



Ana María Valverde Sancho

**Análise dinâmica de fluxos de detritos
em regiões tropicais**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Alberto de Sampaio Ferraz Jardim Sayão

Co-Orientadora: Prof^a. Anna Laura Lopes da Silva Nunes

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2016



Ana María Valverde Sancho

**Análise dinâmica de fluxos de detritos
em regiões tropicais**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Alberto de Sampaio Ferraz Jardim Sayão

Orientador

Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

Prof^a. Anna Laura Lopes da Silva Nunes

Co-Orientadora

Departamento de Engenharia Civil – UFRJ

Prof. Milton Assis Kanji

Departamento de Engenharia Civil – USP

Prof. José Tavares Araruna

Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

Prof. Rogério Luiz Feijó

Departamento de Engenharia Civil – UERJ

Prof. Márcio da Silveira Carvalho

Coordenador Setorial do

Centro Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 26 de Fevereiro de 2016

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Ana María Valverde Sancho

Graduou-se em Engenharia Civil pela Universidad de Costa Rica – UCR (Costa Rica) em 2013. Principais áreas de interesse: estabilidade de taludes, mecânica de solos, dinâmica de solos, métodos numéricos.

Ficha Catalográfica

Valverde Sancho, Ana María

Análise dinâmica de fluxos de detritos em regiões tropicais / Ana María Valverde Sancho; orientador: Alberto de Sampaio Ferraz Jardim Sayão. – Rio de Janeiro, 2016.

v., 160 f.: il. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil.

Inclui bibliografia

1. Engenharia civil - Teses. 2. Fluxos de detritos. 3. Análise dinâmica. 4. Modelagem numérica. 5. Movimentos de massa I. Sayão, Alberto II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Civil. III. Análise dinâmica de fluxos de detritos em regiões tropicais.

CDD: 624

Aos meus pais, pelo apoio e amor incondicional

Agradecimentos

Aos meus pais, pelo apoio, carinho e confiança. Por ser um exemplo de trabalho e dedicação e sempre terem me incentivado e facilitado o caminho para que eu consiga conquistar meus sonhos.

Ao meu irmão e a minha família, que sempre ficaram na torcida pelo meu sucesso.

Aos meus orientadores Anna Laura e Alberto, pelo carinho e preocupação por meu bem estar, por acreditarem em mim e ter me introduzido no mundo dos fluxos de detritos. Pela revisão detalhada de meu trabalho e as valiosas contribuições que fizeram para o sucesso desta pesquisa.

Aos membros da banca examinadora, pelas sugestões e críticas construtivas feitas a este trabalho. Ao professor Milton, pela constante preocupação por meu bem estar no Brasil.

Aos professores da PUC-Rio, pelos conhecimentos transmitidos. Ao professor Sergio, pela preocupação e apoio durante o mestrado.

À Capes, pelos auxílios concedidos, sem os quais este trabalho não poderia ter sido realizado.

Ao prof. Oldrich Hungr, por disponibilizar os programas DAN-W e DAN3D.

Ao professor Erik Eberhardt, por ter permitido minha visita no Departamento de Engenharia Geológica da Universidade de British Columbia.

Ao Scott McDougall, pelas valiosas contribuições nas modelagens numéricas realizadas para os casos de estudo.

Ao Jordan Aaron pela companhia, paciência e apoio nas modelagens numéricas realizadas para os casos de estudo.

Ao Danilo, pelas longas conversas de geotecnia e pela companhia e apoio durante os cursos de mestrado e desenvolvimento desta pesquisa.

As minhas amigas e colegas de sala: Mariana, Natalia T., Gabrielle, Nathalia L., Natalia D., por terem me proporcionado o melhor ambiente de trabalho. Pelo

carinho e apoio que sempre me deram e ficarem comigo nos momentos críticos desta pesquisa.

Agradeço especialmente a Mariana, Gabrielle, Natalia T. e Danilo pelas contribuições na revisão final deste documento.

Aos meus amigos que conheci no Brasil e no Canada, que se tornaram minha família e fizeram desta etapa uma experiência inesquecível.

As minhas amigas da Costa Rica, que residem no Rio: Daniela, Katalina, Priscilla e Rebeca por terem me feito sentir em casa. Pelo apoio e carinho.

Aos meus amigos da Costa Rica, que sempre torceram por meu sucesso apesar da distância. Agradeço especialmente a Alexandra e ao Luís Diego por sempre preocuparem com meu bem estar.

Resumo

Valverde Sancho, Ana María; Sayão, Alberto de Sampaio Ferraz Jardim (orientador). **Análise dinâmica de fluxos de detritos em regiões tropicais**. Rio de Janeiro, 2016. 160 p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Os fluxos de detritos são perigosos riscos naturais, que afetam países com intensas precipitações e terrenos montanhosos. Tais eventos configuram alto perigo para a vida humana e danificação de infraestrutura, resultando em importantes perdas econômicas. O estudo de fluxos de detritos envolve um mecanismo complexo e suas técnicas de previsão são baseadas na calibração de modelos, que devem ser delimitados por tentativa e erro de eventos anteriores. Tais previsões são ferramentas valiosas para delimitar as potenciais áreas de risco e, dessa forma, projetar medidas de mitigação e convivência. O principal objetivo deste trabalho foi analisar o comportamento de quatro fluxos de detritos deflagrados por precipitações de alta intensidade em regiões tropicais utilizando modelagem numérica em 2D e 3D. Foram analisados os casos de Lajas e Llano de la Piedra na Costa Rica e os casos de Córrego D'Antas e Hospital São Lucas no Rio de Janeiro. Os principais parâmetros utilizados, na avaliação do risco deste tipo de movimentos de massa, são: a distância percorrida, a área de impacto, a velocidade e profundidade do fluxo. Os casos foram calibrados utilizando a reologia de Voellmy. A definição dos parâmetros na calibração é vital, pois oferece a possibilidade de previsões de primeira ordem, feita sobre escorregamentos acontecendo em condições semelhantes. Os resultados da análise dinâmica mostram valores consistentes entre os valores observados e as modelagens numéricas em 2D e 3D para os principais parâmetros avaliados, corroborando o uso destas ferramentas para análises de risco e projeção de medidas de mitigação e convivência.

Palavras – chave

Movimentos de massa; Fluxos de detritos; Modelagem numérica; Análise dinâmica.

Abstract

Valverde Sancho, Ana María; Sayão, Alberto de Sampaio Ferraz Jardim (advisor). **Dynamic analysis of debris flows in tropical regions**. Rio de Janeiro, 2016. 160 p. MSc. Dissertation – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Debris flows are dangerous natural hazards affecting countries with steep terrains and heavy rainfall. They are associated with serious risks to human lives and infrastructure leading to important economic losses and fatalities. Debris flows involve complex mechanics and prediction techniques that are based on the calibration of models that must be constrained by trial-and-error back-analysis of previous landslides. Such predictions are a valuable tool for outlining potential hazard areas and the development of mitigation strategies and design of protective structures. The main goal of this work was to analyze the behavior of four debris flows triggered by heavy rainfall in tropical regions with numerical modelling. The Voellmy rheology was used to calibrate the cases occurred in Lajas and Llano de la Piedra in Costa Rica, and Córrego D'Antas and Hospital São Lucas in Rio de Janeiro. The main parameters used for landslide risk assessment are runout distance, potential impact area, flow velocity and flow depth. The definition of appropriate calibrating parameters is important because it provides the possibility of first order predictions to be made about the motion of future landslides happening under similar conditions. The results of the dynamic analysis showed that consistent values were obtained for the main parameters evaluated in the 2D and 3D runout models, verifying the usefulness of these tools for landslide risk assessment and the project of protection structures.

Keywords

Landslides; Debris flows; Numerical modeling; Dynamic analysis.

Sumário

1. Introdução	21
1.1. Motivação da pesquisa	21
1.2. Objetivos da pesquisa	23
1.2.1. Objetivo geral	23
1.2.2. Objetivos específicos	23
1.3. Organização da pesquisa	23
2. Considerações sobre os movimentos de massa	25
2.1. Movimentos de massa	25
2.1.1. Definição de movimento de massa	25
2.1.2. Classificação dos movimentos de massa	27
2.2. Fluxo de detritos	34
2.2.1. Definição	34
2.2.2. Características	36
2.2.3. Classificação	39
2.2.4. Mecanismos deflagradores	41
2.2.5. Principais parâmetros	42
2.3. Técnicas de mitigação e convivência	52
2.3.1. Medidas ativas	52
2.3.2. Medidas passivas	54
2.4. Análise de risco	56
3. Modelagens numéricas de fluxos de detritos	58
3.1. Abordagem dos fluxos de detritos	58

3.2. Programas disponíveis no mercado	60
3.2.1. KANAKO	61
3.2.2. TITAN2D	62
3.2.3. FLO-2D	62
3.2.4. RAMMS	63
3.3. Programas DAN-W e DAN3D utilizados na pesquisa	64
3.3.1. Equações governantes do DAN-W e DAN3D	65
3.3.2. Reologia dos materiais	67
3.3.3. Características do DAN-W	69
3.3.4. Características do DAN3D	70
4. Metodologia das análises e casos de estudo	71
4.1. Metodologia das análises	71
4.1.1. Descrição do caso de estudo	72
4.1.2. Calibração preliminar dos parâmetros	72
4.1.3. Construção do modelo numérico	74
4.1.4. Seleção final dos parâmetros	75
4.2. Casos de estudo	76
4.2.1. Fluxo de detritos, Calle Lajas, San José, Costa Rica	76
4.2.2. Fluxo de Detritos, Llano de la Piedra, San José, Costa Rica	82
4.2.3. Fluxo de Detritos, Hospital São Lucas, Rio de Janeiro, Brasil	87
4.2.4. Fluxo de Detritos, Córrego D'Antas, Rio de Janeiro, Brasil	91
5. Apresentação e análise dos resultados	97
5.1. Calle Lajas, San José, Costa Rica	97
5.1.1. Calibração preliminar dos parâmetros	97

5.1.2. Resultados da modelagem em 3D	98
5.1.3. Resultados da modelagem em 2D	103
5.1.4. Análise dos resultados	105
5.2. Llano de la Piedra, San José, Costa Rica	108
5.2.1. Calibração preliminar dos parâmetros	108
5.2.2. Resultados da modelagem em 3D	109
5.2.3. Resultados da modelagem em 2D	113
5.2.4. Análise dos resultados	114
5.3. Córrego D'Antas e Hospital São Lucas, Rio de Janeiro, Brasil	118
5.3.1. Calibração preliminar dos parâmetros	118
5.3.2. Resultados da modelagem em 3D	119
5.3.3. Resultados da modelagem em 2D	122
5.3.4. Análise dos resultados	128
6. Conclusões e recomendações para futuras pesquisas	140
6.1. Conclusões	140
6.2. Recomendações para futuros trabalhos	143
Referências bibliográficas	144

Lista de figuras

Figura 2.1 - Estágios dos movimentos de massa (Mod. Leroueil et al.,1996).	26
Figura 2.2 – Classificação dos movimentos de massa em encostas íngremes como função da fração sólida e do tipo de material (Mod. Coussot e Meunier,1996).	33
Figura 2.3 - Configuração de um fluxo de detritos (Nunes e Sayão, 2014).	36
Figura 2.4 - Esquema de uma onda de corrida de detritos com frente rochosa. (Mod. Pierson, 1986).	38
Figura 2.5 – Classificação de fluxos de detritos de acordo à magnitude do movimento (Mod. Jakob, 2005, Nunes e Sayão, 2014).	39
Figura 2.6 - Tipos de deposição de um fluxo de detritos. a. Deposição livre, b. Deposição canalizada. (Nunes e Sayão, 2014, adapt. Nettheton et al., 2005).	41
Figura 2.7 – Diagrama da deflagração de um fluxo de detritos devido a um carregamento rápido (Mod. Sassa, 1985).	42
Figura 2.8 – Definição e comparação de ângulo fahrböschung e ângulo de viagem	47
Figura 2.9 – Esquema para: (a) arrastre nas margens e erosão na base. (b) seção transversal do canal erodido (Modificado de McDougall, 2006 e McDougall e Hungr, 2005).	51
Figura 2.10 – Medidas ativas para fluxos de detritos: (a) Túnel de desvio, França (Huebl e Fiebiger, 2005); (b) Check dams, Espanha (Corominas, 2013); (c) Debris racks, Colorado, USA (deWolfe et al., 2008); (d) Barreiras tubulares, Japão (Ishikawa, 2008); (e) e (f) Barragem, BC, Canadá (Wieczorek et al., 1997); (g) Barreira flexível, Japão (Volkwein et al (2011); (h) Túneis falsos (Corominas, 2013).	55
Figura 3.1. Diagrama esquemático do conceito de fluxo equivalente (Mod. Hungr, 1995).	64
Figura 3.2 - Interpretação do SPH em um marco de profundidade média (Mod. McDougall, 2006).	66

Figura 3.3. Relação entre os parâmetros utilizados no modelo de atrito McDougall (2006).	68
Figura 4.1 - Exemplo de trimline definida para um evento.	73
Figura 4.2 - Exemplo de compilação de resultados para seleção dos parâmetros reológicos de melhor ajuste.	74
Figura 4.3 - Localização do evento Calle Lajas.	77
Figura 4.4 – Rochas da área de Calle Lajas: (a) Afloramento de cornubianitas; (b) Afloramento de brechas (CNE, 2010).	78
Figura 4.5 – Materiais do canal: (a) Na base do canal; (b) Nas paredes do canal.	78
Figura 4.6 – Aspectos da bacia: (a) Morfologia do canal com pequenos desprendimentos das paredes; (b) Sistema de drenagem (CNE, 2010).	79
Figura 4.7 – Início do fluxo de detritos: (a) Ruptura em Salto de los Caballos; (b) Zona de iniciação do movimento.	80
Figura 4.8 – Detalhes dos blocos de Cornubianita depositados ao longo do setor de “La Catarata”.	80
Figura 4.9 – Vista aérea do fluxo de detritos Calle Lajas: (a) Zona de iniciação; (b) Zona de transporte (Google Earth, 2010).	81
Figura 4.10 – Perfil e parâmetros geométricos do evento de Calle Lajas.	81
Figura 4.11 – Localização do evento Llano de la Piedra.	83
Figura 4.12 – Fluxo de detritos Llano de la Piedra: (a) Material erodido no canal; (b) Material na zona de deposição.	84
Figura 4.13 – Detalhe da cicatriz de deslizamento antigo no topo da encosta (Bermudez,1997).	84
Figura 4.14 – Fluxo de detritos de Llano de la Piedra: (a) Vista frontal do movimento; (b) Vista superior do movimento.	85
Figura 4.15 – Perfil e parâmetros geométricos do caso de Llano de la Piedra.	86
Figura 4.16 – Localização do evento Hospital São Lucas.	87
Figura 4.17 – Fluxo de detritos Hospital São Lucas: (a) Vista aérea; (b) Vista frontal do Morro Duas Pedras.	88

Figura 4.18 – Vistas aéreas do fluxo de detritos do Hospital São Lucas.	90
Figura 4.19 – Perfil e características geométricas do evento do Hospital São Lucas.	91
Figura 4.20 – Localização do evento Córrego D’Antas em Nova Friburgo, Rio de Janeiro.	92
Figura 4.21 – Fraturas subverticais do maciço destacadas na ortofoto (Geomecânica, 2011).	93
Figura 4.22 – Fluxo de detritos Córrego D’Antas: (a) Vista aérea por satélite; (b) Vista das trajetórias para Córrego D’Antas e Hospital São Lucas.	94
Figura 4.23 – Detalhes do fluxo de detritos: (a) Zona de iniciação do movimento; (b) Vista do escorregamento principal na escarpa rochosa (Geomecânica, 2011).	94
Figura 4.24 – Fluxo de detritos dividido em 4 canais em Córrego D’Antas.	95
Figura 4.25 – Perfil e características geométricas do evento do Hospital São Lucas.	96
Figura 5.1 – Calibração preliminar dos parâmetros: (a) trimline adotada, (b) Níveis de ajuste dos valores de coeficiente de atrito – Calle Lajas.	98
Figura 5.2 – Distribuição espacial de velocidades estimadas pelo programa DAN3D – Calle Lajas	100
Figura 5.3 – Distribuição espacial de: (a) altura máxima do fluxo; (b) profundidade máxima de deposição – Calle Lajas.	101
Figura 5.4 – Intensidade de fluxo de detritos: (a) Zoneamento do nível de ameaça de danos segundo (CNE, 2010); (b) Índice de intensidade calculado segundo Jakob et al. (2011) gerado pelo DAN3D.	102
Figura 5.5 – Principais características do fluxo no DAN-W - Calle Lajas.	103
Figura 5.6 – Variação da velocidade com a distância percorrida obtida da modelagem com o programa DAN-W - Calle Lajas.	104
Figura 5.7 – Comparação das velocidades estimadas e calculadas em função da distância percorrida - Calle Lajas.	106

Figura 5.8 – Calibração preliminar dos parâmetros: (a) Trimline adotada; (b) Níveis de ajuste dos valores de coeficiente de atrito - Llano de la Piedra.	109
Figura 5.9 – Resultados da simulação de distância percorrida: (a) Calibração preliminar e (b) Calibração final.	111
Figura 5.10 – Distribuição espacial de velocidades estimadas pelo programa DAN3D.	111
Figura 5.11 – Distribuição espacial de: (a) Altura máxima do fluxo; (b) Profundidade máxima de deposição - Llano de la Piedra.	112
Figura 5.12 – Principais características do fluxo no DAN-W – Llano de la Piedra.	113
Figura 5.13 – Variação da velocidade com a distância percorrida obtida da modelagem com o programa DAN-W - Calle Lajas.	114
Figura 5.14 – Comparação das velocidades estimadas e calculadas em função da distância percorrida - Llano de la Piedra.	116
Figura 5.15 – Calibração preliminar de coeficiente de atrito: (a) Córrego D’Antas; (b) Hospital São Lucas.	118
Figura 5.16 - Distribuição espacial de velocidades estimadas pelo programa DAN3D – Córrego D’Antas e Hospital São Lucas.	120
Figura 5.17 – Distribuição espacial de: (a) Altura máxima do fluxo e (b) Profundidade máxima de deposição - Córrego D’Antas e Hospital São Lucas.	120
Figura 5.18 – Fluxos de detritos de Córrego D’Antas divididos em duas zonas para a realização das modelagens.	121
Figura 5.19 – Principais características do fluxo no DAN-W – Zona 1 de Córrego D’Antas.	123
Figura 5.20 – Variação da velocidade com a distância percorrida obtida da modelagem com o programa DAN-W – Zona 1 de Córrego D’Antas.	124
Figura 5.21 – Principais características do fluxo no DAN-W – Zona 2 de Córrego D’Antas.	125
Figura 5.22 – Variação da velocidade com a distância percorrida obtida da modelagem com o programa DAN-W – Zona 2 de Córrego D’Antas.	126

Figura 5.23 – Principais características do fluxo no DAN-W – Hospital São Lucas.	127
Figura 5.24 – Variação da velocidade com a distância percorrida obtida da modelagem com o programa DAN-W – Hospital São Lucas.	128
Figura 5.25 – Comparação das velocidades máximas calculadas com DAN-W e DAN3D em função da distância percorrida - Zona 1 de Córrego D’Antas.	130
Figura 5.26 – Comparação das velocidades máximas calculadas com DAN-W e DAN3D em função da distância percorrida - Zona 2 de Córrego D’Antas.	133
Figura 5.27 – Modelagens do fluxo de detritos do Hospital São Lucas mostrando material depositado no meio da encosta: (a) Resultados do DAN-W; (b) Resultados do DAN3D; (c) Vista aérea.	136
Figura 5.28 – Comparação das velocidades máximas calculadas com DAN-W e DAN3D em função da distância percorrida – Hospital São Lucas.	137

Lista de tabelas

Tabela 2.1 – Resumo da classificação de Varnes (1978).	28
Tabela 2.2 – Velocidade de corridas de massa WP/WLI (1995) e Cruden e Varnes (1996).	29
Tabela 2.3 – Resumo da classificação proposta por Hungr et al. (2014).	30
Tabela 2.4 – Classificação de fluxos de detritos de acordo com a magnitude do movimento (Mod. Jakob, 2005, Nunes e Sayão, 2014).	40
Tabela 2.5 – Correlações empíricas para estimativa de volume final (adapt. Nunes e Sayão, 2014).	44
Tabela 2.6 – Correlações empíricas para estimativa da velocidade (mod. Nunes e Sayão, 2014).	45
Tabela 2.7 – Correlações empíricas para a estimativa da vazão de pico (mod. Nunes e Sayão, 2014).	46
Tabela 2.8 – Correlações empíricas para estimativa da distância total percorrida (Mod. Nunes e Sayão, 2014).	47
Tabela 2.9 – Correlações empíricas para estimativa da extensão da área de deposição.	48
Tabela 2.10 – Correlações empíricas para estimar a área da seção transversal (Nunes e Sayão, 2014).	49
Tabela 2.11 – Correlações empíricas para estimar a área planimétrica (Nunes e Sayão, 2014).	50
Tabela 2.12 – Relação do índice de intensidade com a probabilidade de dano.	57
Tabela 5.1 – Comparação de resultados numéricos do DAN-W e DAN3D e valores reais observados no fluxo de detritos - Calle Lajas.	105
Tabela 5.2 – Comparação de velocidades instantâneas numéricas e estimadas - Calle Lajas.	107
Tabela 5.3 – Valores numéricos de altura máxima do fluxo e profundidade máxima de deposição – Calle Lajas.	108

Tabela 5.4. Comparação de resultados numéricos do DAN-W e DAN3D e valores reais observados no fluxo de detritos - Llano de la Piedra.	115
Tabela 5.5 - Comparação de velocidades instantâneas numéricas - Llano de la Piedra.	117
Tabela 5.6 - Valores numéricos de altura máxima do fluxo e profundidade máxima de deposição - Llano de la Piedra.	117
Tabela 5.7 – Comparação de resultados numéricos do DAN-W e DAN3D e valores reais observados no fluxo de detritos - Zona 1 de Córrego D’Antas.	129
Tabela 5.8 – Comparação de velocidades instantâneas numéricas - Zona 1 de Córrego D’Antas.	130
Tabela 5.9 – Valores numéricos de altura máxima do fluxo e profundidade máxima de deposição - Zona 1 de Córrego D’Antas.	131
Tabela 5.10 – Comparação de resultados numéricos do DAN-W e DAN3D e valores reais observados no fluxo de detritos - Zona 2 de Córrego D’Antas.	132
Tabela 5.11 – Comparação de velocidades instantâneas numéricas - Zona 2 de Córrego D’Antas.	133
Tabela 5.12 – Valores numéricos de altura máxima do fluxo e profundidade máxima de deposição - Zona 2 de Córrego D’Antas.	134
Tabela 5.13 – Comparação de resultados numéricos do DAN-W e DAN3D e valores reais observados no fluxo de detritos - Hospital São Lucas.	135
Tabela 5.14 – Comparação de velocidades instantâneas numéricas - Hospital São Lucas.	137
Tabela 5.15 – Valores numéricos de altura máxima do fluxo e profundidade máxima de deposição – Hospital São Lucas.	138

Lista de símbolos

A_C	-	Área de contribuição
E	-	Valor do elemento em risco
E	-	Arrastre gerado pelo movimento
E	-	Taxa de erosão
f	-	Coefficiente de atrito
g	-	Aceleração da gravidade
h	-	Espessura do fluxo
Δh	-	Altura de superelevação
H	-	Diferença entre a cota de saída do movimento e a cota final de deposição
k	-	Pressão interna
K	-	Fator de forma do canal
L	-	Distância percorrida
P	-	Probabilidade
$P_{(L)}$	-	Probabilidade anual de ocorrência
$P_{(S:L)}$	-	Probabilidade espacial do fluxo atingir um local específico
$P_{(T:S)}$	-	Probabilidade temporal que um individuo seja afetado pelo fluxo
P_{LOL}	-	Probabilidade específica de perda de vida
Q_p	-	Vazão de pico
R	-	Risco
r	-	Raio de curvatura do canal
r_u	-	Coefficiente de poropressão
S	-	Inclinação do canal
\bar{S}	-	Distância percorrida
S_d	-	Declividade de deposição
T	-	Tempo
v	-	Velocidade
V	-	Volume final
V_{SED}	-	Volume de sedimentos
V_M	-	Volume de água
V_f	-	Volume final
V_i	-	Volume inicial
$V_{(prop:T)}$	-	Vulnerabilidade do elemento em risco na localização específica
V_{max}	-	Velocidade máxima
$V_{(D:T)}$	-	Vulnerabilidade do fluxo atingir uma pessoa em um local específico
y	-	Altura média do fluxo

α	-	Inclinação do canal (fahrböschung)
γ	-	Peso específico do material
θ	-	Gradiente de superelevação
μ	-	Viscosidade dinâmica do fluxo
ξ	-	Parâmetro de turbulência
σ	-	Tensão normal
τ	-	Tensão cisalhante
φ	-	Ângulo de atrito dinâmico
φ_b	-	Ângulo de atrito da base