

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO ESCOLA DE MINAS DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

AVALIAÇÃO DE SUSCETIBILIDADE PARA FLUXO DE DETRITOS NAS SERRAS DE OURO PRETO E ANTÔNIO PEREIRA, QUADRILÁTERO FERRÍFERO (MG)

Bruno Meira de Souza

MONOGRAFIA nº 449

Ouro Preto, outubro de 2022

AVALIAÇÃO DE SUSCETIBILIDADE PARA FLUXO DE DETRITOS NAS SERRAS DE OURO PRETO E ANTÔNIO PEREIRA, QUADRILÁTERO FERRÍFERO (MG).



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO

Reitora

Prof.ª Dr.ª Cláudia Aparecida Marliére de Lima

Vice-Reitor

Prof. Dr. Hermínio Arias Nalini Júnior

Pró-Reitora de Graduação

Prof.^a Dr.^a Tânia Rossi Garbin

ESCOLA DE MINAS

Diretor

Prof. Dr. José Alberto Naves Cocota Júnior

Vice-Diretor

Prof. Dr. Cláudio Eduardo Lana

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

Chefe

Prof. Dr. Edison Tazava

MONOGRAFIA

Nº 449

AVALIAÇÃO DE SUSCETIBILIDADE PARA FLUXO DE DETRITOS NAS SERRAS DE OURO PRETO E ANTÔNIO PEREIRA, QUADRILÁTERO FERRÍFERO (MG)

Bruno Meira de Souza

Orientador

Prof. Dr. Luis de Almeida Prado Bacellar

Coorientador

Julio Cesar Lana

Monografia do Trabalho de Conclusão de curso apresentado ao Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para avaliação da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso – TCC 402, ano 2022.1.

OURO PRETO

2022



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO REITORIA ESCOLA DE MINAS DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



FOLHA DE APROVAÇÃO

Bruno Meira de Souza

Avaliação de Suscetibilidade para Fluxo de Detritos nas Serras de Ouro Preto e Antônio Pereira, Quadrilátero Ferrífero (MG)

Monografia de Trabalho de Conclusão de Curso apresentada ao Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para avaliação da disciplina Trabalho de Conclusão - TCC 402, ano 2022.1

Aprovada em 21 de outubro de 2022

Membros da banca

Dr Luis de Almeida Prado Bacellar - Orientador - DEGEO/UFOP Dra. Iraydes Tálita de Sena Nola - DEURB/UFOP Dr. Flávio Affonso Ferreira Filho - DEMIN/UFOP

Luis de Almeida Prado Bacellar, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 31/10/2022



Documento assinado eletronicamente por **Luis de Almeida Prado Bacellar**, **PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 31/10/2022, às 16:54, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do <u>Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015</u>.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <u>http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?</u> <u>acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0</u>, informando o código verificador **0419988** e o código CRC **C084BACE**.

Referência: Caso responda este documento, indicar expressamente o Processo nº 23109.014823/2022-23

SEI nº 0419988

R. Diogo de Vasconcelos, 122, - Bairro Pilar Ouro Preto/MG, CEP 35402-163 Telefone: 3135591600 - www.ufop.br

Agradecimentos

Agradeço a Deus por tudo, agradeço a minha família pelo apoio incondicional, agradeço aos amigos por ouvirem meus desabafos, agradeço aos colegas pela ajuda e exemplo, agradeço aos professores pelo conhecimento compartilhado, agradeço ao orientador e coorientador deste trabalho, agradeço à UFOP por fazer questão de seus alunos, agradeço à Ouro Preto por sua beleza e pelo respeito aos estudantes.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	ix
SUMÁRIO	xi
LISTA DE FIGURAS	xiii
LISTA DE TABELAS	xv
RESUMO	. xvii
ABSTRACT	xix
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 APRESENTAÇÃO	1
1.2 LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO	2
1.3 HIPÓTESE É OBJETIVOS	3
1.4 JUSTIFICATIVA	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 PADRÕES DE DRENAGEM, ENCOSTAS E MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS	DE
MASSA	5
2.2 FLUXO DE DETRITOS	8
2.3 MÉTODOS DE MODELAGEM E DETERMINAÇÃO DE SUSCETIBILIDADE A FLUXO) DE
DETRITOS	9
2.3.1 Suscetibilidade e risco	9
2.3.2 Modelos utilizados na avaliação de fluxo de detritos	9
2.3.3 Alguns modelos matemáticos	10
2.3.4 Modelos físicos ou empíricos	11
2.3.5 O modelo de fluxo de detritos e mapa de suscetibilidade do Método GIDES	13
2.4 AVALIAÇÃO DE SUSCETIBILIDADE DE AFLUXO DE DETRITOS COM PARÂMET.	ROS
MORFOMÉTRICOS	17
3. MATERIAIS E MÉTODOS	25
3.1 ESTRUTURAÇÃO DOS DADOS	25
3.1.1 O Modelo Digital de Terreno (MDT)	25
3.2 APLICAÇÃO DO MÉTODO GIDES PARA A SELEÇÃO DE ÁREAS SUSCETÍVE	IS E
MODELAGEM DE FLUXO DE DETRITOS	26
3.3 OBTENÇÃO DOS PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS DAS BACIAS	28
4. CONTEXTO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO-GEOMORFOLÓGICO ECLIMÁTICO	29
4.1 GEOLOGIA DAS SERRAS DE OURO PRETO E DE ANTÔNIO PEREIRA	29
4.1.1 Rochas que afloram nas bacias estudadas	30
4.2 CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DAS ROCHAS QUE AFLORAM NAS BAC	CIAS
ESTUDADAS	33
4.3 GEOMORFOLOGIA DAS SERRAS DE OURO PRETO E ANTÔNIO PEREIRA	34
4.4 SOLO, VEGETAÇÃO E CLIMA	35
5. RESULTADOS	37
5.1 O CORREGO MATA-PAU	38
5.1.1 Parâmetros morfométricos	40
5.1.2 Padrões de curva de nível	40
5.1.3 Tabela de pontos e declividades	41
5.1.4 Resultado da modelagem do Córrego Mata-Pau	43
5.2 O RIBEIRAO FUNIL	46
5.2.1 Parâmetros morfométricos	49
5.2.2 Padrões de curva de nível	49
5.2.3 Tabela de pontos e declividades	50
5.2.4 Resultado da modelagem do Ribeirão Funil	53
5.3 O CORREGO SAO BARTOLOMEU	55
5.3.1 Parâmetros morfométricos	58

5.3.3 Tabela de pontos e declividades	5.3.2 Padrões de curva de nível	58
5.3.4 Resultado da modelagem do Córrego São Bartolomeu	5.3.3 Tabela de pontos e declividades	59
6. DISCUSSÃO	5.3.4 Resultado da modelagem do Córrego São Bartolomeu	62
6.1 CARACTERÍSTICAS DAS BACIAS ESTUDADAS	6. DISCUSSÃO	65
6.2 A APLICAÇÃO DO MÉTODO GIDES	6.1 CARACTERÍSTICAS DAS BACIAS ESTUDADAS	65
6.3 AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS	6.2 A APLICAÇÃO DO MÉTODO GIDES	67
7. CONCLUŠÕES	6.3 AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS	67
7.1 OS RESULTADOS ATESTAM A APLICABILIDADE DO MÉTODO GIDES?	7. CONCLUSÕES	73
7.2 FOI POSSÍVEL AVALIAR A SUSCETIBILIDADE AFLUXO DE DETRITOS COM AS ABORDAGENS ESCOLHIDAS?	7.1 OS RESULTADOS ATESTAM A APLICABILIDADE DO MÉTODO GIDES?	73
ABORDAGENS ESCOLHIDAS?	7.2 FOI POSSÍVEL AVALIAR A SUSCETIBILIDADE AFLUXO DE DETRITOS COM	AS
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	ABORDAGENS ESCOLHIDAS?	74
APÊNDICE A	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
	APÊNDICE A	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Localização da área de estudo3
Figura 2.1: Padrões de drenagem5
Figura 2.2: Zonas de um fluxo de detritos canalizado8
Figura 2.3: Mapa de suscetibilidade a escorregamentos e fluxos de detritos10
Figura 2.4 : Mancha gerada pelo modelo considerando diferentes resoluções do MDT, ângulo alfa =12° e coeficiente de espalhamento = 0,3711
Figura 2.5: Indicação do ângulo alfa (α)12
Figura 2.6: Condições para aplicação do método GIDES13
Figura 2.7: Detalhe da marcação das transversais e os pontos de início de confinamento e espraiamento14
Figura 2.8: Detalhe da construção da área crítica em (A) trecho confinado em (B) trecho não- confinado
Figura 2.9: Marcação dos pontos com o ângulo de dispersão16
Figura 2.10: Esquema de seleção entre os pontos de elevação relativa de 5 m de altura ou ângulo de dispersão17
Figura 2.11: Ordem de Strahler para uma bacia hidrográfica20
Figura 2.12: Relações entre os parâmetros morfológicos (em vermelho) e a ocorrência de fluxo de detritos
Figura 3.1: Fluxograma resumido para obtenção das áreas críticas e de dispersão26
Figura 3.2: Mapa hipsométrico das bacias selecionadas27
Figura 4.1 Mapa geológico simplificado do Quadrilátero Ferrífero
Figura 4.2: Coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero
Figura 4.3: Geologia de parte da Serra de Ouro Preto e perfil geológico representativo32
Figura 4.4: Mapeamento geológico escala 1:1000000 da área da anticlinal de Mariana33
Figura 4.5: Exemplo de relevo com cristas assimétricas como ocorre nas serras estudadas: <i>dip slope</i> , coincidindo com o mergulho da foliação de rochas mais resistentes34
Figura 4.6: Índices pluviométricos mensais
Figura 5.1: Mapa área de estudo com a localização das bacias estudadas
Figura 5.2: Mapa hipsométrico e de drenagem da Bacia do Córrego Mata-Pau38
Figura 5.3: Mapa de ângulo de encostas obtido para a bacia do córrego Mata-Pau39
Figura 5.4: Perfil longitudinal da do córrego Mata-Pau, com valores em metros
Figura 5.5: Mapa com marcação de pontos de início e fim do desconfinamento da bacia do Córrego Mata-Pau41
Figura 5.6: Pontos selecionados para cálculo das declividades utilizadas na modelagem do córrego Mata-Pau43

Figura 5.7: Detalhe da marcação de pontos críticos (de acordo com o caso) e formação do polígono crítico no córrego Mata-Pau44
Figura 5.8: Detalhe da marcação de pontos de dispersão e polígono de dispersão no Córrego Mata-Pau45
Figura 5.9: Carta de suscetibilidade à ocorrência de fluxo de detritos no Córrego Mata-Pau46
Figura 5.10 Mapa hipsométrico da Bacia do Ribeirão Funil47
Figura 5.11: Mapa de Ângulo de Encostas da bacia do Ribeirão Funil48
Figura 5.12: Perfil longitudinal obtido para a da bacia do Ribeirão Funil, com valores em metros
Figura 5.13: Detalhe dos pontos de início de confinamento e desconfinamento, e limites de declividade da bacia do Ribeirão Funil
Figura 5.14: Pontos selecionados para o cálculo das declividades utilizadas na modelagem da bacia do Ribeirão Funil
Figura 5.15: Detalhe da marcação de pontos críticos (de acordo com o caso) e formação do polígono crítico da bacia do Ribeirão Funil
Figura 5.16: Detalhe dos elementos construtivos da modelagem do polígono de dispersão de um fluxo de detritos na Bacia do Ribeirão Funil
Figura 5.17: Carta de suscetibilidade a fluxo de detritos da bacia do Ribeirão Funil55
Figura 5.18: Mapa hipsométrico da Bacia do Córrego São Bartolomeu56
Figura 5.19: Mapa de Ângulos de encostas
Figura 5.20: Perfil longitudinal (PL), valores em metros
Figura 5.21: Detalhe dos pontos de início de confinamento e desconfinamento, e limites de declividade
Figura 5.22: Pontos selecionados para o cálculo das declividades utilizadas na modelagem da bacia do córrego São Bartolomeu
Figura 5.23: Detalhe da marcação de pontos críticos e formação do polígono crítico modelagem da bacia do córrego São Bartolomeu
Figura 5.24: Detalhe da marcação dos pontos necessários à construção do polígono de dispersão modelagem da bacia do córrego São Bartolomeu
Figura 5.25: Modelagem de fluxo de detritos no Córrego São Bartolomeu64
Figura 6.1: Redes de drenagens das três bacias estudadas65
Figura 6.2 : Comparação dos parâmetros IC (adimensional), RR (m/km), AA (km), Dd (km/km ²), Ir (m/km), Comprimento (km), Índice de Melton (adimensional) e A2569
Figura 6.3: Perfis longitudinais da drenagem principal70
Figura 6.4: Hierarquia fluvial e ordem de bacia71

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - Classificação dos movimentos de massa
Tabela 2.2 - Caracteristicas dos tipos de movimento
Tabela 2.3 - Classes de causas dos movimentos
Tabela 2.4 - Equações de modelos em função do Ângulo alfa12
Tabela 2.5 - Utilização de parâmetros morfométricos e morfológicos no estudo de fluxo de detritos
Tabela 5.1 - Parâmetros morfométricos da Bacia do Córrego Mata-Pau
Tabela 5.2 - Declividades obtidas para a área de modelagem do Córrego Mata-Pau41
Tabela 5.3 - Parâmetros morfométricos da Bacia do Ribeirão Funil
Tabela 5.4 - Declividades obtidas para a área de modelagem51
Tabela 5.5 - Parâmetros morfométricos da Bacia Córrego São Bartolomeu
Tabela 5.6 - Declividades obtidas para a área de modelagem60
Tabela 6.1 - Características das bacias
Tabela 6.2 - Valores e critérios críticos para avaliação dos parâmetros morfométricos

Resumo

A análise de suscetibilidade a fluxo de detritos em uma bacia hidrográfica pode ser realizada a partir da avaliação de parâmetros morfométricos ou pelo método GIDES, este, utiliza de critérios topográficos para obtenção de mapas, com os esboços da trajetória e da área de atingimento de um fluxo de detritos. Pretende-se, com este estudo, unificar essas abordagens, a partir da avaliação à propensão de desenvolvimento destes movimentos de massa nas serras de Ouro Preto e Antônio Pereira, situadas no município de Ouro Preto (MG), nos flancos sul e nordeste da anticlinal de Mariana, respectivamente. As bacias selecionadas para o estudo apresentam litologias variadas e compartimentos geomorfológicos distintos, com canais de drenagem curvos e sinuosos, curvas de nível onduladas e de baixa simetria. Estas características não representaram empecilhos à aplicabilidade dos métodos. O método GIDES indicou a suscetibilidade à fluxo de detritos nos altos cursos das bacias estudadas sem, contudo, diferenciá-las quanto ao grau de suscetibilidade. A avaliação de parâmetros morfométricos apontou para suscetibilidade à fluxo de detritos alta para a bacia do córrego São Bartolomeu, pois apresenta o maior número de valores de parâmetros considerados críticos. Desta forma, o trabalho atestou, de forma positiva, para as abordagens escolhidas, o que sugere que as mesmas podem ser utilizadas em conjunto nas áreas serranas do município de Ouro Preto. Os métodos empregados e os resultados obtidos contribuem para um maior conhecimento das áreas críticas e bacias predisponentes ao desenvolvimento de fluxo de detritos em regiões de topografia acentuada.

Palavras-chave: suscetibilidade a fluxo de detritos, projeto GIDES, serra de Ouro Preto, serra de Antônio Pereira.

Abstract

The analysis of susceptibility to debris flow in a watershed can be performed from the evaluation of morphometric parameters or by the GIDES method, which uses topographic criteria to obtain maps, with the outlines of the trajectory and the area of reaching a debris flow. The aim of this study is to unify these approaches, based on the assessment of the developmental propensity of these mass movements in the Ouro Preto and Antônio Pereira mountains, located in the municipality of Ouro Preto (MG), on the southern and northeastern flanks of the anticline. Mariana, respectively. The basins selected for the study have varied lithologies and distinct geomorphological compartments, with curved and sinuous drainage channels, wavy contour lines and low symmetry. These characteristics did not represent obstacles to the applicability of the methods. The GIDES method indicated the susceptibility to debris flow in the upper reaches of the studied basins without, however, differentiating them as to the degree of susceptibility. The evaluation of morphometric parameters pointed to a high susceptibility to debris flow to the São Bartolomeu stream basin, as it has the highest number of parameter values considered critical. In this way, the work attested, in a positive way, to the chosen approaches, which suggests that they can be used together in the mountainous areas of the municipality of Ouro Preto. The methods used and the results obtained contribute to a better knowledge of critical areas and basins predisposing to the development of debris flow in regions of accentuated topography.

Keywords: susceptibility, debris flow, GIDES project, Ouro Preto mountains, Antônio Pereira mountains.

1.1 APRESENTAÇÃO

Desastres relacionados a movimentos gravitacionais de massa são bastante comuns no Brasil. Todos os anos são uma preocupação constante, principalmente na época de chuvas. Vários estudos, com diferentes metodologias, têm sido realizados na intenção de conhecer esses fenômenos, entender seus agentes deflagradores e os fatores condicionantes do meio físico, juntamente com a ação antrópica, que podem facilitar ou não a sua ocorrência.

Nesse contexto, o presente trabalho se apresenta como uma contribuição acadêmica no sentido de cooperar para um maior conhecimento do assunto, que se mostra vasto e de grande complexidade. Para tal foi preciso delimitar uma parte do problema para estudá-lo. Selecionou-se, como tema de estudo, o movimento de massa, do tipo fluxo de detritos, a fim de estruturar uma metodologia de mapeamento de áreas suscetíveis ao seu desenvolvimento, que fosse abrangente para o Quadrilátero Ferrífero, e tivesse um baixo custo de realização.

A área de estudo escolhida abarca as serras de Ouro Preto e de Antônio Pereira, situadas nos flancos nordeste e sul da anticlinal de Mariana, importante estrutura geológica e componente paisagístico do extremo sudeste do Quadrilátero Ferrífero. Estas serras apresentam características naturais e elevado grau de intervenção antrópica, que fazem delas um objeto de estudo de grande interesse para os assuntos aqui abordados. Outro fato motivador é o clima tropical de altitude, com chuvas concentradas e torrenciais, acrescido do histórico de desastres relacionados a movimentos gravitacionais de massa na região.

A revisão de literatura mostra que existem vários modelos, como por exemplo: o matemático, o empírico e o modelo do Projeto GIDES (Fortalecimento da Estratégia Nacional de Gestão Integrada de Riscos de Desastres) entre outros, que objetivam conhecer os fatores envolvidos no desenvolvimento do fluxo de, e estimar sua suscetibilidade.

O método aqui empregado consistiu na análise da suscetibilidade por duas abordagens distintas. A primeira consistiu no emprego da proposta da CPRM (2018) de mapeamento e individualização de áreas críticas à ocorrência de fluxo de detritos e suas áreas de dispersão associadas em uma dada bacia. A outra abordagem consistiu na análise morfométrica das bacias – com emprego de parâmetros morfométricos propostos em trabalhos consagrados nesta temática (Horton, 1945; Schumm, 1956; Melton, 1957; Shreve, 1967; Jakob, 1996). Acredita-se que o uso conjunto destas duas abordagens pode tornar os resultados de análise de suscetibilidade a fluxos de detritos mais confiáveis.

Os mapas de suscetibilidade à ocorrência de movimentos gravitacionais de massa podem nortear o uso e ocupação de regiões serranas de Ouro Preto, minimizando riscos e apontando áreas que necessitam de monitoramento ou benfeitorias por parte do poder público e das comunidades instaladas nestes locais.

O conjunto das características geomorfológicas, litológicas, estruturais e de clima, juntamente com as consequências de ações antrópicas desastrosas, frequentes desde o século XVII com o Ciclo do Ouro até a atual urbanização de suas vertentes e contrafortes, tornam estas serras um objeto de estudo para fluxo de detritos bastante pertinente (Sobreira & Fonseca 2001).

1.2 LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo, em segmentos das serras de Ouro Preto e de Antônio Pereira, encontra-se no município de Ouro Preto, estado de Minas Gerais. Três sub-bacias foram selecionadas para desenvolver o estudo, sendo duas tributárias da margem esquerda do rio das Velhas e uma tributária da margem direita (Figura 1.1). Estas sub-bacias são caracterizadas por seu relevo íngreme, atividade antrópica desordenada e chuvas intensas.



Figura 1.1: Localização da área de estudo.

1.3 HIPÓTESE E OBJETIVOS

Este trabalho parte da hipótese de que é possível avaliar a suscetibilidade a fluxo de detritos em uma bacia de drenagem com base em seus parâmetros topográficos e morfométricos.

O objetivo geral foi avaliar a suscetibilidade a fluxo de detritos nas duas vertentes da serra de Ouro Preto e uma vertente da serra de Antônio Pereira.

O objetivo específico consistiu em validar o método de avaliação de suscetibilidade proposto pelo Projeto GIDES (CPRM, 2018), utilizando a avaliação de parâmetros morfométricos, como proposto por Jakob (1996), Wilford *et al.* (2004) e Dias (2017).

1.4 JUSTIFICATIVA

Fenômenos relacionados a fluxo de detritos causam muitos danos e ceifam vidas, em especial nas regiões serranas que margeiam o litoral brasileiro, justificando a importância de mapear áreas com suscetibilidade para este tipo de movimentos gravitacionais de massa.

Souza, B. M., 2022, Avaliação de suscetibilidade para fluxo de detritos na Serra...

O problema dos desastres relacionados a fluxo de detritos não é novidade, o que fica evidente na grande recorrência de fenômenos relacionados a estes movimentos de massa no Brasil, que causam muitos danos e ceifam vidas, como no caso de Teresópolis, com 86 mortes (12 de janeiro de 2011). Isto mostra a relevância do assunto, que demanda uma quantidade maior de estudos (Dourado *et al.*, 2013).

Em busca de uma forma economicamente viável de estudo em grande escala, para áreas com suscetibilidade de ocorrência de fluxo de detritos, o Projeto GIDES (CPRM, 2018), que utiliza basicamente a integração de bases de dados cartográficos já existentes, parece ser uma boa opção. Este projeto apresenta um método para a confecção de cartas de suscetibilidade onde são localizadas áreas críticas e áreas de dispersão, relacionadas a fluxo de detritos em uma dada bacia.

As cartas obtidas pelo presente trabalho podem vir a contribuir para um maior conhecimento científico deste processo de movimento de massa e para atestar a aplicabilidade das abordagens adotadas para as serras estudadas e, futuramente para outras serras do Quadrilátero Ferrífero.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PADRÕES DE DRENAGEM, ENCOSTAS E MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA

Padrão de drenagem é o arranjo espacial dos cursos fluviais, podendo ser influenciado pela natureza e disposição das camadas rochosas, resistência litológica variável e diferenças de declividade (Christofoletti, 1980). A Figura 2.1 mostra alguns padrões de drenagem para serem usados como referência.



Figura 2.1: Padrões de drenagem. Fonte: Christofoletti, 1980.

As encostas, ou taludes naturais, podem ser definidas como toda superfície natural inclinada unindo outras duas com declividade diferentes, caracterizadas por diferentes energias potenciais gravitacionais (Griffiths & Fenton, 2004). Em geral são divergentes das cristas ou dos interflúvios, convergindo para os vales.

Os processos que atuam nas encostas são condicionados por fatores como: clima, vegetação, litologia e estrutura geológica (Bigarella *et al.*, 2003).

Movimento Gravitacional de Massa é o movimento de solo, rocha e/ou vegetação ao longo da vertente, sob a ação direta da gravidade. A contribuição de outro meio, como água ou gelo, se dá pela redução da resistência dos materiais de vertente e/ou pela indução do comportamento plástico e fluido dos solos (Tominaga, 2012).

Os movimentos gravitacionais de massa podem ser desencadeados por ações antrópicas ou naturais. E podem causar vítimas e prejuízos a depender da ocupação nos locais onde ocorrem (Avelar, 2003). As tabelas 2.1, 2.2 e 2.3 apresentam respectivamente os tipos de movimentos gravitacionais de massa, as características dos mesmos e as classes de causas dos movimentos.

	TIPO DE MATERIAL			
TIPO DE		SOLO (ENGENHARIA)		
MOVIMENTO	ROCHA	Predominantemente	Predominantemente	
		grosso	fino	
Queda (<i>Fall</i>)	Queda de rocha	Queda de detritos (<i>debris</i>)	Queda de solo	
Tombamento (<i>Topple</i>)	Tombamento de rocha	Tombamento de detritos (<i>debris</i>)	Tombamento de solo	
Escorregamento (Slide)	Escorregamento em rocha	Escorregamento em detritos (<i>debris</i>)	Escorregamento em solo	
Espalhamento (Spread)	Espalhamento em rocha	Espalhamento de detritos (debris)	Espalhamento de solo	
Corrida/Escoamento (Flow)	Corrida de rocha	Corrida de detritos (<i>debris</i>)	Corrida de lama	

Tabela 2.1 – Classificação dos movimentos de massa. Fonte: Cruden & Varnes (1996).

Tabela 2.2 – Caracteristicas dos tipos de movimento. Fonte: Cruden & Varnes(1996).

TIPOS DE MOVIMENTO	CARACTERÍSTICAS DOS		
	MOVIMENTOS		
QUEDAS (FALLS)	Os materiais, rocha ou solo, se desprendem		
	das encostas pela ação da gravidade. O		
	movimento é do tipo queda livre ou de		
	rolamento, com velocidade muito rápida (m/s)		
	que pode atingir grande distância. Nas		
	encostas íngremes o movimento geralmente é		
	de queda livre e nas encostas com declividade		
	1:1 o movimento é de rolamento de matacões.		
TOMBAMENTOS (TOPPLES)	O movimento se dá a partir da rotação de um		
	bloco da encosta em torno de um eixo. Este		
	movimento está condicionado a existência de		
	planos de fraqueza.		
ESCORREGAMENTOS (SLIDES)	É o movimento que ocorre geralmente através		
	de uma superfície de ruptura. Os primeiros		
	sinais podem ser observados por fissuras na		

	superfície do solo. Eles são divididos em rotacionais e translacionais.
ESPALHAMENTO (SPREAD)	Ocorre em materiais rígidos sobrejacentes a camadas menos resistentes, formando fissuras e fraturas transversais à direção do movimento. O movimento é repentino e se dá pela perda de resistência da camada subjacente, devido a ação da água, como o efeito de liquefação das areias; e pode ocorrer devido o escoamento plástico como nas argilas sensitivas. O material sobrejacente pode sofrer movimentos de subsidência, translação, rotação, desintegração ou
CORRIDAS/ESCOAMENTO (FLOWS)	São formas rápidas de escoamento, de caráter essencialmente hidrodinâmico, provocado
	ao excesso de água. A massa se desloca semelhante a um líquido viscoso.

Tabela 2.3 – Classes de causas dos movimentos. Fonte: Cruden & Varnes (1996).

CAUSAS GEOLÓGICAS	CAUSAS MORFOLÓGICAS
 Perfil geotécnico/ materiais problemáticos: sensitivo, colapsível, plástico-mole; Orientação desfavorável da descontinuidade de massa (clivagem, acamamentos, xistosidades, falhas, contatos sedimentares); Contraste na permeabilidade e seus efeitos na poro-pressão; Contraste na rigidez (material denso sobre material plástico); Material de preenchimento de juntas alteradas (fissuras). 	 Geometria, declividade e forma da encosta/relevo; Atividades geológicas: terremotos, vulcanismo etc.; Depósito de carregamento no topo do talude; Remoção da vegetação (por erosão, queimadas, secas); Erosão fluvial no pé do talude/erosão na face do talude; Erosão subterrânea ("pipping")
CAUSAS FÍSICAS	CAUSAS ANTRÓPICAS
 Chuvas intensas em períodos curtos; Chuvas intensas de longa duração; Inundações; Terremotos; Contração e expansão de solos expansivos. 	 Escavação na base da encosta; Sobrecarga na encosta ou no topo; Remoção vegetal; Vibração artificial (incluindo tráfego, máquinas pesadas; Falta de manutenção de drenagem; Vazamento de rede de abastecimento (água e esgoto)

2.2 FLUXO DE DETRITOS

Para Jakob & Hungr (2005), a corrida ou fluxo de detritos é um movimento de massa, rápido a extremamente rápido, de detritos saturados, não plásticos, em locais confinados ou não, com índice de plasticidade, ou seja, intervalo caracterizado pelo teor de umidade entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade, inferior a 5% na fração solo. Para Pierson (2005), a quantidade de sedimento no fluxo de detritos deve ser superior à 65%, e o fluxo deve ser apto a reter partículas da fração cascalho em suspensão quando fluindo ou parado, e pode atingir altas velocidades, transportando blocos de várias dimensões.

Segundo Augusto Filho (1992), as principais características dos fluxos de detritos são: muitas superfícies de deslizamento, movimento semelhante ao de um líquido viscoso, desenvolvimento ao longo de drenagens, velocidades altas, mobilização de solo/rocha/detrito/água, grandes volumes de material, extenso raio de alcance.

Os fluxos de detritos são deflagrados naturalmente em encostas de bacias restritas, de alta declividade e pequena dimensão, onde ocorrem chuvas concentradas (Gramani & Kanji, 2001). A Figura 2.2 apresenta as zonas de um fluxo de detritos canalizado.



Figura 2.2: Zonas de um fluxo de detritos canalizado. Fonte: Vandine, 1996.

Para Augusto Filho & Virgili (1998), os principais fatores naturais envolvidos no desencadeamento dos movimentos de massa são: os climáticos, principalmente o regime pluviométrico; a distribuição dos materiais que compõe o substrato rochoso das encostas (solos, rochas, depósitos sedimentares e estruturas geológicas, tais como, xistosidade e fraturas); fatores geomorfológicos, principalmente inclinação, amplitude e forma do perfil das encostas; e o regime das águas de superfície e subsuperfície.

Em uma das bacias estudadas no presente trabalho, Lopes (2014), encontrou em campo, evidências de fluxos de detritos pretéritos.

2.3 MÉTODOS DE MODELAGEM E DETERMINAÇÃO DE SUSCETIBILIDADE A FLUXO DE DETRITOS

2.3.1 Suscetibilidade e risco

No presente trabalho a suscetibilidade deve ser entendida como uma predisposição de ocorrer um movimento de massa, devido ao somatório de influências exercidas pelos condicionantes locais, sendo determinada a partir de evidências e por similaridade com outras regiões ou a partir de um inventário de ocorrências (Macedo & Bressani 2013).

A suscetibilidade retrata a probabilidade de ocorrência de um movimento de acordo com as características do terreno, sendo baseada na ideia de que novos movimentos ocorrerão nas mesmas condições em que ocorreram no passado (Guzzetti *et al.* 1999, Guzzetti *et al.* 2006, Sobreira & Souza 2012 e Barella *et al.* 2019). A suscetibilidade não se destina a prever o tempo ou a frequência de eventos, apenas sua localização espacial (Guzzetti *et al.* 2005).

Risco geológico pode ser definido como "situação de perigo, perda ou dano, ao homem e suas propriedades, em razão da possibilidade de ocorrência de processos geológicos, induzidos ou não" (Cerri, 1993). É importante salientar a diferença dos conceitos de suscetibilidade e risco geológico para melhorar o entendimento sobre os assuntos que os envolvem.

2.3.2 Modelos utilizados na avaliação de fluxo de detritos

Segundo Mckinnon (2010), os fluxos de detritos são comumente modelados de duas formas distintas: uma é a modelagem física e a outra é a modelagem matemática. Os modelos físicos consistem em montagens feitas em laboratório simulando as condições encontradas na natureza, que são experimentos bastante caros e exigem muito trabalho, o que restringe sua utilização; enquanto os

matemáticos são mais difundidos pelo seu baixo custo apesar da dificuldade em obter os dados de entrada para realizar as simulações.

O modelo do projeto GIDES (CPRM, 2018), produz resultados semelhantes (alcance do fluxo de detritos e área de espalhamento) aos modelos anteriores com a vantagem da baixa exigência de dados de entrada (somente o MDT da área de estudo), porém exige bastante trabalho de processamento em *software* SIG (Sistema de Informação Geográfica).

2.3.3 Alguns modelos matemáticos

O modelo *Kanako*-2D Versão 2.0 (Nakatani *et al.*,2008) é um modelo numérico computacional que simula o fluxo de detritos a partir dos seguintes dados de entrada: volume de material disponível para transporte e ponto inicial da zona de propagação.

Este modelo considera o fluxo unidimensional a partir da zona de iniciação, indicando a ocorrência de deposição ou erosão de sedimento, enquanto na planície aluvial, a propagação é considerada em duas dimensões. A componente bidimensional considera equações de continuidade, equações do momento e de deformação do leito. Este modelo possui pouca aderência apesar de sua eficácia, pois os parâmetros de entrada são de difícil estimativa, o que pode inviabilizar o trabalho (Michel & Kobiyama, 2018). A Figura 2.3 apresenta um resultado de modelagem realizado em Kanako 2-D.



Figura 2.3: Mapa de suscetibilidade a escorregamentos e fluxos de detritos. Fonte: Michel & Kobiyama, 2016.

O Avalanche Runout também é um método matemático. Trata-se de um software da plataforma digital TERRAIN ANALYSIS USING DIGITAL ELEVATION MODELS (TauDEM) (Utah State University), inicialmente desenvolvido para mapear suscetibilidade a ocorrência de avalanches de neve e tem sido amplamente utilizado para fluxo de detritos. Este software de modelagem exige como dados de entrada: origem e direção do fluxo, ângulo alfa ou ângulo de alcance (ângulo formado entre o ponto de origem do fluxo, na cabeceira do movimento, até o ponto de maior alcance no final da zona de deposição) (Figura 2.5) e o valor do coeficiente de espalhamento. Seu funcionamento é baseado em um modelo de movimento multidimensional, no qual são consideradas infinitas direções de fluxo entre as células da vizinhança da célula de origem, e as condições de dispersão do fluxo são limitadas pelo coeficiente de espalhamento (Salvador, 2018). Este método tem como produtos os possíveis trajeto e a área de espalhamento do fluxo de detritos. Apesar dos bons resultados de modelagem, a grande exigência de dados de entrada e a necessidade de calibração do modelo através de informações de campo dificultam a sua utilização.

A Figura 2.4 apresenta o resultado da modelagem realizada no *Avalanche Runout* para diferentes resoluções de MDT (Modelo Digital de Terreno).



Figura 2.4: Mancha gerada pelo modelo considerando diferentes resoluções do MDT, ângulo alfa $=12^{\circ}$ e coeficiente de espalhamento = 0,37. Fonte: Salvador, 2018.

2.3.4 Modelos físicos ou empíricos

O modelo empírico de Corominas (1996) leva em consideração o histórico de eventos de fluxo de detritos de uma dada região e ensaios de laboratório para sugerir o ângulo de alcance (α) representado

Souza, B. M., 2022, Avaliação de suscetibilidade para fluxo de detritos na Serra...

na Figura 2.5, onde H = altura do rompimento e L= distância máxima do espalhamento, considerando variados tipos de movimento de massa.



Figura 2.5: Indicação do ângulo alfa (α). Fonte: McDougall *et al.*, 2012.

Scheidegger (1973) sugere que a tangente do ângulo de alcance é igual ao coeficiente de atrito entre a superfície e a massa de escorregamento. Existem também outros parâmetros relacionados ao ângulo de alcance, porém o volume (v) é o que apresenta melhor correlação. (Equação 2.1).

A Tabela 2.4 apresenta outras equações envolvendo o ângulo alfa, obtidas por diferentes autores, onde (v) representa o volume de massa deslocado (m³), (R²) é índice de correspondência entre os resultados da Equação 2.1 e os outros modelos de alcance, as variáveis (a) e (b) são coeficientes determinados empiricamente de acordo com uma série de registros de ocorrência, variando em função principalmente do tipo de movimento.

$$\log\left(\frac{H}{L}\right) = a \cdot \log V + b \tag{2.1}$$

Tabela 2.4: E	quacões	de modelos em	funcão	do ângulo a	alfa. Font	e: Salvador ((2018)
	quuções	ac modelos em	Tunguo	uo unguio i	unu. i oni	c. Duivadoi (2010)

Modelo de alcance	R ²	Dados utilizados	Referência
α = 0,564 log(h) – 0,77RT – 0,376sinβ – 0,096log (V)	-	46 deslizamentos	GUO et al. (2014)

$\alpha = -0,157\log(V) + 0,624$	0,82	33 deslizamentos	SCHEIDEGGER (1973)
$\alpha = -0.085\log(V) - 0.047$	0,625	204 deslizamentos	COROMINAS (1996)
		71 fluxos de detritos	
$\alpha = 0.16 v^{-0.15}$	0,63	32 deslizamentos	LEGROS (2002)

2.3.5 O modelo de fluxo de detritos e mapa de suscetibilidade do Método GIDES

O método proposto no projeto GIDES (CPRM, 2018) aponta que uma bacia propensa ao desenvolvimento de fluxo de detritos deva ter: (i) área de drenagem igual ou maior que um (1) hectare; (ii) a inclinação média do talvegue igual ou superior a 10°; (iii) o vale precisa ser confinado, o que pode ser averiguado comparando seu comprimento com a sua largura (Figura 2.6).



Figura 2.6: Condições para aplicação do método GIDES. Fonte: CPRM, 2018.

O passo inicial no processamento dos mapas de suscetibilidade segundo o método é: delimitar a bacia, destacar os canais de drenagens ou linhas de fluxo e marcar os pontos de início de confinamento e fim de confinamento/início espraiamento.

O trecho compreendido entre estes pontos é onde se dá a iniciação e desenvolvimento do fluxo de detritos. O trecho a jusante do ponto de espraiamento é onde se dá a dispersão do material envolvido no fluxo. As drenagens sem confinamento ou registro de fluxo de detritos em campo podem ser ignoradas no estudo.

O passo seguinte é traçar, partindo do ponto inicial de confinamento, linhas transversais com espaçamento máximo de 50 metros ao longo do canal, este processo deve ser repetido até encontrar o trecho onde o canal apresenta declividade média igual ou menor que 2°. A Figura 2.7 indica como devem ser dispostas as transversais ao longo do canal.



Figura 2.7: Detalhe da marcação das transversais e os pontos de início de confinamento e espraiamento. Fonte: CPRM, 2018.

A área crítica é determinada a jusante do ponto de início de confinamento até o ponto de espraiamento, sendo essa a zona com maior chance de deflagração e atingimento dos fluxos de detritos, local onde a energia está concentrada. Para sua delimitação espacial é necessário plotar dois pontos

elevados topograficamente 5 metros em relação ao nível do canal em cada uma das margens das linhas transversais (Figura 2.8 A).

Para os trechos da área crítica em que não possível marcar sobre a transversal pontos com elevação relativa de 5 metros, porém a drenagem ainda apresenta confinamento e uma declividade relativa maior ou igual a 10 graus, deve-se marcar sobre a transversal pontos com a distância de 20 metros em ambos os lados da drenagem. Este procedimento deve ser realizado até atingir a declividade mínima de 7°, ligando os pontos marcados antes do ponto de espraiamento. Assim tem-se a delimitação da área crítica, como ilustrado na área crítica (Figura 2.8 B).



Figura 2.8: Detalhe da construção da área crítica em (A) trecho confinado em (B) trecho não-confinado. Fonte: CPRM, 2018.

A área de dispersão é onde acontece a deposição dos detritos, com dissipação de energia. Para a sua delimitação, o procedimento é semelhante ao anterior: marca-se dois pontos elevados topograficamente de 5 metros em relação ao nível do canal em cada uma das margens. No entanto, é preciso estar atento à dispersão lateral do fluxo de detritos e para balizar considera-se um ângulo de dispersão fixo de 30°. Este procedimento deve ser repetido sobre o canal até que este apresente declividade média igual ou inferior a 2°. A Figura 2.9 ilustra esta construção.


Figura 2.9: Marcação dos pontos com o ângulo de dispersão. Fonte: CPRM, 2018.

Para finalizar a determinação da área de dispersão, pegam-se os pontos mais próximos ao canal em cada margem (entre aqueles marcados a partir do ângulo de dispersão ou da elevação relativa de 5 metros), e os conecta para a conclusão de um polígono, conforme demonstrado na Figura 2.10.

Os polígonos obtidos nestas etapas são as áreas críticas e de dispersão, que constituem o resultado da modelagem do fluxo de detrito de acordo com o método do projeto GIDES (CPRM, 2018).



Figura 2.10: Esquema de seleção entre os pontos de elevação relativa de 5 m de altura ou ângulo de dispersão. Fonte: CPRM, 2018.

2.4 AVALIAÇÃO DE SUSCETIBILIDADE DE FLUXO DE DETRITOS COM PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS

Os parâmetros morfométricos descritos a seguir são alguns dos mais utilizados para a análise de suscetibilidade à ocorrência de fluxo de detritos, segundo Jakob (1996), adaptado por Dias (2017), como apresentado na Figura 2.12.

Proposta por Schumm (1956), a relação de relevo (Rr) é dada pela relação entre amplitude altimétrica máxima (H_m) e a extensão da bacia (L_h), sendo medida paralelamente à principal linha de drenagem e obtida pela Equação 2.2.

$$Rr = \frac{H_m}{L_h}$$
(2.2)

Amplitude altimétrica (AA), é dada pela diferença de cota máxima e mínima da bacia, alta variação altimétrica denota maior potencial de transporte e escoamento da bacia (Dias, 2017) e obtida pela Equação 2.3.

$$AA = Hmax - Hmin_{(2.3)}$$

Declividade média do canal (DMC), pode ser obtida de forma manual no mapa topográfico, e de maneira automática em *software* SIG, sendo extraída do MDT (Modelo Digital de Terreno); quanto maior a declividade, maior a capacidade de transporte de um canal.

Facuri (2018) aponta que existe uma grande discrepância nos valores dos ângulos limites apresentados pelo método GIDES (CPRM, 2018) e os sugeridos por outros autores, para o ângulo de iniciação de fluxo (>10° GIDES), 30 a 42° (Chen & Yu, 2011)), entre 20 e 45° (Jakob & Hungr, 2005), >25° para VanDine (1996) e de 13 a 33° (Zimmermann, 1990). Facuri (2018) ainda sugere que não existe um consenso sobre o valor do ângulo de iniciação pois este parece variar de acordo com as características de cada local.

Proposta por Horton (1945), a densidade de drenagem (Dd) é a relação do total dos canais (L_t) com a área da bacia (A), calculada pela Equação 2.4.

$$Dd = \frac{L_t}{A}$$
(2.4)

O índice de rugosidade (Ir), inicialmente proposto por Melton (1957), é o resultado adimensional do produto entre amplitude altimétrica (H) e (Dd), calculada pela Equação 2.5.

$$Ir = H \cdot Dd \quad (2.5)$$

O índice de circularidade (Ic) proposto por Miller (1953), é a relação entre a área da bacia (A) e a área do círculo (A_c) de mesmo perímetro; este parâmetro denota se a bacia é mais alongada ou mais arredondada. Quando a bacia é mais alongada, a concentração do fluxo no canal principal é favorecida, e é calculada pela Equação 2.6.

$$Ic = \frac{A}{Ac}$$
(2.6)

O Índice de Melton (Melton, 1957) é obtido utilizando a Equação 2.7. Quanto maior o valor deste índice, maior a suscetibilidade a fluxo de detritos na bacia.

$$M = Hm/sqrt(A)$$
 (2.7)

Onde Hm/H/AA é a amplitude altimétrica, sqrt é função raiz quadrada e A é a área da bacia

Área da bacia acima de 25° de inclinação (A25) é a porcentagem da área da bacia que apresenta declividade acima de 25 graus e é obtida a partir do MDT. Bacias com elevado A25 possuem maior potencial de deflagração de processos de movimento de massa (Dias, 2017).

O parâmetro Curvatura se trata da quantificação de encostas côncavas e convexas em uma bacia. Sendo que o formato côncavo tende à acumular mais umidade o que pode favorecer o desenvolvimento de fluxos de detritos (Colângelo, 1995)

O Ângulo (A) é igual a 25°, valores de inclinação de drenagens acima deste, apresentam propensão a desenvolver fluxos de detritos (VanDine 1996).

Perfil longitudinal (PL) representa o perfil topográfico da drenagem principal ao longo de toda a bacia, mostrando pontos de quebra do relevo que são pontos de acumulação de sedimentos que ficam disponíveis para processos hidrodinâmicos como no caso do fluxo de detritos (Dias, 2017).

O comprimento da bacia hidrográfica representa a distância entre a cabeceira e o exultório de uma bacia, medido paralelamente à drenagem principal; menores comprimentos favorecem a ocorrência de fluxo de detritos (Wilford *et al.* 2004)

A hierarquia fluvial (Strahler, 1952) é feita com a hierarquização dos canais, ou seja, os canais sem tributários são considerados de 1^a ordem, a união de dois destes forma um canal de 2^a ordem, a união de dois canais de 2^a ordem forma um canal de 3^a ordem e assim sucessivamente (Figura 2.11). Essa classificação também se estende para a bacia que recebe a mesma hierarquia do canal principal



Figura 2.11: Ordem de Strahler para uma bacia hidrográfica. Fonte: Christofoletti, 1980.

A análise de parâmetros morfométricos foi utilizada pelos autores: Scheidegger (1973), Jakob (1996), Gramani e Kanji (2001) e Dias (2017) para avaliar as condições de ocorrência de fluxo de detritos em bacias hidrográficas. A Figura 2.12 apresenta os principais parâmetros abordados pelo presente trabalho e como estes se relacionam com o fenômeno de fluxos de detritos.

A Tabela 2.5 mostra um compilado feito por Dias (2017), onde é mostrado o objetivo de se estudar determinados parâmetros de acordo com diferentes autores.

Autor Objetivo		Parâmetros Utilizados	
VanDine Avaliação do processo e (1985) magnitude.		Área da bacia.	
Slaymaker (1990)	Caracterização de bacias.	Área da bacia, ângulo do canal.	
Johnson <i>et al.</i> (1991)	Estimativa de magnitude e frequência.	Hipsometria, relação de relevo, densidade de drenagem, comprimento total dos canais, bifurcação, relação de alongamento da bacia.	
Augusto Filho (1993)	Hierarquização e avaliação de potencialidade de geração de corridas.	Área de bacia, índice de circularidade, densidade d io drenagem.	

Tabela 2.5: Utilização de parâmetros morfométricos e morfológicos no estudo de fluxo de detritos. Fonte: Dias, 2017.

Jakob (1996)	Estimativa de magnitude e frequência.	Área da bacia, índice de rugosidade, hipsometria, densidade de drenagem, índice de circularidade.		
Vieira <i>et al.</i> (1997)	Análise de magnitude.	Assimetria/simetria do canal, perfil longitudinal, comprimento do canal, hierarquia.		
De Scally <i>et</i> <i>al</i> . (2001)	Análise e identificação do processo.	Área da bacia, amplitude altimétrica, índice de rugosidade.		
Kanji e Gramani (2001)	Avaliação de suscetibilidade.	Declividade, ângulo.		
Wilford <i>et al.</i> (2004)	Diferenciação de processos de tipo fluxo.	Área da bacia, comprimento da bacia, formato, comprimento dos canais, densidade de drenagem, amplitude altimétrica, ângulo acima de 30º, 35º ou 40º, índice de Melton, relação de relevo.		
Kovanen e Slymaker (2008)	Análise do processo e magnitude.	Área da bacia, índice de Melton.		
Chen e Yu (2011)	Análise do processo e magnitude.	Relação de relevo, índice de rugosidade, fator de forma, ângulo, índice de potencial erosivo do canal, índice de caracterização do terreno, índice topográfico de umidade.		
Dias (2014); Dias <i>et al.</i> (2016)	Avaliação de magnitude.	Área da bacia, índice de rugosidade, relação de relevo, densidade de drenagem, índice de circularidade, hierarquia, curvatura, ângulo.		

A Figura 2.12 mostra como as características da bacia podem influenciar na ocorrência de um fluxo de detritos, e como os parâmetros morfométricos podem ser indicativos destas características. A figura mostra também quais são os parâmetros mais importantes para a avaliação da suscetibilidade ou início de um fluxo de detritos segundo Dias (2017, adaptado de Jacob, 1996). Os parâmetros Curvatura e Ângulo (A) não serão abordados, o primeiro devido à dificuldade de sua análise e o segundo devido e discrepância de seus valores na literatura.



Figura 2.12: Relações entre os parâmetros morfológicos (em vermelho) e a ocorrência de fluxo de detritos. Legenda das abreviações: índice de circularidade (Ic), densidade de drenagem (Dd), hierarquia de drenagem (H), perfil longitudinal (PL), índice de rugosidade (Ir), curvatura eu, área acima de 25 graus (A₂₅), ângulo (A), declividade média do canal (DMC), amplitude altimétrica (AA), e relação de relevo (Rr). Fonte Dias, 2017, adaptado de Jakob, 1996.

Há muita discussão na literatura sobre quais seriam os valores limites destes parâmetros morfométricos que indicariam suscetibilidade a fluxo de detritos. De acordo com Crozier (1986), valores de IC inferiores 0,5 demonstrariam um formato alongado da bacia e indicariam maior propensão a geração de fluxo de detritos de maior magnitude. Dias (2017) sugere que quanto maior os valores de Rr e AA, maior seria o potencial de transporte/escoamento da bacia e, consequentemente, maior a distância percorrida pelo fluxo de detritos.

De acordo com Carvalho (2007), valores de Dd entre 1,5 e 2,5 indicariam boas condições de drenagem e acima de 2,5 a drenagem é considerada muito boa. Segundo Dias (2017), a Dd estaria relacionada ao início do fluxo e a disponibilidade de sedimentos para transporte. Segundo Christofoletti (1980), bacias com Ir mais elevados tenderiam a produzir mais sedimentos em seus processos internos e disponibilizariam mais material para transporte o que favoreceria a ocorrência de fluxo de detritos.

De acordo com Wilford *et a*l. (2004), bacias com comprimentos reduzidos seriam mais suscetíveis à ocorrência de fluxo de detritos, assim como bacias com altos valores de M (Índice de Melton). Segundo Dias (2017), bacias com A25 elevados apresentariam grande potencial de deflagração de fluxo de detrito, transporte e escoamento. Segundo Dias (2017), quando o PL apresenta fortes quebras no relevo a bacia seria mais suscetível e quanto maior a hierarquia da bacia (H) mais suscetível ao desenvolvimento de fluxo de detritos.

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 ESTRUTURAÇÃO DOS DADOS

Após a revisão bibliográfica, com a finalidade de montar o embasamento teórico, foram baixadas as bases cartográficas para a elaboração dos mapas necessários para o desenvolvimento do trabalho. Para a produção dos mapas da área de estudo foram utilizadas bases cartográficas de altimetria para a geração das curvas de nível com equidistâncias de 5 metros e 25 metros, hidrografia, limites geográficos, mapeamento geológico escala 1:1000000, MDT e *Google Earth* para o reconhecimento da área e localização das bacias aptas para a realização das modelagens de acordo com o método GIDES (CPRM, 2018).

As bases cartográficas utilizadas foram baixadas do site: SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM. Cartas de Suscetibilidade a Movimentos de Massa e Inundação (CPRM, 2021).

As cartas de suscetibilidade foram obtidas seguindo todas as orientações presentes no Projeto GIDES para mapeamento a fluxo de detritos.

3.1.1 O Modelo digital de terreno (MDT)

O presente trabalho fez um amplo uso do MDT para extrair curvas de nível, redes de drenagem e para a confecção dos perfis topográficos.

Uma característica do MDT que se mostrou fundamental durante a execução do trabalho é a sua resolução espacial, que é de 2,5 metros, propiciando uma boa qualidade das análises. Pelo tamanho dos objetos analisados, pelas formas das curvas de nível obtidas e pelo detalhamento dos perfis topográficos, o MDT utilizado apresentou uma resolução adequada para que os produtos dele extraídos representem, com fidelidade, as bacias hidrográficas estudadas.

Para o estudo das declividades médias dos trechos de drenagem foi preciso encontrar visualmente pontos onde ocorre mudança no padrão das curvas de nível. Estes pontos foram considerados como limites para definição do tamanho dos segmentos horizontais utilizados no cálculo da declividade para as inclinações >10°, <7° e <2° (valores limites indicados pelo método GIDES).

3.2 APLICAÇÃO DO MÉTODO GIDES PARA A SELEÇÃO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS E MODELAGEM DE FLUXO DE DETRITOS

A Figura 3.1 apresenta de forma sintética o que foi realizado para a obtenção dos polígonos crítico (área crítica) e de dispersão (área de dispersão).



Figura 3.1: Fluxograma resumido para obtenção das áreas suscetíveis a fluxo de detritos. Fonte: CPRM, 2018, modificado.

Após mapear a área de estudo em busca de bacias aptas à aplicação do método GIDES (suscetibilidade à fluxo de detritos), foram selecionadas duas bacias instaladas no flanco sul da anticlinal de Mariana (serra de Ouro Preto) e que vertem uma para o norte e outra para o sul e, uma bacia instalada no flanco nordeste da mesma anticlinal (serra de Antônio Pereira) e que verte para sudoeste (Figura 3.2). As bacias apresentam-se inseridas em litologias variadas, bem como características geomorfológicas distintas, o que é interessante para testar a elasticidade do método aplicado.



Figura 3.2: Mapa hipsométrico das bacias selecionadas.

Para que se aplique o método GIDES (CPRM, 2018) é preciso que sejam obtidos os elementos curvas de nível e perfis topográficos. Estes foram extraídos do MDT utilizando QGIS@, versão 2.24.1 (TISLER).

As curvas de nível foram extraídas utilizando o algoritmo Extrair Contornos contido na Caixa de Ferramentas (QGIS@, versão 3.24.1). Para cada bacia foram obtidas curvas de nível de 25 em 25 metros para análise de confinamento e curvas de 5 em 5 metros para a marcação dos pontos críticos e pontos de dispersão.

Para a confecção das tabelas de pontos e declividades foi realizada uma amostragem de pontos sobre a drenagem principal das bacias, utilizando a ferramenta *Point Sample Tools*,,que distam um dos outros em 50 metros. Estes pontos possuem três coordenadas: latitude, longitude e cota, sendo a última utilizada para o cálculo da declividade entre os pontos.

Para calcular a declividade foi utilizada a relação trigonométrica (tangente) tg z = cateto oposto/cateto adjacente, onde o cateto oposto é a diferença de cota entre dois pontos e o cateto adjacente é a distância horizontal entre eles (50m).

Depois de obtidas as declividades entre os pontos foi realizada uma média simples envolvendo intervalos maiores de pontos para definir os trechos com declividade média =>10°, <7° e >2°, <2°.

Os perfis topográficos (longitudinais) foram plotados no EXCEL@ (2015) utilizando a distância do ponto amostrado ao exultório da bacia (eixo x) e a cota do ponto (eixo y).

3.3 OBTENÇÃO DOS PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS DAS BACIAS

Os contornos das bacias foram obtidos com a ferramenta "*r.watershed*" (QGIS@, versão 3.24.1), aplicando o tamanho mínimo de 0,65 km². A área e o perímetro das bacias foram obtidos utilizando a ferramenta "Calculadora de Campo" (QGIS@, versão 3.24.1), utilizando as funções de geometria "*\$area*" e "*\$perimeter*" aplicados sobre a *shapefile* de contorno da bacia.

Os parâmetros morfométricos escolhidos para realizar a avaliação foram calculados pelas equações indicadas no Item 2.4.

Infelizmente, não foram realizados trabalhos de campo, como previsto no método, para a verificação, em loco, dos limites de declividade. Contudo, a falta de trabalhos de campo foi atenuada pela decisão no presente trabalho de aplicar a distância horizontal de 50 metros entre os pontos amostrados para os cálculos de declividade, aumentando a precisão dos números obtidos.

CAPÍTULO 4

CONTEXTO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO-GEOMORFOLÓGICO E CLIMÁTICO

4.1 GEOLOGIA DAS SERRAS DE OURO PRETO E DE ANTÔNIO PEREIRA

O Quadrilátero Ferrífero (QF) é definido por quatro megaestruturas, que de maneira aproximada definem o formato de quadrado, sendo estas: a anticlinal de Mariana, a homoclinal da Serra do Curral, a sinclinal Dom Bosco e Sinclinal da Moeda (Varajão *et al.*, 2009), sendo limitadas pelas nappes do Curral, ao norte, de Ouro Preto, ao sul, e pelo sistema de falhas Água Quente, a leste (Endo *et a*l., 2019). A Figura 4.1 apresenta o mapa do QF e a Figura 4.2 a sua coluna estratigráfica.



Figura 4.1 Mapa geológico simplificado do Quadrilátero Ferrífero. Fonte: Alkmim & Marshak (1998).



Figura 4.2: Coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero. Fonte: Alkmim & Marshak, 1998.

4.1.1 Rochas que afloram nas bacias estudadas

O Complexo Metamórfico do Bação (C.M. Bação) compõe parte do embasamento cristalino do Quadrilátero Ferrífero, sendo caracterizado por rochas arqueanas e proterozóicas de alto grau metamórfico (Endo *et a*l., 1996). Este tem ocorrência localizada na porção oeste da área de estudo.

O Supergrupo Rio das Velhas (SGRV), segundo Baltazar *et al.* (2005), é constituído pelos grupos: Quebra Osso, Nova Lima e Maquiné, sendo que nas bacias estudadas ocorrem somente os dois últimos. O Grupo Maquiné é constituído por quartzitos, filitos e conglomerados (Baltazar & Zucchetti, 2007).

O Grupo Nova Lima é constituído predominantemente por xistos verdes de origem metassedimentar e de origem metavulcânica, filito, lentes de dolomito, grauvaca, quartzito, talco xisto

e formação ferrífera (Baltazar *et. al*, 2005). Este grupo tem na base uma associação de rochas vulcânicas, tholeítica-komatiítica, e rochas de sedimentação química, estando estas cobertas por uma unidade vulcanoclástica associada a vulcanismo félsico. No topo ocorre uma unidade clástica (Baltazar & Zucchetti, 2007).

O Supergrupo Minas (SGM) é entendido como uma bacia paleoproterzóica que tem como embasamento o Supergrupo Rio das Velhas, em contato discordante erosivo. É constituído, da base para o topo, pelos grupos Caraça, Itabira, Piracicaba. Estes são interpretadas como sequência plataformal, raso a profundo, contendo sedimentação química e clástica. O Grupo Sabará, sobreposto, é formado por depósitos marinhos do tipo *flysch* (Rosière & Chemale Jr, 2000). Nas bacias estudadas ocorrem os grupos Caraça, Itabira, Piracicaba e Sabará

O Grupo Caraça, representado na região estudada pela Fm. Moeda,) é constituído por metarenitos quartizíticos intercalados com filitos e lentes conglomeráticas, de importância econômica, pois nestas ocorrem ouro, pirita e uraninita (Uhlein & Noce, 2012).

O Grupo Itabira, na região estudada representado pela Fm. Cauê), é constituído pela formação ferrífera bandada (BIF's) do tipo Lago Superior, onde existem dolomitos e minério de ferro supergênico (Alkmim & Noce, 2006). Esta formação é de grande importância econômica devido aos grandes depósitos de ferro.

O Grupo Piracicaba é composto pelas formações Cercadinho, Fecho do Funil, Taboões e Barreiro. A Formação Cercadinho é definida pela presença de quartzitos ferruginosos de tom cinza esbranquiçado intercalados com níveis de filitos prateados hematíticos. A Formação Fecho do Funil é composta por filitos, filitos dolomíticos e dolomitos. A Formação Barreiro é caracterizada por filitos pretos grafitosos alternados com xistos (Oliveira, 2010). A Formação Taboões (Pomerene, 1958a) consiste, essencialmente, de ortoquartzitos finos e equigranulares.

O Grupo Sabará é composto por um espesso pacote de rochas sedimentares de origem clástica, com intercalações de sedimentos químicos e rochas vulcânicas (Almeida *et al.* 2005).

Para Herz (1978), o QF apresenta um metamorfismo regional do tipo Barroviano, com fácies xisto-verde de baixo grau, com variações do grau metamórfico em auréolas (metamorfismo de contato) de intrusões graníticas. Regionalmente, no QF também é percebida uma variação decrescente no grau metamórfico de leste para oeste, onde características anquimetamórfica são percebidas. Na região de Ouro Preto, estas rochas encontram-se muito afetadas por eventos tectônicos, denotando forte deformação, e estão de maneira geral orientadas na direção leste-oeste, mergulhando para sul 30° (Dorr, 1969), como mostrado na Figura 4.3.



Figura 4.3: Geologia de parte da serra de Ouro Preto e perfil geológico representativo. Fonte: Sobreira e Fonseca, 2001, apud Sobreira, 2014.

Na serra de Antônio Pereira afloram rochas dos grupos Maquiné e Nova Lima (SGRV) e dos grupos Caraça e Itabira (SGM). Na serra de Ouro Preto afloram rochas do C.M. Bação, rochas do grupo Nova Lima (SGRV) e os grupos Caraça, Itabira, Piracicaba e Sabará (SGM).). A Figura 4.4 apresenta o mapeamento geológico da área de estudo em escala 1:1000000, separado por grupos.



Figura 4.4: Mapeamento geológico escala 1:1000000 da área da anticlinal de Mariana.

4.2 CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DAS ROCHAS QUE AFLORAM NAS BACIAS ESTUDADAS

Os xistos do Grupo Nova Lima apresentam alto grau de alteração, tendência a ravinamentos e escorregamentos superficiais. Os filitos da Formação Batatal (Grupo Caraça) têm baixas resistência mecânica e permeabilidade, o que favorece o solapamento de blocos e a consequente formação de depósitos de meia encosta, pressões de percolação e descalçamento de blocos. O quartzito ferruginoso e o filito cinzento e prateado da Formação Cercadinho (Grupo Piracicaba) possuem baixa resistência aos processos denudacionais, sendo que os quartzitos da Formação Barreiro (Grupo Piracicaba), que ocorrem de forma descontínua na região estudada, se apresentam bastante alterados e possuem baixa resistência o que favorece os ravinamentos (Sobreira, 1992).

O Anticlinal apresenta estratigrafia normal, onde as formações ferríferas, rochas mais densas, estão acima de filitos, rochas menos densas e impermeáveis. Isto configura uma situação suscetível a deslizamento de blocos. As estruturas geológicas também são importantes, pois os deslizamentos de blocos são controlados pelo acamamento, aliado as feições (fraturas) de liberação desses blocos (Alkmim & Marshak, 1998; Sobreira, 1992).

4.3 GEOMORFOLOGIA DAS SERRAS DE OURO PRETO E ANTÔNIO PEREIRA

As serras de Ouro Preto e de Antônio Pereira, respectivamente nos flanco sul e nordeste da anticlinal de Mariana, figuram como importantes elementos paisagísticos da região do município de Ouro Preto e Mariana. Estas serras funcionam como divisor de águas de duas bacias de drenagem regionais, a bacia do Rio das Velhas, que drena a porção interna da anticlinal vazada de Mariana, e a e bacia do Rio Doce, que drena a porção externa desta anticlinal. Suas altitudes oscilam entre 1500 m a 750 m (nas partes próximas ao município de Mariana e no eixo da anticlinal homônimo respectivamente). As formas presentes são caracterizadas por: montanhas arranjadas linearmente de acordo com a foliação.

O relevo é muito acidentado, com vertentes inclinadas e vales profundos, o que denota controle do substrato geológico (Sobreira, 2014). Outra característica marcante das serras são os *hog backs* (Figura 4.5), com assimetria das vertentes, processo atribuído à erosão diferencial que condiciona a forma da crista, comum lado mais íngreme, o *scarp slope*, e outro mais suave, concordante com a foliação metamórfica, *dip slope*, mergulhante para sul na serra de Ouro Preto e nordeste para a Serra de Antônio Pereira. Como a anticlinal é vazada, os *scarp slopes* são drenados pela bacia do rio das Velhas e os *dip slopes* pela bacia do rio Doce. Scarp – Bacia do córrego São Bartolomeu – fluxo de detritos identificados, materiais mais grossos.



Figura 4.5: Exemplo de relevo com cristas assimétricas, como ocorre nas serras estudadas: *dipslope*, coincidindo com o mergulho da foliação de rochas mais resistentes (quartzitos e itabiritos, na área), e o *scarpslope*, mais íngreme, cortando rochas menos resistentes (principalmente xistos, na área). Fonte: Eisbacher & Caluge (1984).

4.4 SOLO, VEGETAÇÃO E CLIMA

Como os *dip slopes* das serras citadas são mantidoss pela foliação de rochas mais resistentes, mecanicamente e ao intemperismo (quartzitos e itabiritos), espera-se encontrar menores espessuras de materiais inconsolidados (solos e depósitos de encosta) que nos *scarp slopes*, que cortam camadas de menor resistência (xistos do Grupo Nova Lima).

Segundo Sobreira (2014), as rochas apresentam foliação e fraturas que aceleram o processo de alteração, afetando o comportamento geotécnico. Nos topos dos morros e na vertente sul da serra ocorrem coberturas lateríticas ferruginosas (canga), de idade terciário-quaternário e com formação por processos supergênicos relacionados ao clima tropical. Os solos são pouco desenvolvidos, mas existem bolsões coluvionares.

Nos *scarp slopes* ocorrem cambissolos, com pouco ou sem nenhum horizonte A, relacionados as rochas do Grupo Nova Lima, pouco espessos, no geral, mas podendo ser muito espessos em zonas de vegetação mais densa. Alguns destes cambissolos apresentam *stones lines*, que marcam a separação do solo *in situ* do material coluvial (Costa *et al.* 2014)

A cobertura vegetal é variada, os *scarp slopes* estão ocupados por mata Atlântica, especialmente sobre rochas do Grupo Nova Lima, enquanto no alto da serra e nos *dip slopes*, onde afloram quartizitos e BIF's estão ocupados principalmente por campos rupestres.

O clima tropical de altitude ocorre nas áreas mais elevadas da serra de Ouro Preto, com temperaturas médias anuais entre 19 e 27 °C, e precipitação média de 1500mm anuais, com chuvas concentradas no verão. Este clima tem duas estações bem-marcadas: verão chuvoso e inverno seco, a precipitação média entre 1000 e 2000 mm e temperatura média fica entre 19 e 28 °C (UFV/IEF, 2005).

O clima da região de Antônio Pereira é semitropical, com temperatura máxima de 30°C e a temperatura mínima média é pouco de 20 °C, caracterizado por um período chuvoso no verão e seco no inverno (Natali & Vieira, 1995).

A Figura 4.6 apresenta a precipitação média mensal para o município de Ouro Preto, utilizando dados da série histórica entre os anos de 1988 e 2004.

O principal agente mobilizador (gatilho) para o fluxo de detritos são os altos índices de pluviosidade, o que torna este parâmetro determinante para o estudo deste tipo de movimento de massa, podendo-se estimar, mesmo que de forma empírica, ou seja, por equações já elaboradas, um número que servirá de alerta, principalmente para regiões habitadas ou com obras de engenharia, que tenham altas consequências em função de rupturas. (Cruden & Varnes, 1996)



Figura 4.6: Índices pluviométricos mensais. Fonte: Castro, 2006.

Segundo Caine (1980), registros publicados das intensidades (pluviosidade) e durações das chuvas associadas à deslizamentos rasos e atividade de fluxo de detritos sugerem que a maior parte das ocorrências destes fenômenos ocorrem com: chuvas com 1 hora de duração e pluviosidade média de 100 mm e chuvas com 1 dia de duração e pluviosidade média de 10 mm.

CAPITÚLO 5

RESULTADOS

O modelo digital de terreno (MDT) é o material mais importante para a execução do método GIDES (CPRM, 2018). Trata-se de um arquivo matricial, composto por uma tabela de pontos que possuem valores de latitude, longitude e cota. A partir destes pontos foram obtidas as curvas de nível utilizadas em todas as etapas construtivas das modelagens das três bacias selecionadas para análise de suscetibilidade à fluxo de detritos: córrego Mata-Pau, ribeirão Funil e córrego São Bartolomeu (Figura 5.1). Este método exige traçar curvas de nível de 5 em 5 metros, para que estas representem com fidelidade o relevo. Após uma primeira análise dos mapas obtidos ficou claro que essa resolução espacial é adequada, e representa de maneira satisfatória o relevo das áreas estudadas.

A ferramenta mais importante deste trabalho foi o software QGIS@, versão 3.24.1 (TISLER), onde todos os produtos foram processados. Este programa, gratuito e de código aberto, possui quase todas as ferramentas necessárias à para a execução do método GIDES (CPRM, 2018).



Figura 5.1: Mapa área de estudo com a localização das bacias estudadas. As linhas tracejadas indicam as cristas das serras de Ouro Preto e Antônio Pereira, que representam, respectivamente, os flancos sul e nordeste do anticlinal vazado de Mariana. O Rio das Velhas flui em grande parte pelo eixo do anticlinal.

5.1 O CÓRREGO MATA-PAU

A bacia do Córrego Mata-Pau se encontra na região central da área de estudo e tem sua cabeceira inserida no *scarp slope* do *hog back* que constitui o flanco nordeste da anticlinal de Mariana. O presente trabalho optou por modelar o alto curso da bacia do córrego Mata-Pau, pois esta porção atende os pré-requisitos (trechos com declividade >10° e critério de confinamento das curvas de nível) para a aplicação do método GIDES (CPRM, 2018). Na Figura 5.2 está representado o mapa hipsométrico e de drenagem desta bacia.



Figura 5.2: Mapa hipsométrico e de drenagem da Bacia do Córrego Mata-Pau.

A Figura 5.3 apresenta o mapa de ângulos de encostas mostrando a distribuição local das inclinações, estas classificadas em três intervalos. O intervalo >25° é subsídio para o cálculo do parâmetro A25.



Figura 5.3: Mapa de ângulo de encostas obtido para a bacia do córrego Mata-Pau.

A Figura 5.4 apresenta o perfil longitudinal do córrego Mata-Pau, onde pode-se observar as quebras do relevo.



Perfil longitudinal do Córrego Mata-Pau

Figura 5.4: Perfil longitudinal da do córrego Mata-Pau, com valores em metros.

5.1.1 Parâmetros morfométricos

A Tabela 5.1 apresenta os dados areais e parâmetros morfométricos obtidos para a bacia.

Dados Obtidos	Bacia		
Perímetro	29,84 km		
Área	17,06 km ²		
Comprimento	7,22 km		
Amplitude altimétrica	0,56 km		
Lt	39,94 km		
IC	0,24		
RR	0,07		
Dd	2,34 km/km ²		
Ir	1325,00 m/km		
М	0,13		

Tabela 5.1: Parâmetros morfométricos da bacia do córrego Mata-Pau.

Lt: comprimento total das drenagens, IC: Índice de circularidade, RR: Relação de relevo, Dd: Densidade de drenagem, Ir: Índice de rugosidade e M: Índice de Melton.

5.1.2 Padrões de curva de nível

A Figura 5.5 apresenta pontos importantes para a construção da modelagem de fluxo de detritos de acordo com a metodologia GIDES (CPRM, 2018), os de início e fim do confinamento, estes são marcados utilizando o critério de confinamento do método Os pontos amarelos marcam os limites de declividade: a montante do Ponto 1, a declividade média é $>10^\circ$; entre o Ponto 1 e o Ponto 2, a declividade média é $<10^\circ$ e $>7^\circ$; entre os pontos 2 e 3, a declividade média é $<7^\circ$ e $>2^\circ$; e a jusante do Ponto 3, a declividade média é $<2^\circ$.



Figura 5.5: Mapa com marcação de pontos de início e fim do desconfinamento da bacia do Córrego Mata-Pau.

5.1.3 Tabela de pontos e declividades

Foram calculados os valores tg $10^\circ = 0,1763$, tg $7^\circ = 0,1228$ e tg $2^\circ = 0,0349$ para marcar os limites de declividade. A Tabela 5.2 apresenta as seguintes informações nas colunas: nome do ponto, distância horizontal do ponto até o exultório da bacia, a cota do ponto, a declividade entre o ponto e seu anterior e a média das declividades selecionadas. O cálculo de declividades médias é utilizado para definir os trechos da drenagem dentro dos limites estabelecidos pelos valores acima.

Nome	Distância(m)	Cota(m)	Declividade	Média
139	6950	1095.53	0.0407	0.0185
140	7000	1095.18	0.0072	_
141	7050	1094.45	0.0145	_
142	7100	1092.52	0.0386	_
143	7150	1093.10	0.0115	_
144	7200	1092.20	0.0180	_
145	7250	1093.73	0.0305	_
146	7300	1092.27	0.0291	

Tabela 5.2: Declividades obtidas para a área de modelagem do Córrego Mata-Pau.

147	7350	1092.18	0.0018	_
148	7400	1093.22	0.0208	
149	7450	1092.88	0.0068	
150	7500	1094.76	0.0377	
151	7550	1094.66	0.0020	
152	7600	1094.65	0.0002	
153	7650	1104.27	0.1923	0.1044
154	7700	1108.46	0.0838	
155	7750	1118.44	0.1997	_
156	7800	1134.19	0.3151	
157	7850	1155.79	0.4318	_
158	7900	1164.64	0.1771	
159	7950	1171.20	0.1312	
160	8000	1176.10	0.0980	
161	8050	1179.76	0.0732	
162	8100	1180.98	0.0243	_
163	8150	1184.18	0.0641	_
164	8200	1186.44	0.0452	_
165	8250	1186.24	-0.0040	_
166	8300	1187.27	0.0207	_
167	8350	1188.92	0.0330	_
168	8400	1189.85	0.0186	_
169	8450	1189.89	0.0008	_
170	8500	1192.74	0.0569	
171	8550	1193.79	0.0211	
172	8600	1195.44	0.0330	0.1743
173	8650	1195.50	0.0012	
174	8700	1200.20	0.0940	
175	8750	1204.18	0.0796	
176	8800	1209.57	0.1077	_
177	8850	1210.25	0.0138	_
178	8900	1209.74	-0.0103	
179	8950	1212.54	0.0560	
180	9000	1214.47	0.0387	
181	9050	1222.10	0.1526	
182	9100	1233.53	0.2286	_
183	9150	1242.40	0.1773	
184	9200	1250.21	0.1562	
185	9250	1256.71	0.1299	
186	9300	1269.49	0.2557	
187	9350	1284.07	0.2917	
188	9400	1307.30	0.4645	
189	9450	1330.88	0.4716	
190	9500	1342.72	0.2368	_
191	9550	1355.65	0.2585	_
192	9600	1369.06	0.2684	
193	9650	1377.41	0.1668	_
194	9700	1395.19	0.3557	
195	0750	1401 40	0 12/2	
	9750	1401.40	0.1242	_

Exemplo do cálculo de declividade entre os pontos 196 e 195: Equação 5.1: declividade = [cota{196}-cota{195}]/50, sendo que a distância horizontal dos pontos (50m) é percorrida ao longo da drenagem principal, sendo o ponto 0 (este ponto pode ser identificado na Tabela 1 do Apêndice A) o exultório da bacia e o ponto 196 o ponto mais a montante. O trecho pertinente a modelagem se encontra no intervalo de pontos [139-196] que foram utilizados para compor a Tabela 5.2. A Figura 5.6 mostra o intervalo de pontos selecionados.



Figura 5.6: Pontos selecionados para cálculo das declividades utilizadas na modelagem do córrego Mata-Pau.

5.1.4 Resultado da modelagem do córrego Mata-Pau

Conforme indicado no Item 2.3.3, foram identificados os pontos de início e fim do confinamento das curvas de nível como mostrado no item anterior, e entre eles foram marcados pontos equidistantes (50m) ao longo da drenagem principal. Sobre esses pontos ou próximo a eles foram traçadas retas transversais graduadas de 20 em 20 metros para posterior marcação dos pontos críticos.

Os pontos críticos são marcados de duas formas: uma (caso 1), marcando a interseção da transversal que passa por uma curva de nível até interceptar outra com 5 metros de elevação relativa, isto, quando as curvas de nível atendem ao critério de confinamento (somente uma vez para um mesmo

par de curvas de nível); outra (caso 2), quando não é possível realizar o passo anterior, deve-se marcar os pontos críticos utilizando a graduação da transversal, nesta marcam-se pontos em ambas as margens com equidistância de 20 metros a partir da drenagem principal (Figura 5.7). Finalmente, todos os pontos críticos obtidos são ligados formando o polígono crítico.



Figura 5.7: Detalhe da marcação de pontos críticos (de acordo com o caso) e formação do polígono crítico no córrego Mata-Pau.

Como foi descrito no Item 2.3.3, o método GIDES (CPRM, 2018) requer a marcação dos pontos de dispersão e do polígono de dispersão. Após o ponto de desconfinamento das curvas de nível (Figura 5.5), ocorre a dispersão do fluxo de detritos, representado pelo polígono de dispersão. Para tal, são marcados os pontos de dispersão, de forma análoga ao que foi feito para os pontos críticos, traçando retas transversais à drenagem principal com distância máxima de 50 metros entre si.

Primeiramente são marcados pontos de limites laterais, quando possível, e utilizando as transversais são marcados pontos sobre a curva de nível de 5 metros de elevação em relação ao ponto atual. A marcação dos pontos de dispersão é feita conforme mostrado na Figura 2.9, o ponto de limite lateral inicial é projetado na próxima transversal fazendo uma abertura de 30º utilizando um gabarito

em forma de triângulo equilátero (criando assim o ponto de dispersão). Esta operação é repetida sucessivamente ao longo do trecho de dispersão

Depois, verifica-se se para uma mesma transversal qual ponto ficou mais próximo da drenagem principal, se foi o ponto de dispersão ou o limite lateral. Este será escolhido, pois o polígono/prisma de dispersão não pode ultrapassar 5 metros de elevação em relação ao ponto atual da drenagem em que se está obtendo o ponto de dispersão, uma vez que o ponto de dispersão tenha atingido o limite lateral, este (limite lateral) passa a ser o ponto de dispersão (Figura 2.10), e assim sucessivamente até o final da dispersão.

A Figura 5.8 detalha a marcação dos pontos de dispersão e o traçado do polígono de dispersão para a modelagem de fluxo de detritos realizada no Córrego Mata-Pau. Estão presentes todos os elementos de construção: curvas de nível, ponto de desconfinamento, retas transversais graduadas (de 20 em 20 metros) com distância aproximada de 50 metros entre si, limites laterais, pontos de dispersão e gabarito.



Figura 5.8 Detalhe da marcação de pontos de dispersão e polígono de dispersão no córrego Mata-Pau.

A Figura 5.9 apresenta o resultado da modelagem de fluxo de detritos (Carta de Suscetibilidade) para o alto curso da Bacia do Córrego Mata-Pau, de acordo com toda a construção descrita nos itens anteriores.



Figura 5.9: Carta de suscetibilidade à ocorrência de fluxo de detritos no Córrego Mata-Pau.

5.2 O RIBEIRÃO FUNIL

A bacia do ribeirão Funil se encontra na região sul da área de estudo e apresenta sua cabeceira inserida no *dip slope* do flanco sul da anticlinal de Mariana. Este trabalho fez a opção por simular a suscetibilidade do alto curso desta bacia, objetivando compreender se havia diferença do comportamento das bacias que drenam o *dip slope* e o *scarp slope* do *hog back* da serra de Ouro Preto.

Neste tópico serão omitidos os passos para a obtenção dos dados e mapas pois seguiram os mesmos procedimentos descritos no item anterior. A Figura 5.10 apresenta o mapa hipsométrico da bacia do Ribeirão Funil.



Figura 5.10 Mapa hipsométrico da Bacia do Ribeirão Funil.

A Figura 5.11 apresenta o mapa de ângulos de encostas mostrando a distribuição local das inclinações, estas, classificadas em três intervalos: <15°; >15° à <25° e >25°, para a Bacia do Ribeirão Funil.



Figura 5.11: Mapa de ângulo de encostas da bacia do Ribeirão Funil.

A Figura 5.12 apresenta o perfil longitudinal (PL) do Ribeirão Funil, onde se pode observar as quebras do relevo.



Perfil longitudinal Ribeirão Funil

Figura 5.12: Perfil longitudinal obtido para a da bacia do Ribeirão Funil, com valores em metros.

5.2.1 Parâmetros morfométricos

A Tabela 5.3 apresenta os parâmetros obtidos para a Bacia do Ribeirão Funil.

Dados Obtidos	Bacia	
Perímetro	57,14 km	
Área	30,31 km ²	
Comprimento	14,42 km	
Amplitude altimétrica	0,62 km	
Lt	65,18 km	
IC	0,22	
RR	0,04	
Dd	2,15 km/km ²	
Ir	1332,60 m/km	
М	0,10	

Tabela 5.3: Parâmetros morfométricos da bacia do Ribeirão Funil.

Lt: comprimento total das drenagens, IC: Índice de circularidade, RR: Relação de relevo, Dd: densidade de drenagem, Ir: Índice de rugosidade e M: Índice de Melton.

5.2.2 Padrões de curva de nível

A Figura 5.13 expõe os pontos necessários para a construção da modelagem de fluxo de detritos conforme o método GIDES (CPRM, 2018). O ponto em verde marca o começo do trecho confinado das curvas de nível e o vermelho o fim do confinamento (início espraiamento). A montante do Ponto 1 a declividade média é >10°; entre o Ponto 1 e o Ponto 2, a declividade média é <7° e >2°; a jusante do ponto 2, a declividade média é <2°.



Figura 5.13: Detalhe dos pontos de início de confinamento e desconfinamento, e limites de declividade da bacia do ribeirão Funil.

5.2.3 Tabela de pontos e declividades

A tabela de pontos e declividades para os pontos amostrados em trecho da área de modelagem selecionada do Ribeirão Funil, foi obtida de forma análoga ao Córrego Mata-Pau. A Figura 5.14 mostra os pontos amostrados inscritos na área de modelagem que foram utilizados para o cálculo das declividades.



Figura 5.14: Pontos selecionados para o cálculo das declividades utilizadas na modelagem da bacia do Ribeirão Funil.

A Tabela 5.4 apresenta dados da área de modelagem do Ribeirão Funil, nas colunas: nome do ponto, distância horizontal do ponto até o exultório da bacia, a cota do ponto, a declividade entre o ponto e seu anterior e a média das declividades selecionadas.

Nome	Distância(m)	Cota(m)	Declividade	Média
97	4800	1207.60	0.0308	0.0194
98	4850	1209.15	0.0264	
99	4900	1210.46	0.0009	
100	4950	1210.51	0.0616	0.0676
101	5000	1213.59	0.0366	
102	5050	1215.42	0.0997	
103	5100	1220.40	0.0106	
104	5150	1220.94	0.0825	
105	5200	1225.06	0.0628	
106	5250	1228.20	0.0277	
107	5300	1229.59	0.0617	

Tabela 5.4: Declividades obtidas para a área de modelagem.
108	5350	1232.67	0.1344	
109	5400	1239.39	0.1482	
110	5450	1246.80	0.0175	
111	5500	1247.67	0.1673	0.1786
112	5550	1256.04	0.0145	
113	5600	1255.31	0.1315	
114	5650	1261.89	0.1008	
115	5700	1266.93	0.0538	
116	5750	1269.62	0.1413	
117	5800	1276.68	0.0744	
118	5850	1280.40	0.1002	
119	5900	1285.41	0.1105	
120	5950	1290.94	0.1754	
121	6000	1299.71	0.0843	
122	6050	1303.92	0.1582	
123	6100	1311.83	0.1319	
124	6150	1318.43	0.0949	
125	6200	1323.17	0.0527	
126	6250	1325.81	0.2551	
127	6300	1338.56	0.2706	
128	6350	1352.09	0.0209	
129	6400	1353.13	0.0709	
130	6450	1356.68	0.2635	
131	6500	1369.85	0.2889	
132	6550	1384.30	0.1356	
133	6600	1391.08	0.0612	
134	6650	1394.14	0.3060	
135	6700	1409.44	0.2974	
136	6750	1424.31	0.3037	
137	6800	1439.49	0.4642	
138	6850	1462.70	0.3576	
139	6900	1480.58	0.2525	
140	6950	1493.21	0.4186	
141	7000	1514.14		

Exemplo do cálculo de declividade entre os pontos 141 e 140: Equação 5.2: = declividade [cota{141}-cota{140}]/50, sendo que a distância horizontal dos pontos (50m) é percorrida ao longo da drenagem principal sendo o Ponto 97 o mais próximo ao exultório da bacia e o Ponto 141 o ponto mais a montante. O trecho pertinente a modelagem se encontra no intervalo de pontos [97-141], que foram utilizados para compor a Tabela 5.4.

5.2.4 Resultado da modelagem do Ribeirão Funil

Os pontos críticos necessários para traçar o polígono crítico e o polígono de dispersão seguiram a metodologia GIDES (CPRM, 2018), conforme apresentado na modelagem do estudo de caso anterior (córrego Mata-Pau).

A Figura 5.15 mostra o detalhe da marcação dos pontos críticos (caso 1 e caso 2) e polígono crítico da modelagem de fluxo de detritos do alto curso da bacia do ribeirão Funil, conforme feito no estudo da bacia anterior.



Figura 5.15: Detalhe da marcação de pontos críticos (de acordo com o caso) e formação do polígono crítico da bacia do ribeirão Funil.

A Figura 5.16 apresenta os elementos de construção do polígono de dispersão construído com o mesmo método relatado anteriormente.



Figura 5.16: Detalhe dos elementos construtivos da modelagem do polígono de dispersão de um fluxo de detritos na bacia do ribeirão Funil.

A Figura 5.17 apresenta o resultado da modelagem de fluxo de detritos para o alto curso da bacia do ribeirão Funil. Estão apresentados os polígonos crítico e de dispersão, omitindo seus elementos construtivos.



Figura 5.17: Carta de suscetibilidade a fluxo de detritos da bacia do Ribeirão Funil.

5.3 O CÓRREGO SÃO BARTOLOMEU

A bacia do córrego São Bartolomeu se localiza a sul da área de estudo e tem sua cabeceira inserida no flanco sul da anticlinal de Mariana, no *scarp slope* da serra de Ouro Preto. A Figura 5.18 apresenta o mapa hipsométrico da bacia do córrego São Bartolomeu.



Figura 5.18: Mapa hipsométrico da Bacia do Córrego São Bartolomeu.

A Figura 5.19 apresenta o mapa de ângulos de encostas mostrando a distribuição local das inclinações, estas, classificadas em três intervalos: <15°; >15° à <25° e >25°, para a bacia do córrego São Bartolomeu.



Figura 5.19: Mapa de ângulos de encostas.

A Figura 5.20 apresenta o perfil longitudinal do córrego São Bartolomeu, onde se pode observar as quebras do relevo.



Perfil longitudinal do C. S. Bartolomeu

Figura 5.20: Perfil longitudinal (PL), valores em metros.

5.3.1 Parâmetros morfométricos

A Tabela 5.5 apresenta os parâmetros morfométricos obtidos para a bacia do córrego São Bartolomeu.

Dados Obtidos	Bacia		
Perímetro	12,88 km		
Área	4,46 km ²		
Comprimento	3,40 km		
Amplitude altimétrica	0,52 km		
Lt	12,33 km		
IC	0,33		
RR	0,15		
Dd	2,76 km/km ²		
Ir	1438,51 m/km		
М	0,25		

 Tabela 5.5: Parâmetros morfométricos da Bacia Córrego São Bartolomeu.

Lt: comprimento total das drenagens, IC: Índice de circularidade, RR: Relação de relevo, Dd: densidade de drenagem, Ir: Índice de rugosidade e M: Índice de Melton.

5.3.2 Padrões de curva de nível

A Figura 5.21 apresenta os pontos que serviram de base para a construção da modelagem de fluxo de detritos de acordo com a metodologia GIDES (CPRM, 2018). Os procedimentos foram os mesmos feitos nas bacias anteriores.



Figura 5.21: Detalhe dos pontos de início de confinamento e desconfinamento, e limites de declividade.

5.3.3 Tabela de pontos e declividades

A tabela de pontos e declividades para os pontos amostrados (Tabela 5.6 e Figura 5.22) foi produzida da mesma forma que as tabelas de declividade dos dois estudos de caso anteriores (córregos Mata-Pau e Ribeirão Funil).



Figura 5.22: Pontos selecionados para o cálculo das declividades utilizadas na modelagem da bacia do córrego São Bartolomeu.

A Tabela 5.6 apresenta os pontos amostrados e as declividades calculadas para a área de modelagem do córrego São Bartolomeu.

Nome	Distância(m)	Cota(m)	Declividade	Média
89	4400	1411.23		
88	4350	1397.22	0.2802	_
87	4300	1383.59	0.2728	
86	4250	1371.48	0.2422	
85	4200	1359.99	0.2298	_
84	4150	1353.54	0.1289	_
83	4100	1340.85	0.2539	
82	4050	1322.33	0.3703	_
81	4000	1316.20	0.1226	_
80	3950	1307.84	0.1671	_
79	3900	1294.88	0.2593	0.1765

Tabela 5.6: Declividades obtidas para a área de modelagem.

78	3850	1287.64	0.1447	_
77	3800	1278.94	0.1742	
76	3750	1274.92	0.0803	
75	3700	1272.84	0.0417	
74	3650	1266.41	0.1285	
73	3600	1266.31	0.0020	
72	3550	1262.40	0.0782	_
71	3500	1250.10	0.2459	_
70	3450	1234.14	0.3192	_
69	3400	1224.82	0.1865	
68	3350	1222.57	0.0449	_
67	3300	1220.46	0.0423	_
66	3250	1214.17	0.1258	_
65	3200	1203.39	0.2155	
64	3150	1199.35	0.0808	
63	3100	1187.71	0.2329	
62	3050	1180.39	0.1463	_
61	3000	1177.08	0.0663	
60	2950	1173.46	0.0725	
59	2900	1168.26	0.1040	
58	2850	1165.16	0.0619	
57	2800	1163.33	0.0367	
56	2750	1162.07	0.0251	
55	2700	1157.95	0.0824	
54	2650	1157.17	0.0156	
53	2600	1153.40	0.0755	
52	2550	1153.14	0.0052	
51	2500	1148.09	0.1009	
50	2450	1146.72	0.0275	
49	2400	1138.25	0.1695	0.0814
48	2350	1136.42	0.0366	
47	2300	1133.52	0.0481	
46	2250	1130.44	0.0215	
45	2200	1131.50	0.0201	0.0315

Exemplo do cálculo de declividade entre os Pontos 89 e 88: Equação 5.3: declividade = $[\cot \{89\}]/50$, sendo que a distância horizontal dos pontos (50m) é percorrida ao longo da drenagem principal sendo o Ponto 45 o mais próximo ao exultório da bacia e o Ponto 89 o ponto mais a montante, o trecho pertinente a modelagem se encontra no intervalo de pontos [45-89] que foram utilizados para compor a Tabela 5.6.

5.3.4 Resultado da modelagem do córrego São Bartolomeu

Os pontos críticos e os pontos de dispersão foram obtidos de forma análoga aos estudos de caso anteriores (Item 2.3.3). A Figura 5.23 apresenta a marcação dos pontos críticos para um trecho da modelagem de fluxo de detritos no córrego São Bartolomeu e mostra a marcação, de acordo com o caso, conforme foi descrito na modelagem do córrego Mata-Pau (Item 5.1.4).



Figura 5.23: Detalhe da marcação de pontos críticos e formação do polígono crítico modelagem da bacia do córrego São Bartolomeu.

Os pontos de dispersão foram obtidos seguindo o método GIDES (CPRM, 2018), como apresentado nos estudos de caso anteriores. A Figura 5.24 apresenta em detalhe a marcação dos pontos de dispersão necessários à formação do polígono de dispersão.



Figura 5.24: Detalhe da marcação dos pontos necessários à construção do polígono de dispersão modelagem da bacia do córrego São Bartolomeu.

O resultado da modelagem de um fluxo de detritos segundo o método GIDES (CPRM, 2018) é composto pelo polígono crítico e pelo polígono de dispersão, que compõem a carta de suscetibilidade, como visto nos estudos de caso anteriores. A Figura 5.25 apresenta a carta de suscetibilidade à ocorrência de fluxo de detritos para a área modelada no alto curso da bacia do córrego São Bartolomeu.



Figura 5.25: Modelagem de fluxo de detritos no córrego São Bartolomeu.

CAPÍTULO 6 DISCUSSÃO

6.1 CARACTERÍSTICAS DAS BACIAS ESTUDADAS

A Figura 6.1 apresenta a área de estudo e mostra as redes de drenagem das três bacias estudadas, onde pode-se avaliar os padrões de drenagem predominante para as bacias.



Figura 6.1: Redes de drenagens das três bacias estudadas.

A Tabela 6.1 apresenta características das três bacias a fim de evidenciar suas semelhanças e diferenças utilizando dados de dimensão, padrão de drenagem e substrato geológico.

Bacia	Perímetro (km)	Área (km)	Comprimento (km)	Padrão de drenagem	Unidade(s) geológica(s)
Córrego Mata-Pau	29,84	17,06	7,22	Treliça	Grupos: Nova Lima e Maquiné
Ribeirão do Funil	57,14	30,31	14,42	Treliça	C.M. Bação, Grupos: Nova Lima, Caraça, Itabira, Piracicaba e Sabará,
Córrego São Bartolomeu	12,88	4,46	3,40	Treliça	Grupos: Nova Lima, Caraça, Itabira

Tabela 6.1: Características das bacias.

Uma semelhança entre as três bacias, é a localização. Estão instaladas na região de Ouro Preto, e sujeitas a um regime similar de chuvas. Este apresenta alta pluviosidade e chuvas concentradas, principalmente entre os meses de outubro e março (Figura 4.4), quando ocorre 87% da precipitação anual (Castro, 2006).

As bacias apresentam dimensões bem diferentes, sendo a maior a do ribeirão Funil e a menor a do córrego São Bartolomeu, mas se assemelham pelo fato de possuírem exultório desaguando no rio das Velhas.

Quanto ao substrato geológico, as bacias córrego Mata-Pau e córrego São Bartolomeu se assemelham, pois nas duas a ocorrência do Grupo Nova Lima é predominante. Já a bacia do ribeirão do Funil ocorre maior variedade de unidades geológicas, com predomínio de unidades do C.M. Bação e Grupo Piracicaba.

As três bacias encontram-se instaladas em unidades que apresentam características topográficas, geológicas e geotécnicas com predisposição para desenvolver processos de movimento de massa, em especial fluxo de detritos.

As bacias do córrego São Bartolomeu e ribeirão do Funil encontram-se instaladas na serra de Ouro Preto. A primeira verte para norte (*scarp slope*) e a segunda para sul (*dip slope*). Já a bacia do córrego Mata-Pau encontra-se instalada da serra de Antônio Pereira e verte para oeste (*scarp slope*). Verifica-se que as três bacias drenam para o interior da anticlinal de Mariana até chegar no Rio das Velhas.

Apesar das diferenças apontadas, as três bacias apresentam redes de drenagem que se assemelham ao padrão treliça. Segundo Chritofoletti (1980), este padrão associa-se a estruturas homoclinais, estruturas falhadas, cristas anticlinais e a rochas que apresentam anisotropias, como foliação.

6.2 A APLICAÇÃO DO MÉTODO GIDES

A aplicação do método do projeto GIDES (CPRM, 2018) para análise de fluxo de detritos em bacias hidrográficas requer análise dos seguintes parâmetros para o mapeamento de áreas suscetíveis à ocorrência de fluxo de detritos: área de captação á montante, declividade média do talvegue da drenagem principal e confinamento das curvas de nível atravessadas por ele.

Para encontrar as bacias aptas à aplicação do método, foi preciso aumentar a área de estudo inicialmente prevista e fazer uma análise detalhada dos parâmetros em várias bacias. As bacias encontradas possuem trechos muito sinuosos de drenagem, o que não é contemplado no manual explicativo do projeto. Desta forma, a modelagem destes foi realizada seguindo os mesmos passos descritos para trechos retilíneos.

Embora o método GIDES para construção de cartas de suscetibilidade à ocorrência de fluxo de detritos exija avaliações topográficas e geométricas realizadas em *software* SIG, recomenda-se a realização de trabalhos de campo para verificação *in loco* dos limites dos trechos de declividade média e de início de desconfinamento das curvas de nível. Não foi possível a realização de trabalhos de campo, então as regiões de mudança de declividade foram delimitadas pela análise de mudança nos padrões de curva de nível juntamente com a avaliação dos valores de declividade.

Como a obtenção das declividades fica em aberto no referido manual, neste trabalho as declividades foram obtidas através do cálculo da tangente do ângulo, utilizando a diferença de cotas entre dois pontos subsequentes como cateto oposto e a distância linear de 50 metros ao longo da drenagem principal como cateto adjacente.

6.3 AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS

No presente trabalho, optou-se por utilizar os parâmetros presentes da Figura 2.9, utilizados por Dias (2017), que os adaptou a partir do trabalho de Jakob (1996). A estes, foram acrescidos os parâmetros comprimento e índice de Melton, pois de acordo com Wilford *et al.* (2004), estes, seriam muito importantes para avaliar a suscetibilidade à ocorrência de fluxo de detritos.

A Tabela 6.2 apresenta uma síntese dos valores/critérios críticos dos parâmetros morfométricos, discutidos no capítulo 2.

Parâmetros	Valores Críticos					
	Parâmetros Numéricos					
IC	Bacias com IC < 0,5 são mais propensas à fluxo de detritos (Crozier, 1986)					
RR (m/km) Bacias com RR acima de 90 são mais propensas à fluxo de (Dias, 2017)						
AA (km)	Bacias com AA>0,6 são mais suscetíveis à ocorrência de fluxo de detritos (Wilford, 2004)					
Dd (km/km²)Bacias com Dd>2,5 apresentam maior propensão à fluxo de detrito2017)						
Comprimento (km)Bacias com Comprimento menor que 4 possuem maior propensão detritos (Facuri & Picanço, 2018)						
Ir (m/km)Bacias com Valores de Ir>2000 são mais propensas ao desenvol fluxo de detritos (Dias, 2017)						
М	Bacias com valores de M>0,43 possuem maior propensão ao desenvolvimento de fluxo de detritos (Facuri & Picanço, 2018)					
A25 (%)	Bacias que possuem pelo menos 33% de sua área em inclinações >25° são mais propensas à ocorrência de fluxo de detritos (Dias, 2017)					
Parâmetros Analíticos						
PL Bacias que apresentam fortes quebras no relevo são mais proper desenvolvimento de fluxo de detritos (Dias, 2017)						
Hierarquia da Bacia (H)	Quanto maior a hierarquia da bacia, maior a propensão ao desenvolvimento de fluxo de detritos (Dias, 2017)					

Tabela 6.2: Valores e critérios críticos para avaliação dos parâmetros morfométricos.

A Figura 6.2 mostra a comparação dos valores obtidos para os parâmetros: Índice de Circularidade (IC), Relação de Relevo (RR), Amplitude Altimétrica (AA), Densidade de Drenagem (Dd), Índice de rugosidade (Ir), Comprimento, Índice de Melton (M) e A25, e seus limites críticos para fluxo de detritos, nas três bacias estudadas.



Figura 6.2: Comparação dos parâmetros IC (adimensional), RR (m/km), AA (km), Dd (km/km²), Ir (m/km), Comprimento (km), Índice de Melton (adimensional) e A25 para as três bacias estudadas.

A Figura 6.3 apresenta os perfis longitudinais (PL) dos canais principais das três bacias estudadas, onde se pode visualizar as quebras de relevo.



Figura 6.3: Perfis longitudinais da drenagem principal.

O perfil do córrego Mata-Pau mostra quebras abrutas de relevo, já os perfis do Ribeirão Funil e córrego São Bartolomeu apresentam quebras mais suaves. Quebras no relevo são locais de acumulação de sedimentos, que podem favorecer o desenvolvimento de fluxo de detritos (Dias, 2017)

A Figura 6.4 apresenta a hierarquia das drenagens e ordem das bacias, como proposto por Strahler (1952). A drenagem de maior ordem define a ordem da bacia.



Figura 6.4: Hierarquia fluvial e ordem de bacia.

Segundo Dias (2017) os parâmetros mais importantes na avaliação da suscetibilidade em ordem decrescente seriam: PL, Hierarquia da Bacia (H), Dd, A25, Ir e RR. Já Wilford *et al.* (2004) sugere que o Comprimento da Bacia, M e AA seriam os parâmetros mais confiáveis na avaliação de propensão à ocorrência do fenômeno.

A bacia do córrego São Bartolomeu apresentou cinco valores críticos entre os oito relacionados na Figura 6.2. Eles são: Índice de Circularidade, Relação de Relevo, Densidade de Drenagem, Comprimento e A25. A bacia do córrego Mata-Pau apresentou apenas um valor crítico entre os oito: Índice de Circularidade. Por fim, a bacia do ribeirão Funil apresentou dois valores críticos, o Índice de Circularidade e a Amplitude Altimétrica, mas como esta bacia é muito maior, o último parâmetro não pode ser considerado, pois este depende da dimensão.

As três bacias apresentam quebras de relevo (PL), porém em sua maioria são pouco marcantes, salvo algumas exceções. Este critério aponta que as três bacias apresentam alguma suscetibilidade. A bacia do ribeirão Funil (RF) apresenta Ordem 5, a bacia do córrego Mata-Pau (CMP) apresenta Ordem 4 e a bacia do córrego São Bartolomeu (CSB) Ordem 3. Este critério apontaria que a primeira bacia é a

mais suscetível à fluxo de detrito, mas como este parâmetro é muito dependente da dimensão da bacia, ele pode ser desconsiderado.

A avaliação conjunta dos parâmetros apontou que a bacia CSB apresenta maior suscetibilidade a fluxo de detritos, pois apresenta o maior número de valores de parâmetros considerados críticos, enquanto as outras duas teriam suscetibilidade mais baixa.

Uma questão importante a destacar é a natureza particular das bacias estudadas. A espessura de material inconsolidado nas bacias é considerado um fator predisponente importante para o desenvolvimento da suscetibilidade a fluxo de detritos. Embora não esteja explícito nos parâmetros morfométricos e no método GIDES (CPRM, 2018), a espessura destes materiais tende a ser inversamente proporcional a declividade da bacia. Ou seja, quanto mais declivosa a bacia, mais delgado tende a ser a espessura de solos.

Contudo, na área estudada, esta relação não é certa, pois nas bacias com cabeceiras no *scarp slope* (bacias dos córregos São Bartolomeu e Mata-Pau), a espessura das coberturas tende a ser maior que naquelas que drenam os *dip slopes* (bacia do ribeirão Funil), pois estas têm caimento paralelo à foliação de rochas resistentes ao intemperismo, como itabiritos e quartzitos. Entre as que drenam o *scarp slope*, a do córrego São Bartolomeu se destaca, pois drena predominantemente xistos e filitos do Grupo Nova Lima, ao passo que a do córrego Mata-Pau, drena maior proporção de quartzitos do Grupo Maquiné, mais resistentes à erosão.

Cabe destacar também, que já foram registrados forte evidências de ocorrência de fluxo de detritos durante o Holoceno na bacia do córrego São Bartolomeu (Lopes, 2014), reforçando os resultados da análise por parâmetros morfológicos.

As conclusões serão apresentadas no formato de questionamentos sobre a aplicabilidade e avaliação do método escolhido, para a análise de suscetibilidade a fluxo de detritos.

7.1 OS RESULTADOS ATESTAM A APLICABILIDADE DO MÉTODO GIDES?

Para responder a essa pergunta é necessário voltar a questão da seleção das bacias estudadas, pois, a proposta deste trabalho foi avaliar a suscetibilidade à ocorrência de fluxo de detritos nas vertentes das serras que constituem a anticlinal de Marina aplicando-se o método GIDES (CPRM, 2018).

Foram selecionadas três bacias afluentes do rio das Velhas, que se encontram assim dispostas: duas delas no flanco sul da anticlinal de Mariana, sendo uma na vertente sul (ribeirão Funil) e uma na vertente nordeste (córrego São Bartolomeu), e uma terceira inserida no flanco nordeste da mesma anticlinal, porém em sua vertente sudoeste (córrego Mata-Pau). A primeira tem cabeceira no *dip slope* do *hog back* da serra de Ouro Preto, enquanto as outras duas se situam no *scarp slope* dessa serra e da serra de Antônio Pereira, respectivamente. Além dos posicionamentos em vertentes com características geomorfológicas diferentes, as bacias selecionadas possuem áreas, comprimentos e formatos bastante distintos.

Uma das dificuldades encontradas na aplicação do método foi com a determinação da declividade do canal principal (tanto no *dip slope* como no *scarp slope*), obtida conforme o exemplo apresentado no Projeto GIDES, utilizando-se da tangente do ângulo formado pela diferença de cotas entre dois pontos adjacentes dividido pela distância horizontal entre eles.

Apesar do manual do projeto GIDES apresentar figuras com exemplos de bacias com geometria simplificada, com canais de drenagem mais retilíneos e vales mais simétricos, foi possível a sua aplicação em situações reais (mais complexas), como as realizadas neste trabalho. De fato, apesar dos canais de drenagem serem curvos ou sinuosos ou com curvas de nível muito onduladas e sem qualquer simetria, foi possível aplicar o método.

As cartas de suscetibilidade obtidas possuem todos os elementos da modelagem, como os polígonos crítico e de dispersão, e ambos se conformam de maneira bem natural no relevo.

7.2 FOI POSSÍVEL AVALIAR A SUSCETIBILIDADE A FLUXO DE DETRITOS COM AS ABORDAGENS ESCOLHIDAS?

Foram duas abordagens escolhidas para analisar a suscetibilidade a fluxo de detritos das bacias, o método GIDES (CPRM, 2018) e o emprego de parâmetros morfométricos clássicos.

Os desenhos (representações) dos fluxos de detritos construídos, com a aplicação do método GIDES (CPRM, 2018), atestam a alta suscetibilidade à ocorrência do fenômeno nas bacias, já que os parâmetros topográficos requeridos foram atendidos. Ou seja, a primeira abordagem indica a suscetibilidade à ocorrência de fluxo de detritos nos altos cursos das bacias estudadas sem, contudo, diferenciá-las quanto ao grau de suscetibilidade.

A segunda abordagem consistiu na avaliação de parâmetros morfométricos das bacias, a exemplo dos trabalhos de Jakob (1996), Wilford *et al.* (2004) e Dias (2017). Os parâmetros obtidos foram comparados com valores críticos presentes na literatura, sugerindo que as três bacias apresentam alguns indicadores que apontam para certa suscetibilidade para estes tipos de movimentos. Destas, destaca-se a bacia do córrego São Bartolomeu, que apresentou o maior número de fatores condicionantes críticos, podendo ser, em tese, considerada como de suscetibilidade mais elevada. É importante destacar aqui que nesta bacia já foram encontradas evidências em campo de fluxos de detritos que ocorreram no Holoceno (Lopes, 2014).

As abordagens utilizadas, mesmo que de forma separada, concordam com o resultado e funcionam juntas com fundamento para defesa do método e das abordagens para avaliar suscetibilidade a fluxo de detritos.

É importante destacar que as abordagens utilizadas foram empregadas em contextos geológicogeomorfológicos distintos. Estas bacias de áreas montanhosas do Quadrilátero Ferrífero apresentam certas peculiaridades, como o relevo de serras na forma de cristas assimétricas (*hog backs*), com vertentes concordantes com o caimento da foliação (*dip slopes*) e contrários (*scarp slopes*), com diferentes características geomorfológicas e pedológicas que precisam ser mais bem avaliadas em trabalhos futuros.

Recomenda-se que sejam feitos trabalhos de campo nas bacias do ribeirão Funil e do córrego Mata-Pau, para averiguar se nestas também existem registros pretéritos de fluxos de detritos em campo, como os identificados na bacia do córrego São Bartolomeu.

A análise de suscetibilidade a fluxo de detritos é muito importante para o Quadrilátero Ferrífero, pois trata-se de região densamente ocupada, com cidades históricas (Ouro Preto, Mariana e Sabará), e com estruturas geotécnicas de alto risco, como as barragens de rejeito, que podem ter o risco ainda mais elevado com o desencadeamento de um movimento deste tipo, que apresenta expressivo raio de alcance.

Por estes motivos é extremamente desejável que sejam realizados estudos e monitoramentos, de forma contínua, no que tange o fenômeno de fluxo de detritos. Este trabalho contém todos os pontos amostrados ao longo dos córregos Mata-Pau, São Bartolomeu e do Ribeirão Funil, estes estão presentes no Apêndice A e podem vir a contribuir para estudos futuros nestas mesmas bacias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alkmim, F.F., Marshak S. 1998. *The Transamazonian orogeny in the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil*: Paleoproterozoic collision and collapse in the Southern São Francisco Craton region. Precambrian Research, 90: 29-58.

Alkmim, F.F. and Noce, C.M. (eds.). 2006. *The Paleoproterozoic Record of the São Francisco Craton*. IGCP 509 Field workshop, Bahia and Minas Gerais, Brazil. Field Guide & Abstracts, 114 p.

Almeida, L. G.; Castro P.T. A., Endo I., Fonseca M. A. 2005. O Grupo Sabará no Sinclinal Dom Bosco: Uma Revisão Estratigráfica. Revista Brasileira de Geociências, 35 (2): 177-186.

Augusto Filho, O. 1992. Caracterização Geológico-Geotécnica Voltada À Estabilização De Encostas: Uma Proposta Metodológic*a*. In: Conferência Brasileira Sobre Estabilidade De Encostas, 1., 1992. Rio De Janeiro. Anais... Rio De Janeiro: 1992. p. 721-733.

Augusto Filho, O; Virgili, J.C. 1998. Estabilidade de taludes. In: Oliveira, A.M.S.; Brito, S.N.A. (Edit.). Geologia de Engenharia. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. Cap. 15, p. 243-269.

Avelar, A. S. 2003. *Iniciação e desenvolvimento de fluxos detríticos em encosta*: ensaios triaxiais de choque e em caixa experimental abordando o caso do Soberbo (RJ). Tese de Doutoramento. COPPE/PEC- UFRJ, Rio de Janeiro, 286p.

Baltazar, O.F.; Baars F.J.; Lobato, L.M.; Reis, L.B.; Achtschin, A.B.; Berni, G.V. & Silveira, V.D. 2005. *Mapa Geológico Mariana na Escala 1:50.000 com Nota Explicativa*. In: Projeto Geologia do Quadrilátero Ferrífero - Integração e Correção Cartográfica em SIG com nota explicativa, Belo Horizonte.

Baltazar O. F. & Zucchetti M. 2007. Lithofacies associations and structural evolution of the Archean Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero, Brazil: A review of the setting of gold deposits. Ore Geology Reviews 32: p. 471–499.

Barella C.F., Sobreira F. & Zêzere J., 2019. A comparative analysis of statistical landslide susceptibility mapping in the southeast region of Minas Gerais state, Brazil. Bull Eng Geol Environ 78: p. 3205-3221.

Bigarella, J. J.; Becker, R. D.; Passos, E. 2003. *Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtopicais*, v. 3, UFSC, Florianópolis, 560 p.

Caine N (1980) The rainfall intensity duration control of shallow landslides and debris flows. Geogr Annaler, 62:p. 23–27. Carvalho, E. T. 1982. *Carta Geotécnica de Ouro Preto*. Dissertação de Mestrado. Universidade Nova Lisboa. Lisboa, 95p.

Carvalho, T.M. 2007. *Métodos de sensoriamento remoto aplicados a geomorfologia*. Revista Geográfica Acadêmica. 1:p. 44-54.

Castro, J.M.G. 2006. *Pluviosidade e Escorregamentos em Ouro Preto*. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Dissertação de Mestrado, 138p.

Cerri, L.E.S. 1993. *Riscos geológicos associados a escorregamentos: uma proposta para prevenção de acidentes*. Rio Claro, SP. Tese de Doutorado - Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista (IGCE/Unesp), 197p.

Chen C.Y. & Yu F.C. 2011. Morphometric analysis of debris flows and their source areas using GIS. *Geomorphology*, 129: p. 387-397.

Christofoletti, A. 1980. *Geomorfologia*. São Paulo: Editora Blucher, 2ª edição, 200p.

Colângelo, A. C. 1995. Os mecanismos de compensação e os equilíbrios de forças na dinâmica dos materiais de vertente. Revista do Departamento de Geografia, USP, 9, p 13-20.

Corominas, J. 1996. The angle of reach as a mobility index for small and large landslides. p. 260-271.

Costa, F. O.; Bacellar, L. A. P.; Castro, S. S.; Resende, F. R. M.; Silva, S. F. 2014. Morfopedogênese de Zona Escarpada na Alta Bacia Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero, MG: Análise Integrada de Dados Físicos, Químicos e Mineralógicos.São Paulo, UNESP, Geociências, v33, 3, p.403-415.

Crozier, M. J., 1986. Landslides: causes, consequences and environment. Croom Helm, 252p.

Cruden, D.M., Varnes, D.J.,1996, *Landslide Types and Processes*, Transportation Research Board, U.S. National Academy of Sciences, Special Report, 247: p. 36-75

Dias, V.C. 2017. *Corridas de detritos na Serra do Mar Paulista*: Parâmetros morfológicos e índice potencial magnitude e suscetibilidade. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. São Paulo, 129 p.

Door II, J.V.N. 1969. *Physiographic, Stratigraphic and Structural Development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil.* United States Geological Survey, Professional Paper 641-A, 110p.

Dourado, F.; Arraes, T.C.; Silva, M.F.,2013, O Megadesastre da Região Serrana do Rio de Janeiro – as Causas do Evento, os Mecanismos dos Movimentos de Massa e a Distribuição Espacial dos Investimentos de Reconstrução no Pós-Desastre, Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ, 12p.

Eisbacher, G. H. and Clauge, J. J., 1984. *Destructive Mass Movements in High Mountains: Hazard and Management*. Geological Survey of Canada, Ottawa, 230 p.

Endo, I., Carneiro, M., Machado, R. 1996. *O Complexo metamórfico Bação*: um elemento estrutural anisotrópico na deformação do supergrupo Rio das Velhas- Q.F., MG. Anais. Salvador: Sbg-BA, 1996. p. 411-413.

Facuri, G., G., 2018, *Avaliações e propostas para o método de mapeamento de perigo a fluxo de detritos do projeto Gides*. Dissertação (Mestrado em geociências) - Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 69 p.

Facuri, G. G.; Picanço, J. L. 2021. *Evaluations and proposals for the debris flow hazard mapping method of the GIDES Project*. Landslides, v. 18, p. 339-352.

Gramani, M. F., Kanji, M. A. 2001. Inventário e análise das corridas de detritos no Brasil. III Conferência Brasileira Sobre Estabilidade de Encostas. COBRAE, Rio de Janeiro, RJ, 53-60.

Grandchamp, C.A.P., Monteiro S.W.T., Machado De C.L.E. 1985. *Serra de Antônio Pereira*. Trabalho Acadêmico. Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais. 32p.

Griffiths, D. V.; Fenton, G. A. 2004. *Probabilistic Slope Stability Analysis by Finite Elements*. Journal of Geotechnical and Geoenvironmetal Engineering, vol. 130, n° 5, p. 507-518.

Guzzetti F, Carrara A, Cardinali M & Reichenbach P. 1999. *Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study*, Central Italy. *Geomorphology* 31: p.181-216.

Guzzetti F, Reichenbach P, Ardizzone F, Cardinali M & Galli M. 2005. *Probabilistic landslide hazard assessment at the basin scale*. Geomorphology 72: 272-299p.

Guzzetti F, Reichenbach P, Ardizzone F, Cardinali M & Galli M. 2006. Estimating the quality of landslide susceptibility models. Geomorphology 81: 166-184.

Guzzetti, F., Peruccacci, S., Rossi, M., & Stark, C. P. (2007). *Rainfall thresholds for the initiation of landslides in central and southern Europe. Meteorology and Atmospheric Physics*, 98(3-4), 239–267.

Herz, N. 1978. *Metamorphic rocks of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil.* Geological Survey Professional Paper 641-C. Washington, United States Government Printing Office, 83p.

Horton R.E. 1945. *Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology*. Geol. Soc. America Bulletin, 56(3): p.275-370.

Jakob, M. & Hungr, O. 2005. Debris-flow hazards and related phenomena. Springer, Berlin, 739p.

Jakob, M. 1996. *Morphometric and geotechnical controls on debris flow frequency and magnitude in Southwestern British Comlumbia*. Ph.D. Dissertation, University of British Comlumbia, 232p.

Lopes, L. C. F. L. 2014. *Investigação dos depósitos fluviais e de encosta em bacias de cabeceira do alto Rio das Velhas (MG):* subsídios para avaliação da suscetibilidade a fluxos de detritos. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 148 p.

Macedo, ES; Bressani, L A 2013. (Coords.). *Diretrizes para o zoneamento da suscetibilidade, perigo e risco de deslizamentos para planejamento do uso do solo*. São Paulo: ABGE, 88 p.

Miller, V.C. 1953. A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch *Mountain area, Virginia and Tennessee*. Technical report (Columbia University. Dept. of Geology), 3: 51 p.

Mcdougall, S., Mckinnon, M., & Hungr, O. 2012. *Developments in landslide runout prediction*. *Landslides: Types, Mechanisms and Modeling*, ed. John J. Clague and Douglas Stead. Published by Cambridge University Press, p. 187-195.

Mckinnon, M. 2010. *Landslide Runout Statistical Analysis of Physical Characteristics and Model Parameters*. Thesis, The Faculty of Graduate Studies, The University of British Columbia, Vancouver, Canada.362p.

Melton, M. A. 1957. An analysis of the relation among elements of climate, surface properties and geomorphology. New York, Columbia University, Departament of Geology, Technical Report nº 11, 102p.

Michel, G. P., Kobiyama, M., Goerl, R. F., Michel, R. 2015. *Metodologia de mapeamento de escorregamentos e fluxos de detritos*. In: XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2015, Brasília. Segurança Hídrica e Desenvolvimento Sustentável. Porto Alegre: ABRH, p. 1-8.

Michel, G., Kobiyama, M., Goerl, R. 2015. Effectiveness analysis of small artificial reservoir for reducing sediment delivery due to debris flow with KANAKO model. In: 6th International Conference on Debris-Flow Hazard Mitigation, Tsukuba/Japão, Proceedings, p.119.

Michel, R. D. L.; Kobiyama, M. 2018. Avaliação da ocorrência de fluxo de detritos na região rural do *município de Alto Feliz/RS com a utilização do Kanako2D*. I Encontro Nacional de Desastres, 8p.

Nakatani, K.; Wada, T.; Satofuka, Y.; Mizuyama, T. 2008. *Development of "Kanako 2D (Ver.2.00): A user-friendly one- and two-dimensional debris flow simulator 87 equipped with a graphical user interface*. International Journal of Erosion Control Engineering, v. 1, n. 2, p. 62-72.

Natali, P.P., Vieira, V. 1995. *Mapeamento lito-estrutural e geologia econômica da região de Antônio Pereira, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais*. Trabalho Acadêmico, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto. Minas Gerais. 82p.

Oliveira, L.D. 2010. *Ocupação Urbana de Ouro Preto de 1950 a 2004 e atuais tendências*. Dissertação de mestrado, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 137 p.

Paes, V.J.C. 1999. *Geologia da quadrícula Alvarenga, MG, e a geoquímica: implicações geotectônicas e metalogenéticas*. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 144p.

Pierson, T. C. 2005. Distinguishing between Debris Flows and Floods from Field Evidence in Small Watersheds. Disponível em: http:// walrus.wr.usgs.gov/infobank/programs/html/ factsheets/pdfs/2004_3142.pdf. Acesso em: 22 nov. 2021.

Pomerene J. B. 1958a. The Cercadinho Formation.: Sociedade Brasileira de Ge ologia, Bol. vol.7, n°2, p.64-65.

Rosière, C. A., & Chemale Jr, F. 2000. Itabiritos e minérios de ferro de alto teor do Quadrilátero Ferrífero–uma visão geral e discussão. Revista Geonomos, 8(2), 27-43p.

Salvador, C. G. 2018. Utilização da ferramenta avalanche runout para geração de mapa de suscetibilidade a fluxo de detritos na bacia do Arroio Jaguar–Alto Feliz, RS, 87p.

Scheidegger, A. 1973. On the prediction of the reach and velocity of catastrophic landslides. Rock Mechanics. p. 231-236.

Schumm, S. A. 1956. *Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy*. Geological Society of America Bulletin, 67, 597-646.

CPRM., 2018, *Projeto Gides - Fortalecimento da Estratégia Nacional de Gestão Integrada de Riscos de Desastres*, v. 1. Manual de Mapeamento de Perigo e Risco a Movimentos Gravitacionais de Massa, Serviço Geológico do Brasil, v1, 213p

Shreve, R. L. 1967. *Infinite topologically random channel networks*. Journal of Geology, 75 (2), p. 178-186.

Sobreira, F.G., Fonseca M.A. 2001. Impactos físicos e sociais de antigas actividades de mineração em Ouro Preto, Brasil. Geotecnia, 92:5-28.

Sobreira Fg & Souza La. 2012. *Cartografia geotécnica aplicada ao planejamento urbano*. Rev Bras Geol Engenh Ambient 2: 79-97.

Sobreira, F, 2014. *Mineração do ouro no período colonial: alterações paisagísticas antrópicas na serra de Ouro Preto, Minas Gerais*, Quaternary and Environmental Geosciences 05(1):55-65.

Sobreira, F. G. 1991. Riscos Geológicos: definição de pontos críticos em Ouro Preto. REM - Revista Escola de Minas, Ouro Preto, v. 44, n. 3 e 4, p. 213-223.

Sobreira, F.G. 1992. *Urban landslides as a consequence of old mining in Ouro Preto, Brazil.* In: Landslides Symposium, 6°, 1992, Christchurch. Proceedings, New Zealand; p.1419-1422.

Steffen, Carlos Alberto. *Introdução ao sensoriamento remoto*. Disponível em: http://www.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm. Acesso em: 22 abr. 2022.

Strahler A.N. 1952. *Hypsometric (area-altitude) analysis and erosional topography*. Geol. Soc. Am. Bull., 63:p. 1117-1142.

Tominaga, L.K. 2012. *Escorregamentos*. In: Tominaga, L.K.; Santoro, J.; Amaral, R. Do (Org.). Desastres naturais: conhecer para prevenir. 2. ed. São Paulo: Instituto Geológico, cap. 2, p. 25-38.

UFV/IEF. 2005. Zoneamento Ecológico da Área de Protecção Ambiental Estadual Cachoeira das Andorinhas, Ouro Preto, Minas Gerais. Relatório do Meio Biótico e do Meio Físico. Universidade Federal de Viçosa, Instituto Estadual de Florestas.

Uhlein, A., Noce, C.M. 2012. *Quadrilátero Ferrífero*. In: Hasui, Y., Carneiro, C.D.R., Almeida, F.F.M., Bartorelli, A. (eds). Geologia do Brasil. São Paulo: Beca, 228 – 229.Vandine, D. F. 1996. *Debris flow control structures for forest enginnering*. Res. Or, B. C. Min. For., Victoria, B. C., Work. Pap. 75p.

VanWesten, C.J. 2004. Geo-Information tools for landslide risk assessment: an overview of recent developments. In: Landslides: Evaluation and Stabilization, Lacerda, Ehrlich, Fontoura & Sayão (eds), Taylor & Francis Group, London, ISBN 04 1535 665 2.Varajão, C. A. C.; Salgado, A. A. R.; Varajão, A. F. D. C.; Braucher, R.; Colin, F.; Nalini Junior, H. A. 2009. *Estudo da evolução da paisagem do Quadrilátero Ferrífero (Minas Gerais, Brasil) por meio da mensuração das taxas de erosão (¹⁰Be) e da pedogênese*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.33, p.1409-1425.

Varnes, D.J. 1978. *Slope Movement Types And Processes*. In: Schuster & Krizek (Ed.). Landslides Analysis And Control., National Academy Of Sciences, Washington, P.11–33

Wilford, D. J., Sakals, M. E., Innes, J. L., Sidle, R. C. e Bergerud, W. A. 2004. *Recognition of debris flow, debris flood and flood hazard through watershed morphometrics*. Landslides, p. 61-66.

Wu, C.; Li, X.; Chen, W.; Li, X. 2018. A Review of Geological Applications of High-Spatial-Resolution Remote Sensing Data. Preprints, 24p.

Zimmermann M. 1990. Debris flows 1987 in Switzerland: geomorphological and meteorological aspects. Hydrology in Mountainous Regions. H - Artificial Reservoirs, Water and Slopes (Proceedings of two Lausanne Symposia, August 1990). IAHS Publ. no. 194, 8p.

Microsoft 2013. Excel For Windows 10, Version Plus, *Planning Software*. Redmond, Wa, Microsoft Corporation. Conjunto de programas 1 CD-ROM

QGIS [software GIS]. Versão 3.24.1. QGIS *Geographic Information System*. Open Source Geospatial Foundation Project. http://qgis.osgeo.org, 2021.

APÊNDICE A

Nome do	Distância do	Valor de	Declividade
ponto	exultório (m)	cota (m)	
1	0	977.69	
2	50	978.43	0.0147876
3	100	979.57	0.0229198
4	150	979.79	0.004292
5	200	979.86	0.0013928
6	250	980.04	0.0036244
7	300	981.34	0.0259948
8	350	982.23	0.0178894
9	400	985.29	0.0612634
10	450	984.91	-0.0076746
11	500	986.26	0.0270094
12	550	987.60	0.0268506
13	600	987.96	0.0071326
14	650	988.07	0.0022032
15	700	988.56	0.0097986
16	750	989.30	0.0148694
17	800	990.57	0.0253064
18	850	990.24	-0.006671
19	900	988.45	-0.0357386
20	950	988.63	0.0036132
21	1000	988.97	0.0068738
22	1050	988.97	-0.0001318
23	1100	989.46	0.009851
24	1150	989.61	0.0030458
25	1200	990.95	0.0266954
26	1250	988.99	-0.0391052
27	1300	989.69	0.013965
28	1350	990.03	0.0068664
29	1400	990.35	0.0064086
30	1450	989.62	-0.014652
31	1500	989.62	-8.8E-05
32	1550	988.30	-0.026261
33	1600	987.78	-0.0105322
34	1650	987.55	-0.0044786
35	1700	987.62	0.0013048
36	1750	988.17	0.0111328
37	1800	988.90	0.0146156
38	1850	990.60	0.033988
39	1900	995.41	0.096178
40	1950	998.75	0.0667114

Tabela 1: Pontos amostrados bacia córrego Mata-Pau.

41	2000	1002.39	0.072843
42	2050	1002.72	0.0066186
43	2100	1002.41	-0.0061608
44	2150	1005.08	0.0532982
45	2200	1007.35	0.0454334
46	2250	1008.25	0.0180262
47	2300	1007.84	-0.0082386
48	2350	1008.31	0.0094092
49	2400	1009.66	0.0269482
50	2450	1010.56	0.0180836
51	2500	1009.82	-0.0147412
52	2550	1007.92	-0.0380104
53	2600	1007.20	-0.0144116
54	2650	1007.40	0.0040076
55	2700	1008.06	0.013158
56	2750	1008.37	0.0061316
57	2800	1009.66	0.0258654
58	2850	1009.00	0.0230034
50	2000	1009.77	-0.021412
<u> </u>	2950	1010.56	0.0217500
61	3000	1010.30	-0.0263708
<u> </u>	3050	1010.19	0.018000
63	3100	1010.19	0.0103333
64	3150	1012.20	0.0402478
65	2200	1010.32	0.082343
	3250	1010.75	0.0462006
67	2200	1020.34	0.0302398
<u> </u>	2250	1010.00	-0.03/1302
<u> </u>	2400	1019.05	0.0070092
<u> </u>	2450	1022.40	0.007295
70	3450	1024.10	0.0352410
/1	3500	1025.91	0.034917
12	3550	1029.75	0.0768188
/3	3600	1027.52	-0.0444774
74	3650	1028.66	0.0226562
/5	3700	1029.50	0.0169042
/6	3750	1029.92	0.0083618
77	3800	1029.93	0.000188
78	3850	1028.36	-0.0313354
	3900	1027.79	-0.0115234
80	3950	1028.51	0.0144092
81	4000	1028.26	-0.0049536
82	4050	1033.08	0.0963672
83	4100	1041.71	0.1726758
84	4150	1045.08	0.0673314
85	4200	1043.98	-0.0220434
86	4250	1042.98	-0.02
87	4300	1044.41	0.0285742
88	4350	1045.29	0.0177832
89	4400	1043.55	-0.0349414
90	4450	1042.54	-0.020061
91	4500	1043.03	0.0096826
92	4550	1043.47	0.0087378

93	4600	1043.02	-0.008872
94	4650	1044.11	0.0217504
95	4700	1045.20	0.0218946
96	4750	1044.74	-0.0093164
97	4800	1043.93	-0.0161816
98	4850	1043.40	-0.010486
99	4900	1042.85	-0.011145
100	4950	1042.74	-0.0021654
101	5000	1042.69	-0.0009766
102	5050	1044.83	0.0427904
103	5100	1045.56	0.014585
104	5150	1049.04	0.0696876
105	5200	1050.24	0.0239258
106	5250	1056.02	0.1155126
107	5300	1057.47	0.029148
108	5350	1059.51	0.040769
109	5400	1060.73	0.024309
110	5450	1062.82	0.041836
111	5500	1068.85	0.1205494
112	5550	1069.95	0.0220044
113	5600	1070.32	0.0075438
114	5650	1069.63	-0.0139502
115	5700	1070.94	0.026377
116	5750	1072.02	0.0215016
117	5800	1074.83	0.0562084
118	5850	1076.57	0.0347852
119	5900	1082.87	0.1261084
120	5950	1084.25	0.0275146
121	6000	1084.39	0.0027294
122	6050	1084.78	0.0078516
123	6100	1085.35	0.0114918
124	6150	1085.76	0.0081616
125	6200	1088.51	0.0548658
126	6250	1090.33	0.0364818
127	6300	1089.19	-0.022788
128	6350	1087.57	-0.0324536
129	6400	1087.86	0.0057518
130	6450	1087.83	-0.0005638
131	6500	1089.92	0.0419432
132	6550	1093.96	0.0806862
133	6600	1094.78	0.0165088
134	6650	1094.90	0.0023632
135	6700	1094.68	-0.0043652
136	6750	1095.04	0.0071068
137	6800	1095.80	0.0153126
138	6850	1094.67	-0.0226318
139	6900	1093.50	-0.0234522
140	6950	1095.53	0.0406714
141	7000	1095.18	-0.0071558
142	7050	1094.45	-0.0144824
143	7100	1092.52	-0.0385888
144	7150	1093.10	0.0115184
145	7200	1092.20	-0.0180004
-----	------	---------	------------
146	7250	1093.73	0.0305444
147	7300	1092.27	-0.029099
148	7350	1092.18	-0.0018384
149	7400	1093.22	0.0207934
150	7450	1092.88	-0.0068188
151	7500	1094.76	0.0377344
152	7550	1094.66	-0.002024
153	7600	1094.65	-0.0001782
154	7650	1104.27	0.1922582
155	7700	1108.46	0.0838112
156	7750	1118.44	0.1996556
157	7800	1134.19	0.3150758
158	7850	1155.79	0.4318236
159	7900	1164.64	0.1771338
160	7950	1171.20	0.1311842
161	8000	1176.10	0.0979712
162	8050	1179.76	0.073186
163	8100	1180.98	0.0243164
164	8150	1184.18	0.0640528
165	8200	1186.44	0.0451562
166	8250	1186.24	-0.0039966
167	8300	1187.27	0.0206518
168	8350	1188.92	0.0329688
169	8400	1189.85	0.0186352
170	8450	1189.89	0.0007936
171	8500	1192.74	0.0569384
172	8550	1193.79	0.0210816
173	8600	1195.44	0.0329882
174	8650	1195.50	0.0012208
175	8700	1200.20	0.0939574
176	8750	1204.18	0.0796412
177	8800	1209.57	0.1077172
178	8850	1210.25	0.0137696
179	8900	1209.74	-0.010337
180	8950	1212.54	0.0560474
181	9000	1214.47	0.0387012
182	9050	1222.10	0.1525806
183	9100	1233.53	0.2286254
184	9150	1242.40	0.1772998
185	9200	1250.21	0.1561866
186	9250	1256.71	0.1299488
187	9300	1269.49	0.2556932
188	9350	1284.07	0.2916528
189	9400	1307.30	0.4644752
190	9450	1330.88	0.4716406
191	9500	1342.72	0.2368336
192	9550	1355.65	0.2584814
193	9600	1369.06	0.2683788
194	9650	1377.41	0.166836
195	9700	1395.19	0.3557374
196	9750	1401.40	0.1241528

197	9800	1411.72	0.2064722

Tabela 2: Pontos amostrados da Bacia Ribeirão do Funil.

Nome do ponto	Distância (m)	Cota (m)	Declividade
(numeraçao modelagem)			
1	0	952.72	0.0054
2	50	952.99	0.0052
3	100	953.25	0.0076
4	150	953.63	0.0126
5	200	954.26	0.0046
6	250	954.49	0.0036
7	300	954.67	0.0138
8	350	955.36	0.0050
9	400	955.61	0.0330
10	450	957.26	0.0046
11	500	957.49	0.0100
12	550	957.99	0.0154
13	600	958.76	0.0542
14	650	961.47	0.0556
15	700	964.25	0.0234
16	750	965.42	0.0580
17	800	968.32	0.0068
18	850	968.66	0.0044
19	900	968.88	0.0062
20	950	969.19	0.0034
21	1000	969.36	0.0070
22	1050	969.71	0.0004
23	1100	969.73	0.0006
24	1150	969.76	0.0012
25	1200	969.82	0.0054
26	1250	970.09	0.0026
27	1300	970.22	0.0430
28	1350	972.37	0.0004
29	1400	972.39	0.0024
30	1450	972.51	0.0002
31	1500	972.52	0.0012
32	1550	972.58	0.0000
33	1600	972.58	0.0038
34	1650	972.77	0.0000
35	1700	972.77	0.0008
36	1750	972.81	0.0006
37	1800	972.84	0.0020
38	1850	972.94	0.0038
39	1900	973.13	0.0004

40	1950	973.15	0.0034
41	2000	973.32	0.0004
42	2050	973.34	0.0036
43	2100	973.52	0.0140
44	2150	974.22	0.0026
45	2200	974.35	0.0016
46	2250	974.43	0.0044
47	2300	974.65	0.0212
48	2350	975.71	0.0016
49	2400	975.79	0.0040
50	2450	975.99	0.0818
51	2500	980.08	0.0352
52	2550	981.84	0.1454
53	2600	989.11	0.1606
54	2650	997.14	0.0348
55	2700	998.88	0.0314
56	2750	1000.45	0.0008
57	2800	1000.49	0.0056
58	2850	1000.77	0.0328
59	2900	1002.41	0.0494
60	2950	1004.88	0.0070
61	3000	1005.23	0.0048
62	3050	1005.47	0.0022
63	3100	1005.58	0.0048
64	3150	1005.82	0.0008
65	3200	1005.86	0.0012
66	3250	1005.92	0.0010
67	3300	1005.97	0.0014
68	3350	1006.04	0.0018
69	3400	1006.13	0.0006
70	3450	1006.16	0.0000
71	3500	1006.16	0.0316
72	3550	1007.74	0.0026
73	3600	1007.87	0.0028
74	3650	1008.01	0.0014
75	3700	1008.08	0.0058
76	3750	1008.37	0.0006
77	3800	1008.40	0.0048
78	3850	1008.64	0.0034
79	3900	1008.81	0.0058
80	3950	1009.10	0.0018
81	4000	1009.19	0.0002
82	4050	1009.20	0.0100
83	4100	1009.70	0.0050
84	4150	1009.95	0.0034
85	4200	1010.12	0.0026
86	4250	1010.25	0.0056
87	4300	1010.53	0.0036
88	4350	1010.71	0.0014
89	4400	1010.78	0.0018

90	4450	1010.87	0.0044
91	4500	1011.09	0.0014
92	4550	1011.16	0.0170
93	4600	1012.01	0.0074
94	4650	1012.38	0.0002
95	4700	1012.39	0.0022
96	4750	1012.50	0.0024
97	4800	1012.62	0.0164
98	4850	1013.44	0.0034
99	4900	1013.61	0.0036
100	4950	1013.79	0.0010
101	5000	1013.84	0.0074
102	5050	1014.21	0.0060
103	5100	1014.51	0.0008
104	5150	1014.55	0.0026
105	5200	1014.68	0.0004
106	5250	1014.70	0.0066
107	5300	1015.03	0.0052
108	5350	1015.29	0.0036
109	5400	1015.47	0.0004
110	5450	1015.49	0.0032
111	5500	1015.65	0.0016
112	5550	1015.73	0.0022
113	5600	1015.84	0.0048
114	5650	1016.08	0.0012
115	5700	1016.14	0.0282
116	5750	1017.55	0.0042
117	5800	1017.76	0.0022
118	5850	1017.87	0.0016
119	5900	1017.95	0.0014
120	5950	1018.02	0.0010
121	6000	1018.07	0.0040
122	6050	1018.27	0.0014
123	6100	1018.34	0.0008
124	6150	1018.38	0.0030
125	6200	1018.53	0.0048
126	6250	1018.77	0.0006
127	6300	1018.80	0.0026
128	6350	1018.93	0.0010
129	6400	1018.98	0.0016
130	6450	1019.06	0.0080
131	6500	1019.46	0.0002
132	6550	1019.47	0.0006
133	6600	1019.50	0.0000
134	6650	1019.50	0.0002
135	6700	1019.51	0.0024
136	6750	1019.63	0.0030
137	6800	1019.78	0.0002
138	6850	1019.79	0.0010
139	6900	1019.84	0.0022

140	6950	1019.95	0.0038
141	7000	1020.14	0.0004
142	7050	1020.16	0.0028
143	7100	1020.30	0.0026
144	7150	1020.43	0.0006
145	7200	1020.46	0.0028
146	7250	1020.60	0.0050
147	7300	1020.85	0.0010
148	7350	1020.90	0.0002
149	7400	1020.91	0.0022
150	7450	1021.02	0.0044
151	7500	1021.24	0.0006
152	7550	1021.27	0.0112
153	7600	1021.83	0.0070
154	7650	1022.18	0.0010
155	7700	1022.23	0.0030
156	7750	1022.38	0.0002
157	7800	1022.39	0.0008
158	7850	1022.43	0.0002
159	7900	1022.44	0.0022
160	7950	1022.55	0.0034
161	8000	1022.72	0.0002
162	8050	1022.73	0.0022
163	8100	1022.84	0.0000
164	8150	1022.84	0.0018
165	8200	1022.93	0.0016
166	8250	1023.01	0.0018
167	8300	1023.10	0.0062
168	8350	1023.41	0.0002
169	8400	1023.42	0.0000
170	8450	1023.42	0.0058
171	8500	1023.71	0.0008
172	8550	1023.75	0.0010
173	8600	1023.80	0.0014
174	8650	1023.87	0.0014
175	8700	1023.94	0.0014
176	8750	1024.01	0.0002
177	8800	1024.02	0.0008
178	8850	1024.06	0.0006
179	8900	1024.09	0.0010
180	8950	1024.14	0.0064
181	9000	1024.46	0.0030
182	9050	1024.61	0.0086
183	9100	1025.04	0.0084
184	9150	1025.46	0.0036
185	9200	1025.64	0.0624
186	9250	1028.76	0.0196
187	9300	1029.74	0.0030
188	9350	1029.89	0.0804
189	9400	1033.91	0.0150

$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$				
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	190	9450	1034.66	0.0070
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	191	9500	1035.01	0.0002
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	192	9550	1035.02	0.0246
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	193	9600	1036.25	0.0584
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	194	9650	1039.17	0.0174
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	195	9700	1040.04	0.0008
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	196	9750	1040.08	0.0358
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	197	9800	1041.87	0.0594
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	198	9850	1044.84	0.0328
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	199	9900	1046.48	0.0434
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	200	9950	1048.65	0.0034
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	201	10000	1048.82	0.0290
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	201	10050	1050.27	0.0102
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	202	10100	1050.27	0.0102
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	203	10150	1053.85	0.0014
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	204	10130	1053.85	0.0000
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	205	10200	1053.88	0.0900
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	200	10230	1058.41	0.1822
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	207	10300	1067.52	0.0002
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	208	10350	1067.09	0.0090
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	209	10400	1067.98	0.0058
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	210	10430	1008.10	0.0038
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	211	10500	1068.45	0.0082
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	212	10550	1068.80	0.0040
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	213	10600	1069.06	0.0032
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	214	10650	1069.22	0.0030
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	215	10700	1069.37	0.0054
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	216	10/50	1069.64	0.0082
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	217	10800	1070.05	0.0010
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	218	10850	1070.10	0.0008
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	219	10900	1070.14	0.0034
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	220	10950	1070.31	0.0056
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	221	11000	1070.59	0.0014
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	222	11050	1070.66	0.0058
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	223	11100	1070.95	0.0004
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	224	11150	1070.97	0.0056
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	225	11200	1071.25	0.0020
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	226	11250	1071.35	0.0186
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	227	11300	1072.28	0.0002
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	228	11350	1072.29	0.0000
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	229	11400	1072.29	0.0084
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	230	11450	1072.71	0.0022
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	231	11500	1072.82	0.0084
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	232	11550	1073.24	0.0002
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	233	11600	1073.25	0.0130
235 11700 1074.62 0.0100 236 11750 1075.12 0.0116 237 11800 1075.70 0.0090 238 11850 1076.15 0.0426 239 11900 1078.28 0.0276	234	11650	1073.90	0.0144
236 11750 1075.12 0.0116 237 11800 1075.70 0.0090 238 11850 1076.15 0.0426 239 11900 1078.28 0.0276	235	11700	1074.62	0.0100
237 11800 1075.70 0.0090 238 11850 1076.15 0.0426 239 11900 1078.28 0.0276	236	11750	1075.12	0.0116
238 11850 1076.15 0.0426 239 11900 1078.28 0.0276	237	11800	1075.70	0.0090
239 11900 1078.28 0.0276	238	11850	1076.15	0.0426
	239	11900	1078.28	0.0276

240	11950	1079.66	0.0028
241	12000	1079.80	0.0162
242	12050	1080.61	0.0458
243	12100	1082.90	0.0014
244	12150	1082.97	0.0216
245	12200	1084.05	0.0088
246	12250	1084.49	0.0008
247	12300	1084.53	0.0362
248	12350	1086.34	0.0346
249	12400	1088.07	0.0294
250	12450	1089.54	0.0610
251	12500	1092.59	0.0642
252	12550	1095.80	0.0020
253	12600	1095.90	0.0500
254	12650	1098.40	0.0054
255	12700	1098.67	0.0790
256	12750	1102.62	0.0212
257	12800	1103.68	0.0308
258	12850	1105.22	0.0746
259	12900	1108.95	0.0080
260	12950	1109.35	-0.0268
261	13000	1108.01	0.0034
262	13050	1108.18	0.0015
263	13100	1108.25	0.0022
264	13150	1108.36	0.0114
265	13200	1108.93	0.0104
266	13250	1109.45	0.0223
267	13300	1110.57	0.0547
268	13350	1113.30	0.0988
269	13400	1118.25	0.0029
270	13450	1118.39	0.0009
271	13500	1118.43	0.0032
272	13550	1118.59	0.0020
273	13600	1118.70	0.0016
274	13650	1118.77	0.0079
275	13700	1119.17	0.0050
276	13750	1119.42	0.0009
277	13800	1119.47	0.0020
278	13850	1119.56	0.0017
279	13900	1119.65	0.0073
280	13950	1120.01	0.0031
281	14000	1120.17	0.0519
282	14050	1122.76	0.0007
283	14100	1122.80	0.0101
284	14150	1123.30	0.0016
285	14200	1123.38	0.0070
286	14250	1123.73	0.0011
287	14300	1123.79	0.0119
288	14350	1124.38	0.0052
289	14400	1124.64	0.0081

290	14450	1125.05	0.0014
291	14500	1125.12	0.0014
292	14550	1125.19	0.0020
293	14600	1125.28	0.0029
294	14650	1125.43	0.0029
295	14700	1125.57	0.0052
296	14750	1125.83	0.0066
297	14800	1126.16	0.0348
298	14850	1127.91	0.0097
299	14900	1128.39	0.0013
300	14950	1128.45	0.0285
301	15000	1129.88	0.0077
302	15050	1130.27	0.0222
303	15050	1130.27	0.0222
304	15150	1132.38	0.0200
305	15150	1132.30	0.0000
306	15200	1132.07	0.0210
307	15200	1136.83	0.0375
308	15350	1130.85	0.0330
300	15350	1130.30	0.0175
310	15400	1139.47	0.0020
211	15500	1139.00	0.0223
212	1550	1140.71	0.0003
212	15500	1143.73	0.0010
214	15650	1143.78	0.0052
215	15050	1144.04	0.0003
216	15700	1144.30	0.0009
217	15730	1144.41	0.0223
219	15800	1145.52	0.0377
318	15850	1147.41	0.1378
319	15900	1154.30	0.0669
320	15950	1157.64	0.0429
321	16000	1159.79	0.0132
322	16050	1160.45	0.0024
323	16100	1160.57	0.0138
324	16150	1161.26	0.1123
325	16200	1166.87	0.0166
326	16250	1167.71	0.0073
327	16300	1168.07	0.0208
328	16350	1169.11	0.0047
329	16400	1169.34	0.0003
330	16450	1169.36	0.0083
331	16500	1169.77	0.0013
332	16550	1169.84	0.0092
333	16600	1170.30	0.0040
334	16650	1170.50	0.0567
335	16700	1173.33	0.0405
336	16750	1175.36	0.0073
337	16800	1175.72	0.0149
338	16850	1176.47	0.0011
339	16900	1176.53	0.0349

340	16950	1178.27	0.0100
341	17000	1178.77	0.0024
342	17050	1178.89	0.0034
343	17100	1179.06	0.1166
344	17150	1184.89	0.0024
345	17200	1185.01	0.0002
346	17250	1185.02	0.0059
347	17300	1185.31	0.0536
348	17350	1187.99	0.0388
349	17400	1189.93	0.0107
350	17450	1190.46	0.0390
351	17500	1192.41	0.0637
352	17550	1195.60	0.1120
353	17600	1201.20	0.0763
354	17650	1205.01	0.0500
355	17700	1207.51	0.0018
356	17750	1207.60	0.0087
357(97)	17800	1208.04	0.0222
358(98)	17850	1209.15	0.0264
359(99)	17900	1210.46	0.0009
360(100)	17950	1210.51	0.0616
361(101)	18000	1213.59	0.0366
362(102)	18050	1215.42	0.0997
363(103)	18100	1220.40	0.0106
364(104)	18150	1220.94	0.0825
365(105)	18200	1225.06	0.0628
366(106)	18250	1228.20	0.0277
367(107)	18300	1229.59	0.0617
368(108)	18350	1232.67	0.1344
369(109)	18400	1239.39	0.1482
370(110)	18450	1246.80	0.0175
371(111)	18500	1247.67	0.1528
372(112)	18550	1255.31	0.0145
373(113)	18600	1256.04	0.1170
374(114)	18650	1261.89	0.1008
375(115)	18700	1266.93	0.0538
376(116)	18750	1269.62	0.1413
377(117)	18800	1276.68	0.0744
378(118)	18850	1280.40	0.1002
379(119)	18900	1285.41	0.1105
380(120)	18950	1290.94	0.1754
381(121)	19000	1299.71	0.0843
382(122)	19050	1303.92	0.1582
383(123)	19100	1311.83	0.1319
384(124)	19150	1318.43	0.0949
385(125)	19200	1323.17	0.0527
386(126)	19250	1325.81	0.2551
387(127)	19300	1338.56	0.2706
388(128)	19350	1352.09	0.0209
389(129)	19400	1353.13	0.0709

19450	1356.68	0.2635
19500	1369.85	0.2889
19550	1384.30	0.1356
19600	1391.08	0.0612
19650	1394.14	0.3060
19700	1409.44	0.2974
19750	1424.31	0.3037
19800	1439.49	0.4642
19850	1462.70	0.3576
19900	1480.58	0.2525
19950	1493.21	0.4186
20000	1514.14	
	19450 19500 19550 19600 19650 19700 19700 19750 19800 19950 19950 20000	194501356.68195001369.85195501384.30196001391.08196501394.14197001409.44197001409.44197501424.31198001439.49198501462.70199001480.58199501493.21200001514.14

Tabela 3: Pontos amostrados da Bacia Córrego São Bartolomeu.

Nome do	Distância	Cota (m)	Declividade
ponto	(m)		
1	0	1063.60	
2	50	1063.76	0.0182
3	100	1062.85	-0.0065
4	150	1063.17	-0.0387
5	200	1065.11	-0.1000
6	250	1070.11	-0.0640
7	300	1073.31	-0.1871
8	350	1082.66	-0.1244
9	400	1088.88	-0.0070
10	450	1089.23	-0.0049
11	500	1089.47	0.0411
12	550	1087.42	-0.0130
13	600	1088.07	-0.0832
14	650	1092.23	-0.0711
15	700	1095.78	0.0264
16	750	1094.46	0.0337
17	800	1092.78	-0.0189
18	850	1093.72	0.0002
19	900	1093.71	-0.1042
20	950	1098.93	0.0050
21	1000	1098.68	0.0267
22	1050	1097.34	-0.0576
23	1100	1100.22	-0.1807
24	1150	1109.25	-0.0678
25	1200	1112.64	0.0028
26	1250	1112.51	-0.0345
27	1300	1114.23	-0.0255
28	1350	1115.51	-0.0061
29	1400	1115.81	0.0117
30	1450	1115.22	0.0216
31	1500	1114.14	0.0022
32	1550	1114.03	-0.0086
33	1600	1114.46	0.0341

34	1650	1112.76	-0.0262
35	1700	1114.07	0.0042
36	1750	1113.86	-0.0125
37	1800	1114.48	-0.0235
38	1850	1115.66	-0.0345
39	1900	1117.38	-0.0105
40	1950	1117.91	-0.0449
41	2000	1120.15	-0.0066
42	2050	1120.49	-0.0078
43	2100	1120.88	-0.1288
44	2150	1127.32	-0.0836
45	2200	1131.50	0.0212
46	2250	1130.44	-0.0615
47	2300	1133.52	-0.0581
48	2350	1136.42	-0.0366
49	2400	1138.25	-0.1695
50	2450	1146.72	-0.0275
51	2500	1148.09	-0.1009
52	2550	1153.14	-0.0052
53	2600	1153.40	-0.0755
54	2650	1157.17	-0.0156
55	2700	1157.95	-0.0824
56	2750	1162.07	-0.0251
57	2800	1163.33	-0.0367
58	2850	1165.16	-0.0619
59	2900	1168.26	-0.1040
60	2950	1173.46	-0.0725
61	3000	1177.08	-0.0663
62	3050	1180.39	-0.1463
63	3100	1187.71	-0.2329
64	3150	1199.35	-0.0808
65	3200	1203.39	-0.2155
66	3250	1214.17	-0.1258
67	3300	1220.46	-0.0423
68	3350	1222.57	-0.0449
69	3400	1224.82	-0.1865
70	3450	1234.14	-0.3192
71	3500	1250.10	-0.2459
72	3550	1262.40	-0.0782
73	3600	1266.31	-0.0020
74	3650	1266.41	-0.1285
75	3700	1272.84	-0.0417
76	3750	1274.92	-0.0803
77	3800	1278.94	-0.1742
78	3850	1287.64	-0.1447
79	3900	1294.88	-0.2593
80	3950	1307.84	-0.1671
81	4000	1316.20	-0.1226
82	4050	1322.33	-0.3703
83	4100	1340.85	-0.2539
84	4150	1353.54	-0.1289
85	4200	1359.99	-0.2298

86	4250	1371.48	-0.2422
87	4300	1383.59	-0.2728
88	4350	1397.22	-0.2802
89	4400	1411.23	28.2246