – 33.

VARNES, D. J. (1984) **Landslide hazard zonation – a review of principles and practice.** UNESCO, IAEG Commission on, pp. 63.

VERLINDE, J. (2011) **TRMM rainfall data downscaling in the Pangani Basin in Tanzania.** Master of Science Thesis at Delft University of Technology, Holanda, 72 p.

VIANA, D. R. (2009) **Comportamento espaço-temporal da precipitação na região sul do Brasil utilizando dados TRMM e SRTM.** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. São José dos Campos, São Paulo.

VIBRANS, A. C. (2003). **A cobertura florestal da bacia do Rio Itajaí - elementos para uma análise histórica.** Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 257 p.

VOSSelman, G. (2000) **Slope Based of LASER Altimetry Data.** International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing, , v. 33 (B3), pp. 935- 942.

WARD, S. (2004) **Cohesion.** In A. S. Goudie (Ed.), Encyclopedia of Geomorphology (Vol. 1, pp. 172-173). London, New York: Routledge Ltd.

WERNER, M. (2001) **Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), Mission Review.** J. Telecom (Frequenz)), v. 55, p.75-79,

WIECZOREK, G.F. (1987) **Effect of rainfall intensity and duration on debris flows in central Santa Cruz Mountains, California.** In: COSTA, J.E.; WIECZOREK, G.F. (Eds.). Debris Flows/Avalanches: Process, Recognition and Mitigation. Reviews in Engineering Geology, vol. VII. Geological Society of America, Boulder, CO, pp. 93-104.

WILSON, R.C.; WIECZOREK, G.F. (1995) **Rainfall threshold for the initiation of debris flows at La Honda, California.** Environmental and Engineering Geoscience 1 (1), pp. 11-27.

WOLLE, C.M. (1988) **Análise dos escorregamentos translacionais numa região da Serra do Mar no contexto de uma classificação de mecanismos de instabilização de encostas.** Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP, São Paulo.

WOLLE, C.M.; CARVALHO, C. S. (1989) **Deslizamentos em encostas na Serra do Mar - Brasil.** Solos e Rochas, v. 12, p. 27-36.



WOLLE, C.M.; HACHICH, W. (1989) **Rain-induced landslides in southeastern Brasil**. In: Congresso Internacional de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações - ISSMPE, Rio de Janeiro. Anais.v.3, pp.1639-1642.

WU, W., SIDLE, R.C. (1995) **A distributed slope stability model for steep forested basins**. Water Resources Research, 31, pp. 2097–2110.

WU, Y.H., SWANSTON, D.N. (1980) **Risk of landslides in shallow soils and its relations to clearcutting in southeastern Alaska**. Forest Science 26, pp. 495– 510.

YATAGAI, A.; KRISHNAMURTI, T.N.; KUMAR, V.; MISHRA, A.K.; SIMON, A. (2014) **Use of APHRODITE rain gauge-based precipitation and TRMM 3B43 products for improving Asian monsoon seasonal precipitation forecasts by the superensemble method**. J. Clim., 27, p. 1062–1069.

ZARUBA, Q.; MENCL, V. (1982) **Landslides and their control: development in geotechnical engineering**. Amsterdam: Elsevier, 324 p.

ZEVENBERGEN, L.W.; THORNE, C.R. (1987) **Quantitative analysis of land surface topography**. Earth Surface Processes and Landforms, 12, pp. 47-56.

ZÊZERE, J. L. (2005). **Dinâmica de vertentes e riscos geomorfológicos**. Programa. In C. d. E. G. U. d. Lisboa (Ed.), Lisboa: Centro de Estudos Geográficos – Universidade de Lisboa, (pp. 37-101).

ZHANG, W. ; MONTGOMERY, D.R. (1994) **Digital elevation model grid size, landscape representation, and hydrologic simulations**. Water Resources Research 30, pp. 1019-1028.

ZIZIOLI, D.; MEISINA, C.; VALENTINO, R.; MONTRASIO, L. (2013) **Comparison between different approaches to modeling shallow landslide susceptibility: A case history in Oltrepo Pavese, Northern Italy**. Natural Hazards and Earth System Sciences, 13(3), pp. 559–573.



APÊNDICE



Apêndice 1 - Dados mensais de chuva da série entre 2004 e 2014 (códigos das estações em mm/mês)

2004	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maiο	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
2648001	122,9	90	102,7	68	95,6	96,5	162	64	101	176	120	124
2648002	286,1	115,7	144,1			83,5	210,4	113,4	166,9	315,9	165,1	162,5
2648019												
2648024												
2648038												
2649001	116,2	165,8	71,8		88	75,8	162,5	45,4	168,9	114,7	93,7	93,6
2649002	127,7	167,5	84,4	137,6	109,2	98,9	177,4	63,9	158,3	232,3	124,6	150,3
2649003						51,5	160,6	48,4	105,3	187,7	187,5	139,9
2649004	105,4	144,9	72,3	75,5	114,9	68,9	205,1	46,1	139,6	185,8	113,7	169,9
2649005	100	145,8	89,7	87,5	108,9	63,6	177,4	44,4	159,9	226,1	105,6	125,1
2649007	161,9	185,2	86,2	104,4	132,2	69,1	201,4	41,8	122,9	194,9	101,4	124,4
2649008	124,3	165,2	101,1	106,2	126,3	90,9	194,9	57,9	187,2	218,3	119,1	153,3
2649009	200,8	200,1	83,9	128,2	115,1	84,3	167,8	55,9	139,5	244,6	126	145
2649010	146,4	177,2	86,6	99	111,5	115,8	132,4	62	129,6	219,4	90,8	144,4
2649017	47,5	129,8	87,3	86,9	131,6	62,4	142	56,6	83,5	308,4	169,4	107,7
2649038												
2649053				57,1	169,9	47,4	176,3	51,1	130	248,3	120,1	155,9
2649058	45,2	92,8	56,8	107,5	23,4	76,7	131,4	47,2	107,6	291	115,6	150,4
2649061						93,1	188,8	58,4	157,8	278,1	109,8	109,5
2649065	107,8	185,8	102,5	141,7	118,9	83,5	216,4	52	115	243,2	119,7	104,3
2649075												
2649076												
2649077												
2649079												
2649083												
2649084												
2649085												
2650014												
2650023	142,8	118,1	99,8	57,1	118,6	64,2	162,3	53,7	91,6	220,8	103,7	213,4
2650031												
2748000						93	136,5	38,8	136,1	205,7	145,8	108,3
2749000	79,6	109	122,1		115	88,4	145,9	46,5	148,2	208,9	92,1	121,8
2749001	38,1	63	53,5	81,2	130,2	62,3	153,7	54	157	240,1	32,2	61,5
2749002	90,7	36,8	47,2	55,4	140,7	52,1	182,1	50,6	182	183,3	143,2	109,7
2749003	52,5	45,6	32,7	81,2	136,1	63,8	162,6	49,1	145,3	187,6	182,1	229,6
2749005	27,9	3	46,5	49	131,7	80,2	141,9	58,6	90,1	74,7	59,4	64,4
2749006	63,6	88,2	41,4	60,8	152,4	50,9	205,7	43,8	156,2	210,2	163,6	159,4
2749007	85,9	76,2	89,2	112,1	105,1	67,7	139,7	43,1	222,8	170	140,2	116,4
2749013	37,8	45,5	50	52	136,4	64	162,5	45,5	190,2	204,6	167,9	107,9
2749016	95,1	136,1	126,4	72,2	125,8	92,5	150,9	51,8	134,8	213,3	85,2	139,1
2749017	79,7	39,3	124,3	75,2	101,8	61,9	167,3	50,2	200,1	153,7	163,6	102,1
2749033	30,4	24	65,3	74,2	119,8	84,2	180,4	41,7	130,8	170,3	101,3	51,4
2749037	56,3	59,3	92	100,3	95,4	78,7	163,6	45,5	168,1	156,5	129	104,6
2749039	73,6	37,3	49,7	87,2	149,3	73,2	154,4	44,8	148,6	186	196,3	131,1



2749041	80	107,6	47	53,8		48,5	198,4	43,2	189,6	208,1	168,9	90,8
2749043												
2749045	183,5	130,2	96,2	87,9	104,5	102,9	119,1	27,9	138,8	154,3	134,8	77,9
2749046	78,4	48,7	100,8	81,2	131,9	83,8	167,1	48,6	145,4	185,3	100,4	53
2749049												
2749050												
2749051												
2749052												
2749053												
2750014	35,2	53,1	40,2	83,1	137,4	66,2	163	49,1	134,2	211,4	137,6	207
2005	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
2648001	220,2	83,2				50,8	125,9	150,5	384	88,3	65,4	41,5
2648002	135,5	100,9	170,4	140,4	167,3	130,1	192,8	133,9	234,8	214	278,2	106,6
2648019												
2648024												
2648038												
2649001	306,2	45,6	66,5	198,6	198,6	98,4	63,6	162	269,9	138,5	23,5	
2649002	221,9	102,2	103,3	227,7	133,6	76,6	157,4	163,2		216,4	72,6	119,4
2649003	24,5			21	145,9	47	101,3	113,4		17,9	34,9	
2649004	232	60,1	61,7	183,3	203,6	68,3	97,4	122,6	256,1	164,3	74,1	84,1
2649005	258,5	76	58,5	176,9	169,4	85,3	106,9	150,6	264,3	142,2	64,6	101
2649007	171,6	71,4	54,7	168,8	167,4	79,7	102,8	164,8	293,1	152,1	82,3	93,2
2649008	219,5	99,7	66,6	209,7	143,2	68,7	125,8	171,6	292,4	206,7	106	82,4
2649009	225,7	86,8	65	150,9	165,3	84,9	126	159,9	346,1	182,2	77,3	110,8
2649010	234	93	115,8	258,4	160,2		137,8	146	289,4	238,4	66	65,2
2649017		91	60,6		45,4	79	115	112,9	271,1		65,1	84,5
2649038												
2649053	93,4	16	27	134,9	193,6	83,7	96,8	128,1	187,5	193,3	94,4	100,5
2649058	141,6		75,6	103,6	179,2	82,8	82,1	127	213	217	60,4	66,6
2649061							129,2	139,5	227,3		81	111,6
2649065	124,9		33,5	189,9		70,5		149,5		239,3		
2649075												
2649076												
2649077												
2649079												
2649083												
2649084												
2649085												
2650014												
2650023	138,8	38,9	69	139,6	188	80,7	101	151,1	211,9	236,3	91,5	58,8
2650031												
2748000	363	47,2	101,5	128,2	113,8	51	78,2	152,2	286,3	155,3	24,4	137,9
2749000	177,1	56,8	56,5	90,7	207,5	89,5	109,3	130,2	252,7	173,9	62,2	80,6
2749001	204,7	40	53,1	76,9	223,4	84,6	98,6	113	197,6	160,8	46,5	70,3
2749002	156,1	86	74,8		222,7	79,4	114,5	110,2	339,1		92,4	98,8
2749003	121,9	25,2	72,9	139,1	225	102,6	94,8	156,4	255,7	226,9		170,3



2749005	90,5	46,7	46,8	61,2	184,7	51,4	94,5	125,3	165,9	163,7	81,2	72,5
2749006	129,7	29,2	51	124	212,2		70,5	125,7	268	263	138,3	114,1
2749007	148,5	68,9	73,7	108,7	269,8	63,4	174	144,4	325,4	237	60,3	58,1
2749013	152,4	43,2	65,4	96,3	189	98,4	86,5	124,8	286,2	273,4	110,3	93,7
2749016	178,6	53,7	60,7	98,1	205,4	93	114,6	133,1	256,7	171,6	68,1	85,2
2749017	190,8	30,8	100,3	148,5	235,2	68,8	116,7	125,3	316	237,1	99,5	94
2749033	154	69,5	60	88,4	185,6	31	53,4	148	345,8	92	212,5	79
2749037	143	21,4	71,9	126,2	279,1	57,7	142	121,3	287,9	239,2	86,4	45,1
2749039	156,2	20,7	54,9	190,7	187,1	65,1		133,3	234,2	192,5	70,4	
2749041	174,8	31	91,3	108,7	203,9	85	95,8	117,4	373,6	249,3	96,4	119,6
2749043												
2749045	194	64,9	47,6	115,5	142,1	35,1	105,8	105,7	287,7	150	60,5	109,6
2749046	196	54,5	80,5	158,9	148	54,3	127,2	111,1	360,1	178,4	114,4	131,1
2749049												
2749050												
2749051												
2749052												
2749053												
2750014	114,4	17,9	59,1	124,9	195,7	90,7	84,1	137,1	202,7	163,9	29,6	144,1
2006	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maiο	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
2648001	160,3	82,5	126	26,9	26,1	18,7	34,7	49,1	77,1	139,9	233	106,3
2648002	141,8	252	105,2	77	18,2	77,1	39,2	36,6	71	174,9	308,6	64,7
2648019												
2648024												
2648038												
2649001	164,3	68,8	147,7	11,2	38	25	57	56,8	91,8	103,7	163,4	118,6
2649002	309,3	100	211,9	9,4	20,4	24,8	68,7	54	79,4	117,3	162,8	109,6
2649003	153,1	62,4	167,6	9,7	20,6	27,8	60,4	57	87,2	142,2	123,5	100,3
2649004	232	73,5	184,1	18,1	31,6	27,8	55,8	49,1	78,1	113,4	152,8	73,3
2649005	195,4	48,6	158	18	27,9	30	53,7	54,6	61,1	118	145	101,7
2649007	138,3	82,9	129,8	7,9	16,1	26,2	62,9	46	64,3	94	137,1	183,5
2649008	197,8	95,1	162,2	12,2	27,7	27,3	65	51,2	96,7	108,6	200,7	118,7
2649009	165,9	105,6	150,7	9,3	19,1	31	68,7	54,5	76,1	115,5	162,2	217,1
2649010	238,1	50,8	146,6	14,2	29,6	18,2	75,4	52	72,6	97,6	206,4	207,2
2649017	119,5	56,9	116,1	11,3	16,6	30,8	64,5	33,9	77,9	63,7	84,7	100,6
2649038												
2649053	124,8	62,9	139	25,6	28	16,5	64,7	62,8	165,6	78,5	93	73,3
2649058	149,3	69	103,7	23,9	20,7	30,3	69,8	69,5	91,6	71,6	115,1	93,7
2649061	272	57,2	170,8	13	25,4	52,8	82,8	72	96,4	155	145	169
2649065	200,7	51,5	174,4	30	15,9	27,7	56,3	60,8	109,7	132,7	120,4	121,2
2649075												
2649076												
2649077												
2649079												
2649083												
2649084												



2649085												
2650014												
2650023	117,2	65,2	153,7	11,7	20,1	23,7	44,7	72,6	119,2	76,9	169,1	145
2650031												
2748000	158	50	114,8	25,8	22,5	25,7	64,9	57	72,5	105,5	139,3	210,7
2749000	96,2	64,8	99,5	19	21,9	33,9	72,8	50,7	88,1	96,5	127,5	168,2
2749001	134	71,2	97,1	19,4	19,5	43,2	67,6	64,8	93,7	103,9	127	147,5
2749002	305,1	107,4	73,7	34,6	16,3	44,3	25,5	98	89	76,3	124,8	147
2749003	138,4	124,7	124	20,5	18,4	30	55,8	89,8	108,9	100,8	215,6	155,8
2749005	93,9	56,6	98,4	16,9	20	44,3	47,9	61,1	90,9	88,4	123,5	144,6
2749006	180,3	106,4	117,3	31,5	14,1	50,4	49,9	106	100,8	73,7	161,6	86
2749007	175,2	110,2	85,9	41,5	13,2	44,3	66,6	111,6	69,4	99	213,4	121
2749013	199,5	83,5	147,5	34	18,7	42,9	52,1	105,2	50	64,1	129	122,5
2749016	194,7	83,1	124,5	25,04	34,9	39,1	95	53,4	88	108,6	141,6	164,7
2749017	324	85,3	99,3	32,3	16,9	40,9	34,6	104,6	90,2	95,1	131,3	78
2749033	95	43	54	27	22	36	38,8	91,3	84	99,3	135,4	103,7
2749037	135,9	114,9	105,9	32,7	19,4	39,4	56,6	116	73,2	104,9	160,3	83,7
2749039	193,6	74,1	176,2	20,9	26,8	47,6	48,1	79,4	103,6	76,9	124,6	99,8
2749041	227,8	96,2	139,8	20,6	8,2	37,8	35,1	111,2	87,9	94,2	132,4	145,4
2749043												
2749045	176,7	42,7	103,2	23,2	23,5	24	65,5	51,2	80,3	80,4	117,8	177
2749046	253,5	127,4	63,8	25,8	13,5	32,6	42,7	69,6	111,9	85,8	99,8	79,3
2749049												
2749050												
2749051												
2749052												
2749053												
2750014	131,7	126,2	149	27,9	18,9	25,6	52,6	81,2	104,9	95,7	181,1	174
2007	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
2648001		113,6	91,6	72,1	272,2	68,6	80,9	45,6	95	186,1		
2648002												
2648019												
2648024												
2648038												
2649001												161,9
2649002	176,6	192,1	127,4	77,8	221,6	14,9	93	111,5	105,4	118,7	116,9	203,2
2649003	176,6	192,1	127,4	77,8	221,6	14,9	93	111,5	105,4	118,7	116,9	203,2
2649004	251,1	112,9	95,7	118,6	205	21,6	118,3	65,2	118	136,8	112,8	221,8
2649005	140,2	183,1	76,5	86,9	144,4	25,5	137	54,1	126,3	123,7	131,1	196,5
2649007					60,3	10,9	36,8	26,7	56,7	59	82,4	62,1
2649008	279,7	217,3	231,6	141,9	224,8	17	111,4	52,1	114,9	139	123,2	271,5
2649009												
2649010	254,6	289,8	138	94	217,4	26,4	111,4	38,8	114	163	132,2	253,3
2649017	116,9	173,8	115,9	114,5	176,9	19,5	132,2	38,1	122,7	193,5	129,1	182,8
2649038												
2649053												



2649058	168,3	105,5	113,4	151,6	213,1	19	149	27	63,8	170,1	107,5	188,9
2649061	125	186,4	77,6	92,4	193	37,8	189,2	90	67,8	243	125,8	160,6
2649065	227,3	135,2	209,3	125,5	252,7	27,3	115,8	54,2	92,1	169,9	145,9	205,5
2649075												
2649076												
2649077												
2649079												
2649083												
2649084												
2649085												
2650014												
2650023	230,3	191,6	171,7	131,8	234,9	15,7	169,5	67,3	64,9	203,4	131,7	215,8
2650031												
2748000	101,2	221,1	102,1	15,7	258,8	12,4	157,4					
2749000	186,3	203,7	93,7	85,3	186	29,9	148,8	57,3	153,2	219,8	135,2	205,3
2749001			98,8	112,9	186	14	180,2	82,5	158,5	175,5	129,2	143,8
2749002												
2749003	211	235										
2749005	246,8	191,5		111,8	190	24,4	176	91,5	113,8	182,4	104,6	163,6
2749006	202,5	234,7	157,9	75	188,3	45,6	202,9	80,2	164	175,8	105,9	207,1
2749007	99,4											
2749013	112,2	170,3	194,8	66,3	192,9	46,9	203,9	85	167,5	189,8	159,7	160,3
2749016	196,3	208,1	90,7	92	185,5	38	157,4	64,2	145,2	174,9	142,9	241,7
2749017	117,7	118,7	141,9	70,7	176,3	50,2	192,9	78,2	166,3	178,9	106,6	139,2
2749033	74,6	74,6	149,8	20	158,3	36,3	126		123	193,1	60	97
2749037	116	114,6	64,9	72,8	177,2							
2749039	108,3		143,4	79,2	188,6		173,6	77,2	136	158,2	138,4	108,4
2749041	185	228,6	193,6	28,2	166,4	44,2	191,2	76,8	161,6	178,5		189,5
2749043												
2749045	198,6	152,1	141,4	36	181,1	16,9	154,5	99,3	157,9	108,9	121	179
2749046	162,1	115,1	132,4	62,7	175,8	29	202,7	84,5	182,7	167	132,7	
2749049												
2749050												
2749051												
2749052												
2749053												
2750014	236,4	229,5	192,8	96,5	185	30	204,3	83,7	122,1	199,3		260,5
2008	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
2648001												
2648002												
2648019												
2648024												
2648038												
2649001		245,1		147,3		48,5	41,4	74,9	150,1	323,4	524,2	139,4
2649002	326,8	230,7	152	206,5	72,3	73,6	23,3	94,8	163,4	415,9	557,9	161,8
2649003	333	205,9	88,4	177,4		77				100,1	159,9	141,2



2649004	198,2	151,5	135,1	118,4	31,2	53,9	8,9	93,4	75,2	343,3	798,1	156,2
2649005	163,6	218,9	83,3	182,5	45,7	76,3	19,2	81,5	139,1	334,6	616,6	182
2649007			90,4	184,8	118,5	86,4	17,9	114,9	147,4	360,1	1001,2	166,7
2649008	335	216,4	200,7	119	28,3	44,7	15,2	73,3	122	412	630,9	145,3
2649009												
2649010	253	184	83	124,2	90,2	80	21,2	93,6	167,6	357,6	781,8	202,9
2649017	188,7	156,1	134,4	127,4	45,1	54	14,9	69,2	172,1	367,41	394,41	151,6
2649038												
2649053								86,2		333	230,4	
2649058	61,5	116,4	78,1	143,9	62,9	90,3	17,7	95,8	121	353,8	194,5	67
2649061	118,2	96,8	63,4	188	80	124,8	20,6	95,8	165,2	361,5	215	58,2
2649065	197,7					0	138,7		164,5		1826,67	
2649075												
2649076												
2649077												
2649079												
2649083												
2649084												
2649085												
2650014												
2650023		187,6	124,2	170,4	60,6	106,6	15,7	101,6	120,5	301,5	160	38
2650031												
2748000		209,3	40,3	180	114,6	67,3	11,4	127,8	143,7	313,23	487,4	203,6
2749000	130,2	150,1	102,2	134,6	54,6	83,8	8,9	92,1	172,3	352,7	394,3	148,5
2749001	130,1	127,5	76,3	141,8	33	96,7	13,2	78,5	161,9	336	273,8	14,8
2749002			104,5	149,8	51,6	126,3	36,6	84,6	146,3	333,3	167,8	110,8
2749003				149,7	69,9	98,7	21,2	89,7	151,5	406,8	166,4	68,4
2749005	135,4	186,3	100,9	120	91,5	86,9	21,8	74,9	168,3	292,8		
2749006	202,8	95,1	119,7	142,5	67,4	106,4	32,3	89,2	146,9		203,3	76,4
2749007	237	184,3	177	90,3	73,2	111,9	37,3	106,9	151,1	308,9	166,5	87,9
2749013	237,8	69,8	109	178,6	75,5	110,5	29,4	85,9	142,1	303,5	144,5	40,8
2749016	134,9	166,7	91,1	150,9	53,3	87,7	15,2	97,2	163	371	392,1	165,7
2749017	292,1	156,4	148,9	162,6	59,3	131,7	35,9	84,6	152,9	314,2	174,6	75,1
2749033	203,3	185,9	101	180,8	43	59	34,8	98	174,9	260,53	218,2	51,8
2749037		108,1	179,3	203,2	54,4	122,9	34,3	91,9	145,1	340,9	173,1	
2749039	108,3	81,3	97,1	154	50,5	101,3	24,7	83,1	138,8	316,9	171,15	79,3
2749041	166,8	167,6	158,6	141,4	68	144,2	34,4	76,5	163,9	325,6	193,8	74,8
2749043												
2749045	127,5	105,3	81,6	177,6	72,5	84,3	22	68,8	72,9	273	560,3	117,7
2749046	122,3	112,9	116,8	156,7	57,8	101,8	16,7	93,3	136,2	312,9	238,7	83,1
2749049												
2749050												
2749051												
2749052												
2749053												
2750014	227,3		145,3	64	107,4	18,1	86	152,7	383,4	150,8	69,6	



2009	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maiο	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
2648001												
2648002								67,8	275,5	150,2	129,5	85,8
2648019												
2648024												
2648038			50		65	39,6	165,4	129,9	259,5	119,3	153,6	107,7
2649001	283,2	174	44,7	42,5	78,6	48,6	173,8	227,8		170,3	260,3	89,4
2649002	265,9	231	131,9	75,2	68,4	53,3	228,2	189,4	331,7	170,2	213,3	95,8
2649003										100,1	159,9	141,2
2649004	331,1	87,7	38,5	47	32,2	35,6	218,7	149,8	219,8	155,1	89,3	76,2
2649005	256,6	147,1	42,2	35,3	62,4	48,8	202	197,4	274,4	164	236,1	133,9
2649007	281,7	198,5	78,4	49,2	62,4	39,3	190,2	200	282,2	159,3	242,6	99,9
2649008	391,7	144,6	65,1	41	35,4	41,1	94,5	49,2	112	115,1	194,5	103,1
2649009												
2649010	322,6	287,8	83,8	33,2	59,8	47		184,2	292,8			
2649017	287,8	152,9	95,5	19,3	34,6	35,1	239,4	161,3	353,1	105,4	99,8	220,2
2649038												
2649053												
2649058	216,5	192,9	9,9	17,5	100,6	39,7	253,6	121,1	287	129,3	179,5	68,5
2649061	278,5	116	130,2	77,4	91,4		216,8	199	354,2	159,4	229,8	150,8
2649065												
2649075												
2649076												
2649077												
2649079												
2649083												
2649084												
2649085												
2650014												
2650023	346,3	147,3	48,2	57,3	79,1	69,4		198,8	331,6	175	180,3	307,6
2650031												
2748000	50,2	61	68,1	158,1	34,7	33,7	189,2	143,1	217,2	172,1	209,9	143,7
2749000	303,6	171,2	94,3	36,2	66,7	51,7	211,2	207	282	151,3	131,3	85,8
2749001	207,7	113	57	41	82	42	197,2	163	263	126,5	113	112,4
2749002	171,1	120,5	81,7	74,4	69,4	51,7		126,2	287,8	173,3	162,8	154,8
2749003	142,1	119,7	57,7	49,5		42	203,7	193,6	338,5	199,1	125,5	132,5
2749005		157,9	53,8	52,2	122,96	47	207,5	190,6	311,3	149,3	140,4	151,6
2749006	160,3	149,9	101	37,8	74,9	46,3	200,6	141,5	326,3	187,6	123,1	258,7
2749007	163,8	87,8	153,8	67,7	91,3	50		147,9	306,3	102,5	186,7	157
2749013	193,2	151,1	109,3	51,5	230,4	51,9	190,9	156,4	301,6	180,9	120	245,9
2749016	296,4	172,4	101,8	52,1	70,4	54,1	210,3	187,3	259,5	153	145,8	95,1
2749017	167,1	146,9	85,3	65	74,9	59,2	197,3	173,2	306,2	136	198,1	171,8
2749033	75	65,7	118,3	66	44,7	61,6	126,9	116,7	255,6	126,4	182,3	66,4
2749037	173,1	76,2	136,1	21,8	61,2	58,6	172,3	161,2	263,7	131,6	191,3	141,1
2749039	265,3	148,4	97,8	53	65,2	46	187,3	159,8	284,4	152,6	99,3	166,3
2749041		169,8	96,4	56,6	68,4	55,4	198,6	156	304	181,4	111,2	218,4



2749043												
2749045	234,2	133,6	146,8	99,5	93,2	33	185,4	165,2	253,6	137,9	137,8	122,6
2749046	266,9	114,5	61,5	61,6	73,4	38,3	192,8	143,6	256	129,3	144,2	107,2
2749049												
2749050												
2749051			12,4	184,8	162,8	96,8	322,6	271	490,2	295,6	188,4	346,2
2749052				143,8	118	70	295,6	219,4	425,8	267,6	180,2	267,4535
2749053				114	161,2	72,2	298,2	289,6	429,6	249,6	305	195,6
2750014	168,9							182,1	312,6	164,3	110	112,3
2010	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
2648001												
2648002	278,7	195,1	289,7	240,9	198,1	161,7	176,2	69,3	105,4	160,8	97,1	202,3
2648019												
2648024												
2648038	244	167,8	225,4	243,7	165,4	130,3	120,8	66,07	63,6	112,1	93,8	369,6
2649001		76,2	221	189,3	193,6	136,6	209,6	88,4	31	126,6	60,2	348,1
2649002	468,7	253,8	299,8	268,3	223,8	109	154,5	80	75,3	187,9	116	213,6
2649003	415,1	196,6	256,2	273,8	184,4	155,2	187,2	59,8	88,6	170,3	153,7	203
2649004	344,6	178,1	251,3	202,8	137,8	111,4	130	106,6	56,1	118,7	130,9	252
2649005	437,6	179,4	232	240,3	193,9	150,8	121	87,3	69,2	167	138,3	275,4
2649007	374,8	127,9	182,2	226,9	180,4	149,8	121,7	82,8	80,1	138,3	135,3	270
2649008	796	270,7	227,3	264,9	207,8	154,2	134,7	70,1	54,7	137,4	153,9	250,2
2649009												
2649010												
2649017												
2649038												
2649053										145,3	101,7	178,5
2649058	192,1	82,2	148,3	240,3	158,8	112		0	67,2	189,8	37,6	309,8
2649061	201	173	223	313,2	208,6	123,6	128	89,2	59,6	159,6	66	274,2
2649065												
2649075												
2649076												
2649077												
2649079												
2649083												
2649084												
2649085												
2650014												
2650023	273,3	131,6	283,9	305,2	204,7	143,6	289,4	77,2	76,5	250	78,9	251,8
2650031												
2748000	294,6	163,1	204	225,2	232	155	122,8	66,1	106,9	92,9	132	218,8
2749000	195,4	172,3	218,2	247,4	152,3	101,4	134	81,4	71,1	161,1	127,2	313,9
2749001	173	96,9	173,5	252	171	76,2	111	81,4	91	149,1	97,7	313,5
2749002	218,1	73,7	149,2	168,1	140	66,1	77,5	86,8	79,3	164,4	149,1	193,3
2749003	203,2	134,9		257,8	210	77,5	122,6	104	84,6	195,3	105,5	286,8
2749005	204,8	93,9	229,2	263,6	188,6	82,4	144,7	87,8	82,34	163,4	89,6	274,9



2749006		120,1	166,9	194,8	210,4	30,2	93,1	91,6	88,3	160,5	143,2	195,2
2749007	232,2	149,4	127,2	205,2	185,7	56,2	136	92,1	103,9	103,3	137,7	109,2
2749013	289,3	101,2	159,8	210,8	177,1	45,1	126,9	88,3	89,6	136	131,1	187,8
2749016	216,2	173,4	223,1	255,3	159,5	101,6	124,2	84,9	75,7	155,1	136,6	294,5
2749017	255,2	106	142,7	186,1	192	59,5	77,1	94,7	95,7	151,6	148,5	240,2
2749033	121,6	53,4	147,9	187,7	139,9	78,3	101,2	70,2	120,3	119,7	120	106,7
2749037	189,7	158,5		153,7	190,2	71	70,4		61,3	134,6	106,7	76,8
2749039	171,1	56,5	206,8	241,3	164,5	62,1	117,3	100,3	86,3	150,7	137,2	234,9
2749041	206,8	100,6	203,6	208,8	181,2	63,8	112,6	72,8		155,6	130,4	229
2749043												
2749045	213,7	98,1	239,8	240,9	157,2	114,9	138,5	72,1	160,3	170,2	205,5	233,8
2749046	182,8	77,8	195,9	181,1	125	81,5	107,8	96,4	82	160,3	106,7	220
2749049												
2749050												
2749051	408,2	140,2	294,4	370,2	264,8	103,8	166,6	151,2	116,4	281,6	199,4	430,6
2749052	223,4477	75,8364	237	299	230,8	91,8	37,6	53,6	135,2	215,2	204,4	330,6
2749053	430,8	170,2	308	355	237,2	156,2	202	133,2	166	272	203,8	547,6
2750014	188,4	89,7	207,4	262,5	198,8	88,3	111,1	100,7	77,4	204,2	113,8	267
2011	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
2648001												
2648002	389,6	368,7	321,1	94,7	103,8	82	193,3	383,7	217,8	140,3	103,1	165,8
2648019												
2648024												
2648038	517,7	329,9	276,6	83,3	29,3	27,8	105,3	329,3	250,2	130	71,4	122,4
2649001	456	310,2	250,4	33,4	74,9	57,3	165,1	649,4	218,2	88,9	30,8	85,2
2649002	368,2	446,5	388	44,4	110	81,2	228,5	389,7	251	177,9	91,5	176,5
2649003	292,2	448,9	395,2	41,6	80,4	99,3	203,5	338,2	229,4	79,5	124,8	98,7
2649004	366,6	298,4	152,1	20,7	123,8	64,5	74,5	122,8	156,2	134,9	87,9	151,7
2649005	335,9	346,8	305,4	44,8	91,9	76,1	203,2	362,3	264,4	131,99	100	170
2649007	422,6	276,6	296,5	114,3	104,9	79,6	213,3	372,9	248,7	132,7	49,1	144,2
2649008	311,6	479,6	332,2	53	107,9	79,9	223,9	373,8	273,9	150,3	91,2	184,2
2649009												
2649010												
2649017								398,9	280,8	91,6	73,7	167,42
2649038												
2649053		202,7	113,6	40,4	65,1	79	304,9	290,4	212,5	308,4	222	235,7
2649058	178,3	277,3	116,2	50,5	0	114,9	192,7	240,6	247,5	95,6	76	37
2649061	223,6	256	115	43,2	66,4	99	280	335	257	129,9	100	133,6
2649065												
2649075												
2649076												
2649077												
2649079												
2649083												
2649084												
2649085												



2650014												
2650023	364,7	274,1	96,7	76	52,1	202,9	204,3	323,3	254,9	186	175	93,7
2650031												
2748000	184,3	292,1	394,3	63,7	93,6	112,8		365,9	240,5	96,6	79,6	84,3
2749000	172,6	217,7	213,8	49,3	98,4	77	226,3	342,1	252,4	120,4	86,2	221,6
2749001	206,2	268	170,2	58,9	58,5	100,3	207	325	228	122,1	55,5	145
2749002	190	204,2	156	57,8	100,6	85,3	214,3	292,2	194,1	117,4	69,7	70,1
2749003	430,9	267,6	147	90,1	105,2	93,1	280	315	269,7	237,6	167,5	104,7
2749005	257,7	274,2	225,18	59,7	81,3	99,6	246,7	317,2	249,2	147,6	62,12	130,06
2749006	421,8	252,2	131	61,5	112,9	87,2	259,6	292,2	242,5	149,5	116,7	81,6
2749007	313,6	235,7	89,4	55,5	90,6	96,3	169	386,5	257,9		39,6	58,3
2749013	331,9	181,7	111,4	53,7	95,5	72,6	224,9	300,5	239,7	139,7	90,6	68,9
2749016	182,2	248,9	230,9		101	80,4	206,4	344,5	254	114,4	94,3	203,7
2749017	264,1	189,3	265,9	71,1	109,8	97,6	206,5	377,3	258,2	121,2	78,1	79,4
2749033	78,2	178,6	84,5	91,2	120,9	71,4	132,7	339,2			121,2	55
2749037	203,2	202,8	78,3	45,1	86,7	83,2	152,8	353,7	249,5	102	45,1	67,2
2749039	243,7	221,5	153,4	67,5	105,9	82,4	202,6	355,4	248,2	133	72,8	116,4
2749041	445,6	177	218,6	49	127,4	97,4	213,4	338,6	263	127	93,8	96,8
2749043												
2749045	266,9	373,8	349,9	48,2	114,3	63,9	181,8	340,2	206,1	113,5	140,4	184,7
2749046	249,3	199,1	139,1	76,8	86,1	99,4	175,79	343,2	262,3	90,3	80	69,8
2749049												
2749050												
2749051	533	369	214,2	115	168	143,8	330,4	465,2	274,3558	126,9179	96,4	86,8
2749052	553	314	247	84,2	152,8	70	250,0662	346,0821	271,8904	131,2108	69,4	58,8
2749053	268,8	353,4	346,2	64	136,4	138,8	253,0355	470,2	295	153,8	128,8	244
2750014	378	333,5	153,1	85,8	94,9	84,9	250,6	317,1	250,4	177,4	116,6	90,8
2012	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
2648002	293,6	100,2	98,5	198	152,9	168,6	211,6	19,1	74,3	123,4	67,5	170,5
2648038	305,2	34,2	125,6	56,8	149,4	155,2	125,8	45		83,11	33,5	
2649001	155,5	54	53	89,7	35,8	149,5	405,6	30,1	52,4	115,4	31,4	92,3
2649002	300	109,8	69,3	222,7	153,6	181,6	254,6	39,6	53,1	149,7	92,3	270,4
2649003	294,3	200,2	45,4	163,5	136,8	146,7	247	18,5	96,1	159,1	115,3	183,3
2649004	385	80,8	75,3	138,7	135,7	152,1	234,4	35,2	48,5	138,5	96,6	134
2649007	357,6	115,9	156,9	159,5	126,1	161,3	204,2	26,3	65,9	116,5	44,8	122,8
2649008	289,5	106,2	66	193,1	122,9	177,6	244,7	34,9	57,4	134,8	102,6	248,5
2649010				127	113,6	182	221,9	93,3	64	141	100,2	179,7
2649017	188,25		9,6	113,38	111,2	103,2	216,8	28,2	49,8	135,8	45,8	57,7
2649053	227,7	230,1	42,4	149,9	84,9	103,4	177	11,5	67,3	194,2	139,6	143,9
2649058	215,9	194,6	38	190	105	192,5	230,6	20,4	78	146,7		150,5
2649061	204,2	161,8	32	126,4	82	160	212	23,6	61	127,7	48,8	154,9
2649065				163,5		195,7	221,3	14,2	63,3	180,2	94,2	206,8
2650023	261,5	222,8	78,9	155,2	88,6		187,1	17,7	73	253,4	90,9	267,1
2748000	329,7	108,9	85	123,1	111,3	130	177,1	48,7	65,5	91,12	82,5	103,2
2749000	187,9	141,7	81,3	144,2	77	164,8	203,3	17,5	65,7	150,9	80,3	127,6
2749001	191,5	114	59	144	75,5	140	186	23,5	61	144	70	114



2749002	229,1	111,1	59,2	129,1	55,5	125,6	143,3	13	66	214,5	47,6	162,5
2749003	225,3	204,6	40,5	203,5	76,8	150	198,8	27,5	52,9	172,3	81,7	156,7
2749005	177,9	181,7		149,26	84,8	150,7	188,4	18,5	69,8	153,1	76	
2749006	191,9	175,4	71,8	153,6	66,7	147,8	159	15,2	72,3	197,2	44,9	110,1
2749007	267,8	170,2	106,9	117,8	40,8	171,1	162,7		97,3	138,4		114
2749013	214,6	96,3	42,6	146,1	59,9	165,9	159,1	12,5	57,3	209,1	39,4	214,5
2749016	204,3	152,8	78,5	141,4	81	154,6	199,2	29,9	69,2	155	79,4	144,7
2749017	256,3	152,7	37,1	98,1	58	151,1	155,6	18	79	178,1	40,5	184
2749033	156,8	83	60,2	46,3	65,2	175,7	168,3	3	33,2	213	63	78,4
2749037	287,5	172,2	60,3	121,5	47,5	136,2	151,4	7,6	86,5	172,2	64,4	173,1
2749039	189,6	165,3	127,5	153,5	71,7	149	192,6	16,5	50,4	147,9	75,3	146,5
2749041	169,8	168,6	46,8	157,8	56,6		159,2	13,2	52,6	209,6	51,2	209,6
2749045	386,2	128,9	100,1	113,3	110,9	139,6	161,9	49,1	73	138,4	90,8	154,7
2749046		81,2	63,9	118,8	38,5	149,6	167,3	11,5	56,4	141,1	73,4	162,1
2749051	196	169,09	50	159,6	52,8	130,8	188,2	16,4	50,8	188,8	72	200,4
2749052	142,71	135	58,2	118,8	51,8	117	158,2	12,2	48	187,4	63,6	193,4
2749053	354,2	243	109	233,4	112,2	219,8	272,2	39,2	93,2	236,2	118,8	128
2750014	207,6	204	25,8	186,4	60,9	141,9	185,1	24,8	45,1	139,7	62,8	186
2013	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
2648001									194,7	133,7	91,3	60
2648002	113,2	226	237,7	137	90,5	251,1	161,7	103,1	222,1	124,3	89,7	86,8
2648019												
2648024												
2648038	33,8	144,1		89,3	43,9		137,5	111,5	217,3	128,7		
2649001	66,2	94,6	61,2	36,4	45,9	114,1	122,6	72,6	235,9	129,1	74,2	57,2
2649002	101,4	310,6	165,8	64,8	115,2	267,1	173,1	144,5	231,5	160,8	120,5	100,1
2649003	118,7	188,3	172,2	33	81,5	223,5	187,3	159,9	237,1	133,1	170,9	
2649004	92,7	164,2	136,6	49,7	79,2	247,8	143	128,5	241,7	144	129,7	83,9
2649005								70,6	230,7	107,7	82,7	51,5
2649007	88,2	152,2	133,1	126,1	118,6	216,3	158	138,5	224,4	130	98,2	115,8
2649008	110	161,9	144,6	34,6	111,2	231,3	172,1	141,8	220,4	111,8	107,6	82,2
2649009									212,6	119	97,1	112,1
2649010	70,1	160,8	163	92,9	102,4	232,1	170,3	122,2	235,3	132	116,3	93,3
2649017	63,7	154,8	143,5	39,5	83,6	259,8	212	103,7	274,2	144	142,5	76
2649038												
2649053	61	161,6	96,2	71,6	42,4	232,4	97,1	179,9		117,9	32,5	74,5
2649058	71,2	115,1	119,4	51,8	94,3	293,8	44		245,7	174,4	124	73,2
2649061	65,8	140,4	184	43	83,2	239,8	126,6	192,2	301,7	140	80	97,6
2649065	71,3	145	120	43	116,3	239,2	176	129,9	217,8	122,6	157,7	101,5
2649075												
2649076												
2649077												
2649079												
2649083												
2649084												
2649085												



2650014												
2650023	178,4	176,4	140,3	63,3		246,3	157	165,5	261,5	1116	78,8	103,9
2650031												
2748000	139,5	152	308,7	200,1	70,2	191,7	185,5	116,1	206,4	123,2	58,4	99,2
2749000	80,2	181,4	141,3	48,5	86,1	221,1	143,6	190,4	286,2	101	87,7	100,9
2749001	64	201,5	123,5	53,5	57	214	149	179	183	100,5	58,4	87
2749002	89,6	129,2	165	65,1	51,5	194,8	95,6	189,3	302,2	78,9	32,5	110,9
2749003	177,3	228,3	155,8	53,1	34,8	235,4	121,8	193,2	271,8	106,2	91,3	158,1
2749005	77,6	235,2	144,4	64,6	66,2	227,8	129,6	219,7	277,5	130,9	84,7	99,6
2749006	96,7	131,8	185,2	74	44,8	217,8	97,3	191,5	296,4	108,6	87,2	150,3
2749007	108,1	143,2	219,6	44,4	56,5	141,5	69,8	217,5	276	67,5	68,9	147,4
2749013	74,6	172,6	149,2	39,6	53,7	206,5	96,9	213,9	293,2	97	73,1	143,6
2749016	72,9	195,4	158,5	55,1	87,2	240,2	141,3	187,7	265,3	126	85,3	123,3
2749017	125,6	137,1	171,1	69,4	46,7	181,4	69,1	194,3	288,1	82,4	44,3	116
2749033	28	192,3	112	96,1	73	94		95	317	87,8	35	112,6
2749037	58,7	97		54,7	55,4	189,4	61,3	201,7	277,9	73,6	53,6	72
2749039	86,4	169,6	152,4	62,5	36,5	228,5	105	170,3	236,2	118,5	54,8	108,1
2749041	88,8	144,4	182,2	53	43,8	199,4	77	181,8	277,6	95,4	54	141,8
2749043												
2749045	76,7	208,2	289,9	108,5	80,3	145,6	150,2	169,4	235,8	148,6	89,7	88,1
2749046	91	211,3	218,9	81,3	105,2	190,7	89,8	158,4	257,7	92	45,4	76,8
2749049												
2749050												
2749051												
2749052												
2749053												
2750014	174	193,8	169,8	52	42,6	230,6	105,5	184,2	269,6	120,6	93,5	100,6
2014	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
2648001	78,7	71,8		37,7	32,9	406,9	100,5	167,6	285,8	120,2	232,9	141,2
2648002	204,7	95,8	298,7	64,9	51,7	352,5	54,2	126,4	135,1	51,1	194,9	151,2
2648019												
2648024												
2648038			248,3	61	74,6		44,1					
2649001			201,9	85,8	114,5	291,3	30,5		201,2	35,7	129,7	111,1
2649002	231	168,8	228,5	70,4	84	376,3	53,7	128,5	157,3	52,4	135,3	127
2649003	211,6	174,9	264,5	99,9	85,3		72,8	68,6	165,5	58,9	144,1	173,7
2649004	148,7	127,5	254,7	22,7	11,4	306,5	29,6	17,4	111,8	8,2	246	100,9
2649005		140,4	170,8	99,3	100,8	289,7	27,8	74	192,9	54,2	149,8	124,2
2649007	209,4	181,4	288,8	52,5	90,7	344,4	65	105,5	185,7	79,9	152,7	187
2649008	191,6	191,9	214,5	105,9	81,3	383,7	51,2	116,7	160,2	51,3	146,2	186,2
2649009	190,2	176,1	243,5	47,6	77,6	353,5	55	90,5	178,2	70,3		188,8
2649010	176,6	159,9	250,5	82	90,9	318,3	48,9	140,7	160,1	52,2	152	147,3
2649017	137,2	168,3	163,8	113,4	31,2	409,8	19,8	48	133,5	32,8	89,4	127,8
2649038												
2649053	309,3	128,6	167,5	24,3	102,5	394,2	46,2	88,3	139,6	111	161,8	167,9
2649058	198,5	42,7	87,1	125								



2649061	235,2	232	288,2	92,5	77	70,8	113	138,8	66,2	141	235,6	
2649065	220,1	219,9	326,2	128,8	113,2	455,4	41,4	102,6	183,7	69,2	240,2	156,5
2649075												
2649076												
2649077												
2649079												
2649083												
2649084												
2649085												
2650014												
2650023	268,6	115		81,2	81,2	525,4			203,7			
2650031												
2748000	267,2	82,1	208	57,9	85,5	297,7	62,2	97	168,3	62,7	112,2	185,1
2749000	301,1	216,9	226,7	42,2	127,8	341,3	64,3	87,6	190,7	68,3	98,9	161,4
2749001	187	150	194		75	340	65	128	150,5	87	127	163
2749002	227,6	186,3	155,2	43,9	116,4	365,5	48,5	99,1	198,4	180,2	161,9	169,3
2749003	288,4	171,6	187,2	66,1	74,9	456,8	33,2	85,5	231,5	139,7	137	152,1
2749005	289,2	223,9	206,9	37,3	96,1	378,7	60,2	102,6	184,5	80,1	130,9	183,3
2749006	298,8	140,4	121,7	67	127,1	424,7	52,5	73,8	230,7	145	190,8	261,6
2749007	176,5	189,3	146	118,1	140,7	348,9	74,5	101,5	182,7	166,7	142,1	210,1
2749013	179,5	148,1	99	45,7	110,6	421,4	44,6	88,5	212,3	157,4	110,7	248,5
2749016	309,4	223,9	265,6	45,4	95,6	340,3	59,9	102	197,5	74,4	109,3	179,9
2749017	264,6	145,6	178,7	38,7	153,3	334,8	51,9	83,9	195,1	162,5	133,2	243,2
2749033	170,1	205,5	154,9	47	116,5	294	90	111	208	151,1	148	172,5
2749037	222,8	169,9	156,7	84,9	136,3	333,9	63,2	101,9	189,9	146,3	128,9	181,4
2749039	212,6	209,5	90	40,9	106,7	341,4	43	79,5	178	138	140,4	
2749041	276,2	150,6	121,8	70,2	136,9	381,6	38,3	104,2	193	177	113,6	235,6
2749043												
2749045	280,8	185,5	197,4	58,4	88,9	355,1	74,2	135,8	179,2	149,2	103,2	160,6
2749046	234,3	215,8	85,8	47,1		347,8	68,4	75,6	174,1	161,1	141,3	198,7
2749049												
2749050												
2749051												
2749052												
2749053												
2750014	138,3	96,2	166,5	73,9	48,9	347,4	31,7	106	184,6	139,5	140,7	173,6