

## **GESTÃO DE RISCOS E RESPOSTAS A DESASTRES**

### **RELAÇÃO INTENSIDADE-DURAÇÃO DE PRECIPITAÇÕES CAPAZES DE DESENCADear ESCORREGAMENTOS EM PORTO ALEGRE - RS**

**Maurício Andrades Paixão** – [paixaomauricio@uol.com.br](mailto:paixaomauricio@uol.com.br)  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Mel Oliveira Guirro** – [mel.guirro@gmail.com](mailto:mel.guirro@gmail.com)  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Gean Paulo Michel** – [geanpmichel@gmail.com](mailto:geanpmichel@gmail.com)  
Universidade do Estado de Santa Catarina

**Masato Kobiyama** – [masato.kobiyama@ufrgs.br](mailto:masato.kobiyama@ufrgs.br)  
Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Resumo:** A equação que relaciona a intensidade e duração da precipitação com a ocorrência de escorregamentos é uma ferramenta simples para antecipar e prevenir os desastres hidrológicos. O objetivo do presente trabalho foi elaborar uma curva de intensidade-duração para o município de Porto Alegre. Para isso, foram analisados dados pluviométricos e registros de escorregamentos ocorridos em Porto Alegre no período de 2006 a 2013. A análise foi feita por geoprocessamento no software ArcGIS seguida do uso de Excel. Duas equações de intensidade-duração foram ajustadas de acordo com o raio do ponto de escorregamento analisado - uma equação para pontos de 10 m de raio e outra para 25 m de raio. A equação ID para 10 m de raio obteve um ajuste melhor, indicando um detalhamento maior dos eventos e das condições do terreno. Porém, a análise tem incertezas, o que dificulta definição de um limiar para deflagração de escorregamentos. Os objetivos do trabalho foram satisfeitos e as equações ID propostas podem servir como ferramenta para a gestão do risco de desastre.

**Palavras-chave:** Escorregamento, relação intensidade-duração da precipitação, Porto Alegre

## **1. INTRODUÇÃO E OBJETIVO**

Fenômenos naturais que ocorrem em locais ocupados pelo homem e que causam danos humanos, materiais e prejuízos socioeconômicos são denominados desastres naturais (UNDP, 2004). Os desastres hidrológicos são de difícil previsão e grande potencial destrutivo, a citar os escorregamentos e as inundações. No Brasil, a maioria dos escorregamentos ocorre durante períodos chuvosos, motivo pelo qual devem ser considerados desastres hidrológicos conforme classificação do *Emergency Disaster Data Base* (EMDAT) do *Centre for Research*

on the Epidemiology of Disasters (CRED). A descrição desta classificação encontra-se mais detalhadamente em Below *et al.* (2009).

Caine (1980) afirmou que a intensidade e a duração da precipitação são fatores determinantes para o desencadeamento de escorregamentos, embora outras variáveis tenham influência sobre este fenômeno, tais como propriedades mecânicas e hidráulicas, morfologia, vegetação e alterações geomorfológicas. Em seu trabalho, Caine (1980) propôs uma relação limiar global entre intensidade e duração de precipitação capaz de desencadear escorregamentos utilizando 73 eventos de escorregamentos e fluxo de detritos. Apesar de a abordagem empírica negligenciar importantes aspectos hidrológicos atuantes no solo, fornece um meio simples de emissão de alertas a movimentos de massa baseado apenas em precipitação (CHEN *et al.*, 2015).

A estimativa da relação entre intensidade e duração da precipitação que desencadeia escorregamentos pode servir de subsídio para a etapa de preparação para o desastre, atuando como medida não-estrutural. As equações de intensidade-duração (ID) podem ser úteis em sistemas de alerta, aumentando a conscientização e a resistência da população frente a desastres naturais.

Dessa forma, o objetivo do presente trabalho foi elaborar uma estimativa de equação ID de Porto Alegre/RS, para auxiliar na previsão e resposta de desastres. O município de Porto Alegre tem sido fortemente afetado por chuvas intensas que desencadeiam escorregamentos, reforçando a necessidade de prever estes.

## **2. METODOLOGIA**

### **2.1. Área de Estudo**

A área de estudo é o município de Porto Alegre, capital do estado do Rio Grande do Sul (Figura 1). Possui área de 496,68 km<sup>2</sup> e população estimada em 1.476.867 habitantes no ano de 2015 (IBGE, 2015).

Conforme classificação climática de Köppen-Geiger, o município apresenta clima temperado úmido (Cfa), caracterizado por apresentar verões quentes, precipitação em todos os meses do ano e ausência de estação seca bem definida. O clima em Porto Alegre é controlado por massas de ar de origem marítima e polar marítima dependendo da estação do ano. Nos meses de primavera e verão há predominância de massas de ar tropical marítima, responsável por precipitações intensas e de curta duração, gerando chuvas convectivas localizadas em pequenas extensões (COLLISCHONN & TASSI, 2008). Nos meses de outono e inverno, a predominância é de massas de ar marítima e polar, gerando instabilidade climática e causando chuvas frontais, caracterizadas pela baixa intensidade e longa duração (FERRARO & HASENACK, 2000).

Quanto à ocupação do solo, a zona norte do município apresenta ocupação mais intensa que a zona sul. Com o avanço da urbanização para áreas desfavoráveis, a ocorrência de movimentos de massa vem se intensificando e trazendo prejuízos à população cada vez mais (BRITO *et al.*, 2014).

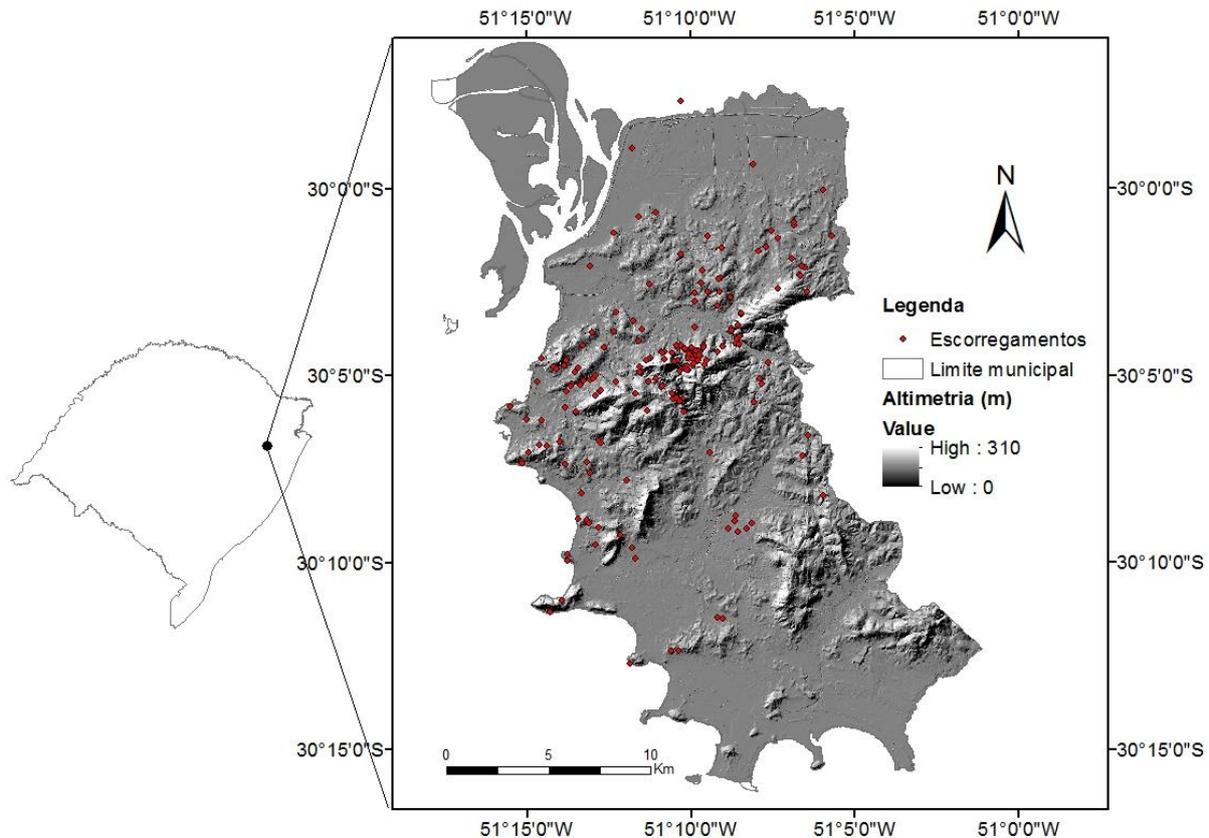


Figura 1 – Localização do município de Porto Alegre-RS e dos escorregamentos registrados na Defesa Civil.

## 2.2. Dados Utilizados

### *Precipitação*

Os dados pluviométricos utilizados foram obtidos junto à Seção de Armazenamento de Dados Meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia. A estação meteorológica utilizada foi a 86998-Porto Alegre-A801, com resolução temporal horária das medições e período de amostragem compreendido entre 22/09/2000 a 07/09/2015. Nesse período foram registradas 130992 h de medições nas quais 124600 h são medições válidas.

### *Escorregamentos*

Os registros de escorregamentos utilizados no presente trabalho foram obtidos junto ao banco de dados da Proteção e Defesa Civil de Porto Alegre (PDEC-POA), referentes ao período de 2006-2013. Ao todo foram registrados 388 eventos, sendo que em 188 eventos não houve registros de precipitação e, portanto, o presente trabalho os desconsiderou. Essa inconsistência pode estar associada ao fato de o banco de dados não apresentar detalhes descritivos sobre o evento e utilizar nomenclatura em desacordo tanto com a classificação brasileira (COBRADE) quanto com a classificação internacional (EM-DAT) (Tabela 1). A PDEC-POA utiliza os termos “Desmoronamento”, “Desbarrancamento” e “Deslizamento de Terra” para se referir aos movimentos de massa.

Tabela 1 – Comparação de classificações de desastres entre COBRADE e EM-DAT.

Classificação Brasileira		Classificação Internacional	
Classe	Exemplo	Classe	Exemplo
Geológico	- Terremotos - Vulcanismos - Movimentos de massa - Erosão	Geofísico	- Terremoto - Vulcanismo - Movimentos de massa (seca)
Meteorológico	- Sistemas de grande escala - Tempestades - Temperaturas extremas	Meteorológico	- Tempestades
Hidrológico	- Inundações - Enxurradas - Alagamentos	Hidrológico	- Inundações - Movimentos de massa (úmida)
Climatológico	- Secas	Climatológico	- Temperaturas extremas - Secas/estiagens - Incêndios
Biológico	- Epidemias - Infestações/pragas	Biológico	- Epidemias - Infestações de insetos - Debandadas de animais

### Geoprocessamento

Os escorregamentos registrados no Banco de Dados da PDEC-POA foram georreferenciados em ambiente ArcGIS. Foi elaborado o Modelo Digital de Elevação (MDE) com resolução espacial de 2,5 m x 2,5 m a partir da base altimétrica vetorial do município de Porto Alegre, em escala 1:1000 (HASENACK *et al.*, 2010). A partir do MDE, foi elaborado um mapa de declividades a fim de escolher os eventos de escorregamentos que poderiam constar na análise da curva ID.

### 2.3. Curva ID

Para cada ponto referente a um escorregamento, foram criados *buffers* de 10 e 25 metros de raio buscando identificar as maiores declividades ao redor dos locais indicados pelo Banco de Dados da Proteção e Defesa Civil de Porto Alegre. Os endereços fornecidos pelo banco de dados indicam lugares em que os efeitos dos escorregamentos foram observados, mas não, necessariamente, onde iniciaram.

Foram selecionados os escorregamentos cujas declividades máximas nos *buffers* de 10 e 25 metros ultrapassassem 25° de inclinação. Em condições de perda de coesão do solo, a equação do fator de segurança (*FS*) pode ser simplificada como:

$$FS = \frac{\tan \phi}{\tan \theta} \quad (1)$$

onde  $\phi$  é o ângulo de atrito interno do solo; e  $\theta$  é a declividade da encosta, ambos em graus.

Para que a condição de equilíbrio seja atingida, o *FS* deve ser, no mínimo, igual a 1. Assim, para a situação limite, tanto a declividade quanto o ângulo de atrito interno precisam ser iguais,  $\phi \geq \theta$ . O valor de  $\phi$  do solo mais comumente utilizado é 30°, no entanto, esse é um valor aproximado para a maioria dos solos. Dado isso, optou-se por utilizar um valor levemente menor, sendo 25° o ângulo escolhido.

Para os *buffers* de 25 metros, 39 eventos de escorregamentos atenderam os critérios de seleção. Já para os *buffers* de 10 metros, 18 eventos foram selecionados. Caine (1980) afirmou que, embora intensidade e duração da precipitação sejam fatores determinantes para o desencadeamento de escorregamentos, outras variáveis possuem influência sobre este fenômeno, tais como propriedades hidráulicas e mecânicas, morfologia, presença de vegetação e alterações geomorfológicas. Deste modo, o presente trabalho traz a consideração da geomorfologia ao considerar em sua análise alguns aspectos do terreno.

A relação entre intensidade e duração de precipitação para esses eventos selecionados foi estabelecida considerando a intensidade média e a duração total do evento conforme Guzzetti *et al.* (2008). Assumiu-se, então, que esses valores de intensidade média e de duração deflagraram os escorregamentos. Como a análise de escorregamentos depende de fatores que apresentam alta variabilidade espacial (resistência mecânica, parâmetros hidráulicos do solo, entre outros), as equações empíricas que relacionam intensidade e duração da precipitação (equações ID) têm sido utilizadas para estimar a ocorrência de escorregamentos (DHAKAL & SIDLE, 2004).

Assim sendo, foram gerados hietogramas para estimar a duração das precipitações, sendo considerados eventos independentes sempre que o padrão de precipitação se alterava para períodos secos estáveis de aproximadamente 5 horas, similar ao proposto por Guzzetti *et al.* (2008). A intensidade média foi calculada como:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{D} \quad (2)$$

onde  $I$  é a intensidade média (mm/h);  $P_i$  é a precipitação acumulada (mm); e  $D$  é a duração do evento de precipitação (h).

As equações ID foram elaboradas para os escorregamentos selecionados em ambos os *buffers*. A Tabela 2 apresenta algumas equações existentes para descrição da curva ID.

Tabela 1 – Algumas equações existentes de ID

<b>Autor</b>	<b>Tipo de Escorregamento</b>	<b>Equação</b>	<b>Faixa de Validade (h)</b>
Caine (1980)	Escorregamentos rasos e fluxos de detritos	$I = 14.82 \cdot D^{-0.39}$	$0.167 < D < 500$
Innes (1983)	Fluxo de detritos	$I = 4.93 \cdot D^{-0.50}$	$0.1 < D < 100$
Clarizia <i>et al.</i> (1996)	Escorregamentos	$I = 10 \cdot D^{-0.77}$	$0.1 < D < 1000$
Costa & Frattini (2001)	Escorregamentos rasos	$I = 0.48 + 7.2 \cdot D^{-1.00}$	$0.1 < D < 1000$
Guzzetti <i>et al.</i> (2008)	Escorregamentos rasos	$I = 2.20 \cdot D^{-0.44}$	$0.1 < D < 1000$

Assim, o ajuste da equação foi realizado na forma da equação a seguir:

$$I = a \cdot D^b \quad (3)$$

onde  $a$  e  $b$  são parâmetros de ajuste. O presente trabalho considerou que os dados obtidos na estação 86998-Porto Alegre-A801 foram uniformemente distribuídos em toda a cidade. Além disso, desconsiderou a saturação antecedente do solo.

O *software* utilizado para o ajuste da curva foi o Curve Expert Professional 2.2.0, solução multi-plataforma para ajuste de curvas e análise de dados, sendo utilizada uma versão

beta de avaliação do programa disponível *online*. A plotagem dos resultados foi realizada em ambiente *Excel 2010*.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os registros selecionados tiveram sua relação intensidade-duração e foram plotados considerando os *buffers* de 25 m e 10 m. São chamados de ID-25 e ID-10, respectivamente (Figura 2). A equação ID-25 apresentou  $R^2 = 0,5557$  enquanto a equação ID-10 apresentou  $R^2 = 0,6210$ , o que indica que a equação ID-10 conseguiu representar melhor os dados utilizados do que a equação ID-25.

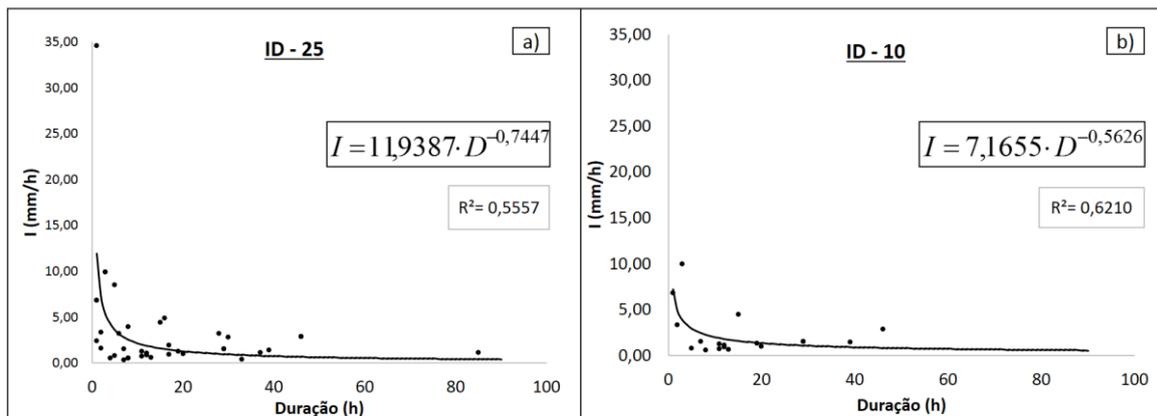


Figura 2 – Equações ID em Porto Alegre: a) Buffer de 25 m; e b) Buffer de 10 m.

O ajuste potencial proposto inicialmente por Caine (1980) e seguida pelos autores da Tabela 2 também foi observado para o conjunto de dados analisados em Porto Alegre (Figura 3).

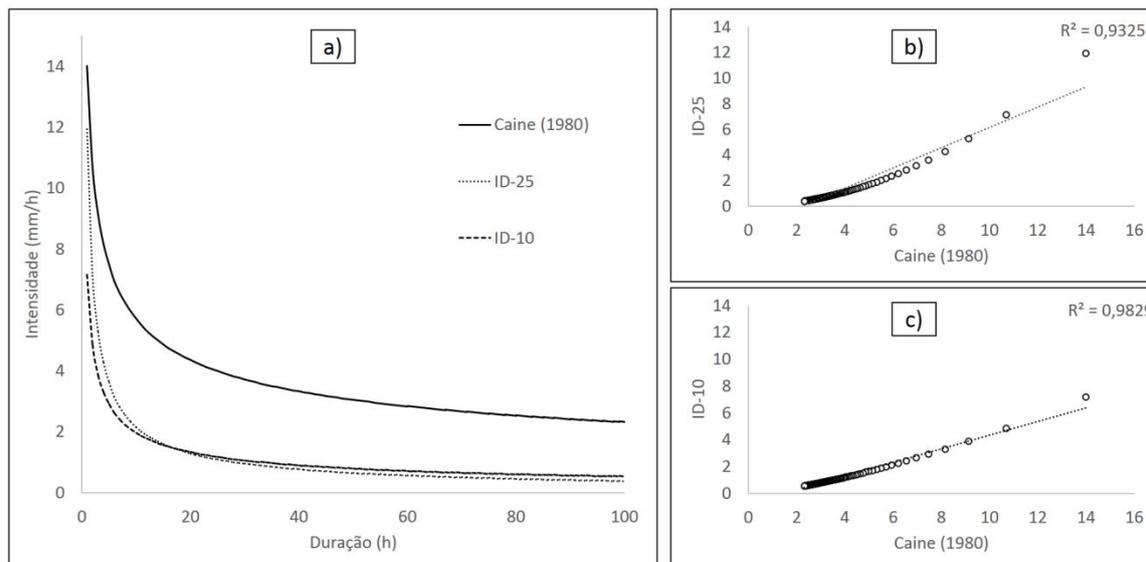


Figura 3 – a) Equações ID propostas neste trabalho e proposta por Caine (1980); b) Comparação entre Caine (1980) e ID-25 e; c) Comparação entre Caine (1980) e ID-10.

O elevado valor do coeficiente de determinação, tanto para ID-25 quanto para ID-10, mostra que há semelhanças entre as curvas ID propostas neste trabalho e a proposta por Caine (1980). Os diferentes valores do parâmetro “ $a$ ” da curva (Equação 3) podem estar associados às diferentes condições ambientais locais (hidrogeomorfologia, regime pluviométrico, topografia) dos locais de estudo. O decaimento, no entanto, é semelhante para as durações analisadas.

Devido às incertezas contidas na análise, como possíveis inconsistências no banco de dados da PDEC-POA e a dificuldade de se estabelecer intensidade e duração da precipitação para cada evento, o estabelecimento de um limiar para deflagração de escorregamentos ficou prejudicado. O comportamento médio dessa relação auxilia gestores de atividades da PDEC-POA na tomada de decisões, uma vez que pode fornecer um meio simples de emissão de alertas a partir de informações de precipitação.

Outra fonte de incerteza do modelo foi a caracterização do evento. Devido ao fato de o banco de dados da PDEC-POA não seguir nem a classificação COBRADE nem a EM-DAT, a caracterização do evento pode ter sido prejudicada e pode ter acarretado em erro aleatório na análise. Alguns registros foram feitos posteriormente ao atendimento pela PDEC-POA, o que pode induzir a erros de interpretação sobre o evento chuvoso. Isso foi verificado anteriormente por Caine (1980) e Guzzetti *et al.* (2008), sendo uma das maiores dificuldades ao se tentar encontrar uma equação ID mais adequada.

A utilização de informações geomorfológicas auxiliou a reduzir o efeito dos erros aleatórios, levando em consideração a declividade e a estabilidade das encostas a partir da equação do fator de segurança. Desta forma, pode-se eliminar registros cuja interpretação de “Desmoronamento/Desbarrancamento/Deslizamento de Terra” não tenha sido condizente com “escorregamentos”.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar de a abordagem empírica desconsiderar fatores importantes na estabilidade de encostas, as equações ID são importantes ferramentas no auxílio à redução do risco de desastres. O emprego das equações apresenta baixo custo quando comparado com medidas estruturais e é de fácil execução, uma vez que necessita apenas de medição de precipitação.

As maiores dificuldades do método estão em estimar com mais exatidão a intensidade e duração da precipitação. Além disso, a premissa de que a estação meteorológica utilizada representa a realidade total da área de estudo pode estar equivocada, implicando em incertezas nas equações ID.

Para trabalhos futuros, recomenda-se a consideração da desagregação da precipitação na área de estudo. Sugere-se, também, que a equação seja avaliada em termos da frequência de não-ocorrência de escorregamentos nas condições em que a equação ID gerou informação de ocorrência dos mesmos.

Recomenda-se à PDEC-POA a utilização de uma das classificações de desastres (COBRADE ou EM-DAT) e adequação do banco de dados existente.

#### ***Agradecimentos***

Os autores agradecem aos membros do Grupo de Pesquisa em Desastres Naturais (GPDEN) do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da UFRGS, pela discussão cotidiana.

## 5. REFERÊNCIAS E CITAÇÕES

BELOW, R.; WIRTZ, A.; GUHA-SAPIR, D. **Disaster Category - Classification and peril Terminology for Operational Purposes**. Brussels: CRED / Munich: MunichRe Foundation, 2009. 19p.

BRITO, M. M.; WEBER, E. J.; SILVA FILHO, L. C. P. Mapas de suscetibilidade a escorregamentos do município de Porto Alegre, RS, Brasil. Porto Alegre: UFRGS IB Centro de Ecologia, 2014, 1ª ed. **ISBN: 978-85-63843-12-8**. Disponível em: [www.ecologia.ufrgs.br/labgeo](http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo)

CAINE, N. The rainfall intensity–duration control of shallow landslides and debris flows. **Geogr Ann**, v. 62, pp 23–27, 1980.

DHAKAL, A. S.; SIDLE, R. C.. Distributed simulations of landslides for different rainfall conditions. **Hydrological Processes**, n. 18, pp.757-776, 2004.

CLARIZIA, M.; GULLA, G. SORBINO, G. Sui meccanismi di innesco dei soil slip. **International conference Prevention oh hydrogeological hazards: the role of scientific research**. 1:585-597. 1996.

CHEN, C.; SAITO, H.; OGUCHI, T. Rainfall intensity-duration conditions for mass movements in Taiwan. **Progress in Earth and Planetary Science**, 2015. 2:14

COLLISCHONN, W.; TASSI, R.. **Introduzindo Hidrologia**. 2009. (Desenvolvimento de material didático ou instrucional - Apostila do curso de Hidrologia).

CROSTA, G.B.; FRATTINI, P.. Rainfall thresholds for triggering soil slips and debris flow. In: Proceedings 2nd EGS Plinius **Conference on Mediterranean Storms**. Siena: 463– 487. 2001

EM-DAT. **The International Disaster Database**. Disponível em: <http://www.emdat.be/database>, acesso em agosto de 2015.

FERRARO, L. W.; HASENACK, H. Aspectos do clima de Porto Alegre. In: ZURITA, M. L. L.; TOLFO, A. M. (Orgs.). **A qualidade do ar em Porto Alegre**. Porto Alegre: Secretaria Municipal de Meio Ambiente, 2000. P. 16-27.

GUZZETTI, F.; PERUCCACCI, S.; ROSSI, M.; STARK, C. P.. The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flows: an update. **Springer**. Heidelberg, pp. 3-17. set. 2007.

HASENACK, H.; WEBER, E.J.; LUCATELLI, L.M.L. 2010. Base altimétrica vetorial contínua do município de Porto Alegre-RS na escala 1:1.000 para uso em sistemas de informação geográfica. Porto Alegre, UFRGS-IB-Centro de Ecologia. **ISBN 978-85-63843-03-6**. Disponível em <http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo>

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Ferramenta Cidades**. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=431490>. Acesso em: 20 set. 2015.

INNES, J. L. Debris flows. **Prog. Phys Geogr**. 1983. 7:469-501.

UNDP. **Reducing disaster risk: a challenge for development**. New York: UNDP, 2004. 130p.